

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 30.12.2025 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»



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:

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

Бекботаева А.А., PhD, ассоц. профессор

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

Vach K., доктор Ph.D (Чехия)

Демин В.Ф., д-р техн. наук, профессор

Каримов Ш.В., PhD, и.о. доцента кафедры (Узбекистан)

Кожогулов К.Ч., д-р техн. наук, профессор, засл. деятель науки КР, академик (Кыргызская Республика)

Levin E., доктор Ph.D, ассоц. профессор (США)

Mishra V.M., профессор (США)

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

Nikoloski A.N., профессор (Австралия)

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

Ратов Б.Т., д-р техн. наук, профессор

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

Sladkovsky A., д-р техн. наук, профессор (Польша)

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

Тамбиев П.Г., канд. техн. наук

Хайитов О.Г., д-р геол.-минерал. наук, профессор, академик (Узбекистан)

Ченуштанова Т.А., PhD

Уененх А.М., ассоц. профессор (Оман)

® – статья на правах рекламы

Ⓜ – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

- 3 Колонка главного редактора
- 4 От традиций к инновациям: интервью с генеральным директором ОАО «Анжеромаш»
- Лучшие выбирают лучших
- 6 Лучшие выбирают лучших: технологии и люди, которые меняют промышленность Казахстана
- 6 WEIR: устойчивые технологии и новые стандарты эффективности
- 8 ESAB: формируя качество сварки и устойчивость отрасли
- 9 Сталь, которая держит удар: решения SSAB для суровых условий эксплуатации
- Геотехнология
- 11 *А.А. Бояндинова, *Ж.А. Адилханова*
Подход к проектным управленческим решениям для геотехнологических комплексов карьеров с автотранспортом
- 17 *Д.Таханов, *А. Жиенбаев, М. Балпанова, Д. Нурекин*
Обоснование параметров новой технологии разработки с применением массивных и барьерных целиков на руднике Жомарт
- Разрушение горных пород
- 25 *Б.Р. Ракишев, *А.А. Орынбай, А.Е. Алибаев, Т.С. Ибырханов*
Аналитика для цифрового управления качеством дробления пород в подземных выработках
- 35 **С.Е. Сүйінтаева, О.А. Әбіл, К.Т. Атагелдиев, Д.Р. Махмудов*
Исследования причин искривления веерных скважин на руднике Восход
- Геомеханика
- 43 *N.M. Zamatiev, D.R. Akhmatnurov, *R.A. Musin, V.F. Demin*
Prospects for the application of foreign experience in the conditions of domestic coal deposits
- Бурение скважин
- 49 **М.Т. Камалов, Ф.У. Аширов, И.И. Рахимхонов*
О технических средствах на основе двойных бурильных колонн и многолетнем опыте создания уникальных комплексов в Узбекистане
- Металлургия
- 55 *А.А. Абілберікова, *Е.У. Жумағалиев, Б.Т. Уахитова, Е.Ж. Шабанов*
Феррохром қождарын қайта өңдеу: дәстүрлі технологиялар және жаңа бағыттар
- 62 *К.К. Мамырбаева, *А.Н. Қуандықова, Е.С. Меркібаев, Б. Мишра*
Исследование процесса сульфатизирующего обжига латеритной окисленной никелевой руды для разработки комбинированной технологии переработки
- Геоэкология
- 68 *Д.М. Жантасова, *К.Т. Жантасов, Р.Р. Якубова, Р.А. Исаева*
Мақсатты өнім алу үшін табиғи-техногендік шикізат ресурстарының элементтік және оксидтік құрамдарын зерттеу
- Юбилей
- 76 К 80-летию Ли Эры Менгуковны
- 77 Статьи, опубликованные в 2025 году
- 84 Требования к оформлению и условия предоставления статей

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат
Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

*Дорогие читатели!
Уважаемые коллеги!*

Наступают снова дни прощания с уходящим от нас 2025 годом. Каждый из нас прожил его с теми же благородными мыслями о своей семье, о близких и родных, о друзьях-товарищах, о своей Родине. Мы живы-здоровы, преодолели вместе все трудности и невзгоды, постарались создать фундамент для строительства здания 2026-го года. О чем мы думаем и чего хотим?

В преддверии Нового года для Казахстана важнее всего в национальном стратегическом масштабе сохранение справедливого и устойчивого миропорядка, который должен быть принят на основе лексики мира, доверия, сотрудничества.

Вторым, не менее важным, направлением благополучия во всех аспектах жизнеспособности нашей Родины являются стабильность народного хозяйства и успешная работа над снижением дефицитности бюджета, которая становится хронической с постоянным ростом государственного долга.

Оба этих параметра не свалились на нашу голову внезапно, наша экономика очень подвержена непредсказуемым глобальным изменениям, даже если исключить из анализа цены на нефть, воспринимаемые нами, простыми гражданами, как «божья кара».

Судьбоносные решения Президентом страны Касым-Жомартом Кемелевичем Токаевым целенаправленно направлены в первую очередь на претворение идеи сбалансированного бюджета с соблюдением и развитием принципа справедливого распределения национального дохода. При этом, естественно, необходимо по примеру из Китая научиться обеспечивать рост ВВП за счет роста внутреннего потребления, не оглядываясь постоянно на положительное сальдо торгового баланса с внешним миром. Мы же видим, что вывоз нефти превышает импорт, а бюджет все равно хронически дефицитный. По-прежнему мы тратим больше, чем зарабатываем, и в этом аспекте было бы желательно, чтобы не просто жестко, а обоснованно рассчитано, устанавливались максимально допустимые цены на товары хотя бы первостепенной важности, т. е. продукты питания и жизненно важной надобности (лекарства, само медицинское обслуживание, одежда и обувь для детей и пенсионеров, овощи, фрукты, мясо и мука с картофелем).

Видимо, надо восстановить общественный контроль и потолок максимума. Возможно, было бы справедливо и экономически верно, если упорядочить услуги посредничества и их «дикие» запросы, при которых основной производитель указанных товаров имеет прибыль гораздо меньше, чем линейка посредников.

Если же говорить о нашей горнодобывающей и перерабатывающей отраслях, необходимо выполнять установленное Президентом задание на геологическое изучение нашей территории на предмет подготовки перспективного плана геологоразведочных работ на площади 2,2 млн км².

Вторым направлением, экономически важным и необходимым с точки зрения не просто улучшения показателей, а улучшения справедливого баланса интересов, является пересмотр всех нефтяных Контрактов и с иностранцами, и с казахстанским бизнесом с возвратом стране и ее гражданам потерянных уровней дохода.

Было бы важным решением для технологического и экономического суверенитета страны и для современного уровня жизни, благополучия и экономического состояния атмосферы выделение газа из нефти с целью его использования для нужд населения.

Просматривается необходимость создания производства газа из источников горючих сланцев (например, на Кендерлыкском месторождении в Зайсанском районе ВКО).

Новый год вступает в свои права, несмотря на все трудности, поэтому давайте встретим его по традиции как ожидаемый праздник. С Новым годом! Счастья и благополучия всем!

ОТ ТРАДИЦИЙ К ИННОВАЦИЯМ: ИНТЕРВЬЮ С ГЕНЕРАЛЬНЫМ ДИРЕКТОРОМ ОАО «АНЖЕРОМАШ»

Старейшее предприятие горного машиностроения Кузбасса работает уже 118 лет. И в последние годы развивается по пути модернизации производства, улучшения условий труда работников и внедрения в оборот новых продуктов. О современном состоянии завода, разработанном на нем новом очистном комбайне и о новых подходах в социальной политике предприятия мы попросили рассказать генерального директора ОАО «Анжеромаш» Романа Печерина.

– Роман Геннадьевич, как бы Вы описали современную стратегию развития «Анжеромаша»? На что нацелено предприятие в ближайшие годы? Планируется ли рост производства? Расширение рынков сбыта?

– За последние два года завод показал рост объемов производства и реализации продукции на 35%. В прошлом году выручка от реализации составила 2,67 млрд рублей против 1,97 млрд рублей в 2022 году. Идет расширение рынков сбыта. Наше горно-шахтное оборудование традиционно покупают угледобывающие предприятия Кузбасса, Воркуты и Ростовской области, а в 2024 году был подписан крупный контракт на поставку забойно-транспортного комплекса с ООО «УК «КОЛМАР» в Якутии. Сегодня это одна из крупнейших угольных компаний России.

В этом году мы поставили большую партию горношахтного оборудования в Казахстан, что свидетельствует о доверии к нашей продукции и ее соответствии международным стандартам.



– Вы возглавляете ОАО «Анжеромаш» с июня 2023 года. Что уже удалось модернизировать на предприятии?

– С июня 2023 года инвестиции в обновление завода составили более 500 млн руб. За это время сделан огромный рывок в модернизации морально и физически устаревшего оборудования. Приобретены такие дорогостоящие станки, как горизонтально-расточной, токарно-карусельный, зубошлифовальный, зубодолбежный, электроэрозионный. Закуплено новое оборудование: гидравлический листогибочный пресс, дробеметная камера, контрольно-измерительная машина и многое другое. Все это позволит не только оптимизировать время на производство изделий, увеличить долю автоматизации производственных процессов, но и улучшить качество выпускаемых изделий.

Вкладываем ресурсы в улучшение условий труда рабочих. Осенью 2024 года капитально отремонтировали бытовые помещения в цехе по механической обработке крупногабаритных деталей. Начали замену и модернизацию вентиляции в литейном производстве, что позволило снизить концентрацию вредных веществ в воздухе и, как следствие, риск производственных заболеваний.

Курс на модернизацию производства и улучшение условий труда рабочих планируем продолжать и в 2025-2026 годах.

– Как обстоят дела с развитием новых направлений производства?

– Точно не планируется кардинальная переориентация производства, ведь нам нужно дозагрузить действующие и вновь приобретаемые станки для производства горношахтного оборудования в рамках нашего традиционного ассортимента, некоторые виды которого, постоянно модернизируя, Завод выпускает с 50-х годов. Это – скребковые забойные конвейеры, скребковые перегружатели передвижные, ленточные конвейеры, а также редукторы для лавных и ленточных конвейеров.

Планируем расширение линейки редукторов для ленточных конвейеров мощностью от 75 до 1200 кВт, редукторов для скребковых конвейеров мощностью от 160 до





1500 кВт. Одновременно своими силами разрабатываем новую продукцию, которая придет на смену зарубежному оборудованию, в настоящий момент используемому на предприятиях подземной добычи угля.

В июне этого года на международной выставке «Уголь России и Майнинг – 2025» представили новую продукцию – «Очистной комбайн «К-1000А». Новинка отечественного машиностроения была удостоена высоких оценок экспертов отрасли, представителей власти и потенциальных заказчиков – ведущих предприятий угольной промышленности России, и признана одним из лучших экспонатов выставки. Очистной комбайн К-1000А – это передовое решение для подземной добычи угля, созданное для замены импортного оборудования.

– **Что представляет из себя новое изделие завода очистной комбайн «К-1000А»? Расскажите подробнее.**

– Комбайн К-1000А представляет собой машину режущего действия, оснащенную шнековыми исполнительными органами для разрушения и погрузки угля на конвейер. Может применяться на месторождениях коксующихся и энергетических углей в составе любых механизированных комплексов, оборудованных скребковыми конвейерами с реечной системой подачи.

Комбайн имеет производительность до 500 тыс. тонн угля в месяц и предназначен для работы на пластах мощностью от 1,5 метра до 3,7 метра. Базовая ширина скребкового конвейера комбайна – от 0,7 метра до 1 метра. Кроме того, К-1000А обладает малыми габаритами при увеличенной в 1,5 раза мощности по сравнению с аналогами европейских производителей.

За счет реализованных технических решений он обладает рядом преимуществ: блок электроузла имеет возможность перевода питающего напряжения с 1140В на

3300В и обратно, который возможно провести в условиях сервисной службы; блоки подачи представляют собой универсальный модуль для всех исполнений комбайна по вынимаемой мощности пласта и типам реечной системы подачи; блоки резания имеют три модификации на мощность от 300 до 550 кВт с универсальным креплением к остову комбайна, что позволяет провести модернизацию комбайна в условиях предприятия заказчика.

Все вместе эти особенности позволяют в рамках одной угольной компании достичь высокой степени унификации комбайнов при применении в пластах различной мощности, и, соответственно, снизить расходы на запасные части и обслуживание.

– **Он уже запущен в производство? И насколько удалось заместить в нем импортные комплектующие?**

На данный момент очистной комбайн находится на этапе сертификации. На 85% – это продукт российского производства: изготовление и сборка его механической части проводится «Анжеромашем» по собственной документации, изготовление и сборка электрической части – на производственных мощностях ООО «ФАЗА» по заказу ОАО «Анжеромаш», а финишная сборка и тестирование проводится нашей сервисной службой с участием отечественных подрядных организаций.

После прохождения сертификации планируется приступить к опытно-промышленному испытанию очистного комбайна К-1000А в забое одной из российских шахт.

Опираясь на 118-летнюю историю и внедряя современные решения, «Анжеромаш» уверенно движется вперед, доказывая, что даже в непростых экономических условиях можно динамично развиваться, создавая качественную технику для горной отрасли, демонстрируя, что российское машиностроение способно на большее!



ОАО «Анжеромаш»

652475, Россия, Кемеровская область,
г. Анжеро-Судженск, ул. Войкова, 6а
+7 (38453) 6-55-96, <https://angera.ru>



ЛУЧШИЕ ВЫБИРАЮТ ЛУЧШИХ: ТЕХНОЛОГИИ И ЛЮДИ, КОТОРЫЕ МЕНЯЮТ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ КАЗАХСТАНА

Промышленный ландшафт Казахстана стремительно обновляется. Горнодобывающая отрасль, металлургия и машиностроение выходят на новый виток роста: увеличиваются объемы добычи и переработки сырья, запускаются современные производственные площадки, усиливается курс на локализацию, цифровизацию и повышение энергоэффективности. Инвестиционный бум в горно-металлургический комплекс, развитие машиностроения и рост экспортного потенциала формируют новую индустриальную опору экономики страны на горизонте 2025–2026 годов.

По данным Бюро национальной статистики, за январь-сентябрь 2025 года индекс промышленного производства в Казахстане вырос на 7–8%: горнодобывающая отрасль прибавила порядка 9–10%, обрабатывающая промышленность – около 6–7%, машиностроение демонстрирует двузначный рост. Наибольшая деловая активность фиксируется в традиционно индустриальных регионах и нефтегазовых центрах страны, что подтверждает устойчивый тренд на расширение и модернизацию производственных мощностей.

Именно о таких лидерах авторский проект «Лучшие выбирают лучших», который «Горный журнал Казахстана» реализует совместно с агентством «Маркетинг от Тимченко». «Сегодня Центральная Азия – это пространство стремительного роста и модернизации промышленности. Здесь объединяются глобальные тренды ESG, энергоэффективности, цифровизации и развития профессиональных кадров.



«Наша задача – представить тех, кто движет отрасль вперед и уже сегодня создает базу для промышленности региона завтрашнего дня», – отмечает генеральный директор ТОО «Маркетинг от Тимченко» Светлана Тимченко.

В этом выпуске представлены три компании, оказывающие существенное влияние на трансформацию региона – каждая в своем сегменте и области компетенций.

WEIR: УСТОЙЧИВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И НОВЫЕ СТАНДАРТЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ



«Мировая промышленность нуждается в решениях, которые помогают извлекать больше полезных ископаемых, а наша задача – помочь делать это более эффективно и ответственно», – говорит Раджен Говендер, управляющий директор региона ЕМЕСА (Европа, Ближний Восток и Центральная Азия).

Для WEIR это не слоган, а стратегический ориентир: компания помогает горнодобывающим предприятиям достигать целевых показателей, одновременно снижая нагрузку на окружающую среду.

Ключевая цель WEIR – помогать заказчикам уменьшить потребление энергии, воды и перемещения породы, не снижая производительности. В рамках ESG-стратегии это означает снижение углеродного следа, более ответственное обращение с ресурсами и использование полного жизненного цикла оборудования – от выбора технологии до этапа переработки после окончания службы.

Технологическое лидерство WEIR опирается на проверенные продуктовые линейки. У компании шесть флагманских направлений, и все они входят в тройку лидеров мирового рынка в своих сегментах. Одно из них – насосы

WARMAN®, один из самых известных брендов шламовых насосов в мире. Исторически именно WARMAN® стал революцией в своем сегменте: если раньше срок службы аналогичного оборудования составлял одну-две недели, то с появлением насосов WARMAN® он вырос многократно – до нескольких месяцев непрерывной работы. Для обогащательных фабрик это стало прорывом в надежности и предсказуемости процессов.

Другой стратегический бренд WEIR – ENDURON®. В рамках линейки компания развивает технологию HPGR (High Pressure Grinding Rolls, дробление под высоким давлением). Для предприятий это не просто новый тип оборудования, а возможность радикально изменить технологическую схему дробления и измельчения. Внедрение HPGR позволяет сократить экологический след новых проектов, снизить энергопотребление и капитальные затраты, вписав будущие фабрики в более жесткие ESG-требования. Ежегодно WEIR направляет около 2% глобальной выручки на исследования и разработки, чтобы развивать это преимущество и предлагать новые решения для устойчивого развития. «Мы являемся международной инженеринговой компанией, и наш подход в бизнесе заключается в том, чтобы быть как можно ближе к клиенту. Это основное преимущество WEIR и главное отличие от других игроков», – подчеркивает Евгений Субота, директор по капитальным продажам

Лучшие выбирают лучших

региона ЕМЕСА (Европа, Ближний Восток и Центральная Азия). В одном только Казахстане в компании работает более 130 сотрудников, около 75% из них – сервисные специалисты, постоянно задействованные на площадках заказчиков. Такая «близость» к руднику позволяет WEIR не просто продавать оборудование, а анализировать узкие места клиента и совместно находить решения.

В Центральной Азии WEIR поставил полный комплекс шламовых насосов для предприятия, где основное оборудование работает без резервных линий, – это требует безупречной надежности техники и высочайшего уровня сервиса. В другом случае компания реализовывает полноценный сервисный контракт на всех площадках предприятия: «Мы можем с уверенностью сказать, что значительно снизили операционные расходы и одновременно повысили эффективность работы оборудования – не на проценты, а в разы. Эксплуатационные затраты заказчика сократились на 35–40%, а общая доступность установленного оборудования увеличилась примерно в два раза», – подчеркивает Евгений Субота.

Итоги 2025 года для WEIR ЕМЕСА – это укрепление позиций в Центральной Азии и одновременное участие в глобальных мегапроектах, которые формируют будущее отрасли. Один из таких проектов – Reko Diq в Пакистане, который команда называет «огромной возможностью глобального масштаба».

Reko Diq – один из крупнейших в мире медно-золотых проектов, расположенный в пустынном регионе провинции Белуджистан на западе Пакистана. По обновленным технико-экономическим обоснованиям месторождение рассчитано на 40 лет эксплуатации и будет запускаться в две фазы: на первом этапе планируется перерабатывать порядка 45 млн тонн руды в год с последующим увеличением мощности до 90 млн тонн. По мере выхода на полную нагрузку Reko Diq должен войти в число ключевых мировых производителей меди и золота и стать значимым драйвером долгосрочного экономического развития Пакистана.

«Недавно мы получили контракт на проект Reko Diq, – рассказывает Евгений Субота. – Это поистине удивительный проект из-за его местоположения и природных условий: месторождение находится в пустыне, в удаленном районе, среда изначально практически непригодна для размещения промышленного объекта. После длительного периода анализа и сравнения различных решений заказчик принял решение в пользу WEIR и выбрал нас для поставки технологии HPGR».

В рамках контракта WEIR поставит крупноформатные установки ENDURON® HPGR, крупные грохота для работы с высокими нагрузками и комплекс насосного оборудо-

вания – ядро энергоэффективной технологической схемы для переработки руды на Reko Diq. «У проекта длительный график реализации, поэтому мы будем участвовать в нем в течение следующих 10–20 лет. По нашему соглашению, мы создадим собственный сервисный центр и, исходя из нашего подхода, будем обеспечивать техническую поддержку и сервис своими силами», – добавляет Евгений Субота. Для WEIR это не просто крупный контракт, а возможность показать, как устойчивые технологические решения работают в условиях экстремального климата и удаленности от инфраструктуры.

Говоря о трендах, Раджен Говендер подчеркивает: «На глобальном уровне основное внимание всех горнодобывающих компаний сегодня сосредоточено на ESG – экологических, социальных и управленческих принципах: как использовать меньше энергии, воды и как перерабатывать и повторно использовать ресурсы». Для WEIR ответом на этот вызов становится сочетание передовых технологий, сервисной модели и цифровизации.

«Наш главный глобальный фокус сейчас – цифровизация. Мир становится все более цифровым, и именно поэтому мы приняли решение о приобретении компании Micromine и интеграции ее в нашу структуру в качестве специализированного цифрового подразделения, – объясняет Раджен Говендер. – Слияние цифровых компетенций Micromine и инженерной экспертизы WEIR позволяет объединять данные геологоразведки, планирования и фактической работы оборудования, чтобы точнее моделировать процессы».

При этом в центре стратегии WEIR остаются люди. Безопасность – безусловный приоритет: сотрудники имеют право остановить любую работу, если считают ее небезопасной. Значительные инвестиции направлены на обучение – как собственных сотрудников на площадках заказчиков, так и команд клиентов. «Главная ценность WEIR? Безусловно, люди! Именно люди создают решения для наших заказчиков», – резюмирует Евгений Субота.

По итогам 2025 года WEIR в регионе ЕМЕСА демонстрирует, что сочетание технологического лидерства, сервисной близости к клиенту и долгосрочных обязательств по устойчивому развитию превращает компанию в надежного партнера для крупнейших горнодобывающих проектов – от Казахстана до пустынь Белуджистана и Марокко. Такой подход полностью отражает философию проекта «Лучшие выбирают лучших».



ESAB: ФОРМИРУЯ КАЧЕСТВО СВАРКИ И УСТОЙЧИВОСТЬ ОТРАСЛИ

Промышленная инфраструктура Казахстана сегодня находится в фазе активного роста: расширяются крупные горнодобывающие проекты, строятся и модернизируются обогатительные фабрики, прокладываются новые трубопроводы, теплотрассы и инженерные сети, усиливается курс на локализацию производства и повышение промышленной безопасности. Во всех этих процессах сварка остается ключевым звеном – от качества сварных соединений зависят надежность каркасов зданий, ресурс горной техники и долговечность коммунальных и энергетических систем. Отрасли нужны решения, которые выдерживают высокие нагрузки, жесткий климат и интенсивную эксплуатацию.



ESAB предлагает технологичный продуктовый ответ на эти запросы, развивая линейку промышленных источников питания и расходных материалов, рассчитанных на непрерывную работу в сложных условиях. Промышленная сварочная система Transmig 500DP подходит для сварки углеродистых, нержавеющей сталей и алюминиевых сплавов в режиме 24/7. А инверторный полуавтомат RUSTLER EM455i выступает решением для ответственных задач: промышленный диапазон токов до 420А при MIG/MAG и до 350А при MMA, четырехроликовый механизм с подачей проволоки до 1,6 мм и выносимость при продолжительных нагрузках гарантируют бесперебойную работу в течение полной смены.

Ассортимент сварочных материалов ориентирован на задачи горнорудных и сервисных компаний. Для ответственных конструкций используются электроды ОК 48P с повышенной производительностью, для нержавеющей сталей – ОК 61.30P; для восстановления горной техники – наплавочные электроды T-590. Вакуумная упаковка VacPac защищает электроды УОНИИ 13/55 от влаги. Для полуавтоматической сварки применяются проволоки Weld G3Si1 и Weld O-100, обеспечивающие до трехкратного роста производительности, проволока SV-08G2S для горной промышленности и порошковая ОК PRO 71 для высокопроизводительной сварки во всех пространственных положениях.

При этом ESAB делает ставку не только на решения для тяжелой промышленности, но и на продукты, которые доступны широкому кругу пользователей – от крупных подрядчиков до небольших мастерских. Один из таких примеров – локальная линейка универсальных рутиловых электродов FALCON 6013. Название символично: «falcon» – сокол, как олицетворение выносливости, точности и надежности. FALCON 6013 задумывались как «помощники, на которых можно положиться»: ими можно сваривать углеродистые и низколегированные стали во

всех пространственных положениях, работать по неподготовленным, окисленным или влажным поверхностям без предварительной прокали. Эти электроды одинаково уместны на строительных площадках, при монтаже трубопроводов и инженерных сетей, и в домашней мастерской или автосервисе, делая качественный сварной шов доступным даже для начинающего сварщика.

«Философия ESAB – это, прежде всего, безопасность и гарантированный результат. В условиях, когда на рынке так много предложений, особенно начинающим специалистам становится все сложнее выбрать качественные сварочные материалы. FALCON 6013 – наш ответ на этот запрос: надежные, простые и безопасные электроды, изготовленные из натуральных минеральных компонентов, благодаря чему сварочный дым менее вреден, чем у аналогов. Эта линейка, в том числе, отражение нашего подхода в стремлении к развитию рабочих профессий и организации обмена профессиональным опытом», – поделилась Екатерина Татаринова, директор ТОО «ЭСАБ Казахстан», руководитель региона «ЭСАБ Центральная Азия».

Поддержка и развитие молодых специалистов – часть стратегической миссии ESAB в Центральной Азии. Логичным продолжением этого вектора стала активная поддержка ESAB образовательных инициатив и движения WorldSkills в Год рабочих профессий в Казахстане. В 2025 году компания выступила партнером I Международного профессионального конкурса по компетенции «Сварочные технологии» в Алматы, где соревновались преподаватели колледжей не только из Казахстана, но и из Кыргызстана, Монголии, Таджикистана и Узбекистана. Участники работали на современном оборудовании ESAB, демонстрируя уровень подготовки и обновляя свои подходы к обучению будущих сварщиков.

Следующим шагом стал чемпионат TurkicSkills-2025 в Актау, организованный Министерством просвещения Республики Казахстан, НАО «Talar» и акиматом Мангистауской области. Его задача – укрепить престиж рабочих профессий и создать пространство для профессионального диалога между странами. TurkicSkills-2025 объединил более 70 студентов колледжей и молодых специалистов из Казахстана, Турции, Азербайджана, Узбекистана, Кыргызстана и Венгрии. ESAB стала партнером сварочной компетенции: конкурсные задания выполнялись на оборудовании компании, а оценка мастерства велась по критериям движения WorldSkills.

Завершающим акцентом года для ESAB стало партнерство с X Республиканским чемпионатом профессионального мастерства WorldSkills Kazakhstan 2025, который проходит с 3 по 9 декабря в Астане. Компания отвечает за техническое обеспечение конкурсантов соревнований по сварке. Так формируется непрерывная «цепочка компетенций» – от наставников и преподавателей до студентов и молодых специалистов, которые завтра будут отвечать за качество сварочных работ на предприятиях горнодобывающей отрасли и смежных секторов.

СТАЛЬ, КОТОРАЯ ДЕРЖИТ УДАР: РЕШЕНИЯ SSAB ДЛЯ СУРОВЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Современные добывающие предприятия Центральной Азии предъявляют все более высокие требования к материалам: даже сталь должна выдерживать ударно-абразивный износ и сохранять стабильность характеристик на протяжении всего срока службы в агрессивных средах. От выбора материала зависит частота ремонтов, длительность простоев и возможность планировать загрузку техники без лишних рисков.

SSAB, мировой производитель высокопрочных и износостойких сталей, предлагает для таких условий ряд специализированных марок, которые применяются в горной, строительной и других отраслях региона.

Так, Hardox® 500 Tuf относится к классу износостойких сталей с твердостью около 500 единиц по Бринеллю и механическими характеристиками, сопоставимыми с традиционными марками линейки Hardox® 450. За счет сочетания прочности, твердости и ударной вязкости этот материал используется там, где оборудование подвергается ударно-абразивному износу: в кузовах карьерных самосвалов, ковшах, элементах футеровки. Возможность



применять более тонкий лист без критического снижения ресурса позволяет по-новому подходить к расчету массы конструкций и полезной нагрузки техники.

Hardox® HiAce разработана для тех областей, где абразивный износ усиливается коррозионным – при высокой влажности, наличии кислотных компонентов или агрессивных примесей в руде. По уровню механических свойств сталь сопоставима с Hardox® 450 (номинальная твердость около 450 HBW), однако модифицированный химический состав значительно замедляет коррозионный износ. В условиях переработки железной руды, угля, бокситов или влажных отходов это позволяет дольше сохранять рабочую геометрию запасных частей и более предсказуемо планировать их замену, уменьшая объем unplanned ремонтов.

Одновременно с развитием продуктовой линейки SSAB выстраивает локальную инфраструктуру поставок. В 2025 году компания организовала сеть складов в стратегических точках Центральной Азии, что значительно сократило сроки обработки заявок, комплектации и отгрузки продукции для предприятий региона.

«Наличие складских запасов оптимизирует процессы обработки заявок, комплектации, отгрузки и транспортировки товаров, обеспечивая более оперативную и удобную поставку продукции заказчикам. Это сокращает производственные простои и расширяет возможности планирования для предприятий наших заказчиков в регионе», – отмечает Андрей Чуприн, директор по продажам SSAB в Центральной Азии.



Уважаемые коллеги!

2025 год стал для горнометаллургической отрасли и Группы KAZ Minerals периодом серьезных производственных вызовов и значимых профессиональных результатов.

Одним из ключевых итогов года стала рекордная переработка руды на Актогайском месторождении. Впервые в истории предприятия совокупный объем переработки превысил 60 миллионов тонн. Обе обогатительные фабрики, при проектной мощности 25 миллионов тонн руды в год каждая, вышли на уровень более 30 миллионов тонн. Этот показатель имеет значение не только для Группы KAZ Minerals, но и для мировой горнометаллургической отрасли.

Такой результат стал возможным в том числе благодаря эффективному партнерству с компанией FLS и высоким стандартам профилактического обслуживания крупнейших в отрасли

мельниц FLS, установленных на Актогайских фабриках.

Этот результат подтверждает высокий уровень инженерных решений, управленческой эффективности и зрелость производственных процессов и по праву является предметом профессиональной гордости коллектива Группы.

В преддверии Нового года желаю вам стабильной и безопасной работы, дальнейшего развития производственного потенциала и новых профессиональных достижений. Уверен, что 2026 год откроет новые возможности для роста и укрепления позиций отрасли на международном уровне.



SAG Mill FLS

С уважением,
Андрей Третьяков
Председатель Правления
Группы KAZ Minerals



FLS



SAG Mill, Ball Mills FLS

Код МРНТИ 52.01.85

А.А. Бояндинова, *Ж.А. Адилханова

Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «Институт горного дела им. Д.А. Кунаева» (г. Алматы, Казахстан)

ПОДХОД К ПРОЕКТНЫМ УПРАВЛЕНЧЕСКИМ РЕШЕНИЯМ ДЛЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ КАРЬЕРОВ С АВТОТРАНСПОРТОМ

Аннотация. Представлен подход к проектным управленческим решениям для геотехнологических комплексов с автотранспортом, применяемым при открытой разработке месторождений полезных ископаемых. Ключевым отличительным моментом формирования таких решений является качественная взаимосвязь устанавливаемых норм с планированием и экономической оценкой оптимальной производственной мощности горнодобывающего предприятия. Применение данного подхода позволяет системно и поэтапно учитывать специфику каждой горно-геологической и горнотехнической ситуации в карьере, что существенно повышает качество управления производственными операциями, способствует повышению степени формализованности и обоснованности управленческих решений, совершенствованию механизмов планирования и оптимизации производственных процессов, а также обеспечивает устойчивое функционирование и конкурентоспособность горнодобывающих предприятий.

Ключевые слова: проектные управленческие решения, конкурентоспособность, эффективность, геотехнологический комплекс, гибкое нормирование, оптимизация.

Автокөлігі бар карьерлердің геотехнологиялық кешендеріне арналған жобалық басқару шешімдеріне көзқарас

Аңдатпа. Пайдалы қазбалар кен орындарын ашық игеру кезінде қолданылатын автокөлігі бар геотехнологиялық кешендерге арналған жобалық басқару шешімдеріне көзқарас ұсынылды. Мұндай шешімдерді қалыптастырудың басты ерекшелігі-белгіленген нормалардың тау-кен кәсіпорнының онтайлы өндірістік қуатын жоспарлаумен және экономикалық бағалаумен сапалы байланысы. Бұл тәсілді қолдану мансаптағы әрбір тау-кен-геологиялық және тау-кен техникалық жағдайдың ерекшелігін жүйелі және кезең-кезеңімен ескеруге мүмкіндік береді, бұл өндірістік операцияларды басқару сапасын едәуір арттырады, басқару шешімдерінің формализациялану және негізділік дәрежесін арттыруға, өндірістік процестерді жоспарлау және онтайландыру тетіктерін жетілдіруге ықпал етеді, сондай-ақ тау-кен кәсіпорындарының тұрақты жұмыс істеуі мен бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз етеді.

Түйінді сөздер: жобалық басқару шешімдері, бәсекеге қабілеттілік, тиімділік, геотехнологиялық кешені, ікемді нормалау, оңтайландыру.

An approach to project management solutions for geotechnological complexes of open-pits with dump truck transport

Abstract. A scientifically based approach is presented using a process scheduling method with flexible, regulated standardization of process indicators. This method maximizes the quality of standards' compliance with specific mining, geological, and organizational-technical operating conditions for the primary process equipment and enables dynamic modeling of mining and transport equipment operation at working horizons. Future development of the system will enable the prompt establishment of reliable equipment performance standards, the generation of high-quality and reliable plans for mining and transport operations, taking into account the presence and nature of individual mining, geological, and technical conditions, the prompt and cost-effective response to changes, and the conduct of economic justifications already at the planning stage of mining and transport operations, which ultimately ensures the sustainable functioning and competitiveness of mining production.

Key words: Project management solutions, competitiveness, efficiency, geotechnological complex, flexible standardization, optimization.

Введение

Геотехнологический комплекс как объект исследования по своей природе является масштабной, динамичной и многофакторной системой, что обуславливает повышенные требования к качеству, адекватности и оперативности информационного обеспечения процессов управления. В настоящее время в горнодобывающей промышленности широко применяются автоматизированные системы планирования функционирования технологических комплексов карьеров. Вместе с тем не все из существующих решений обеспечивают полноценное управление геотехнологическим комплексом, включая прогнозирование возможных изменений и целенаправленное воздействие на причины возникновения будущих производственных ситуаций.

Постоянное совершенствование горной техники, технологий и средств вычислительной техники обуславливает развитие и усложнение методов управления производством, направленных на повышение эффективности функционирования горнодобывающих предприятий. На сегодняшний день известно достаточное количество отечественных и зарубежных программных продуктов различной ценовой политики, в той или иной степени решающих вопросы управления. К ним относятся продукты таких фирм, как: SARscape (США), Modular Systems (США), Wenco (Канада), Runge Pincock Minarco (Австралия), Deswik (Австралия), Geovia MineSched (Австралия), K-mine (Украина), ОАО «Виогем» (Россия), «ВИСТ Групп» (Россия) и др. [1–6].

Результаты проведенного углубленного анализа существующих систем управления технологическими процессами на горнодобывающих предприятиях показали, что, несмотря на значительное развитие в области создания и внедрения подобных систем, их функциональные возможности остаются ограниченными. В частности, в большинстве коммерчески доступных решений отсутствует применение методов имитационного моделирования, что снижает их потенциал при решении задач прогнозирования, оптимизации и оценки эффективности производственных процессов. Кроме того, существующие системы не обеспечивают детальной проработки и поддержки процессов планирования горнотранспортных работ, которые играют ключевую роль в повышении производительности и снижении эксплуатационных затрат.

Непрерывное развитие и модернизация технологий объективно обуславливают необходимость совершенствования подходов к их организации и управлению. В этой связи актуализируется модернизация методических аспектов процессов управления, а также развитие методологического обеспечения производственной и научно-исследовательской деятельности. Одним из ключевых направлений данного процесса является постоянное совершенствование методов автоматизированного управления производственными процессами на карьерах.

Таким образом, разработка и развитие методов исследования, направленных на формирование качественного методического обеспечения выработки эффективных про-

ектных и управленческих решений в геотехнологических комплексах карьеров с использованием автомобильного транспорта, представляет собой актуальную и значимую научную задачу.

Методы исследования

Современное горное предприятие представляет собой сложную многоуровневую производственную систему, эффективность функционирования которой в значительной степени определяется качеством проектных управленческих решений, принимаемых на этапах проектирования, строительства и эксплуатации геотехнологических комплексов. Ошибки, допущенные на стадии проектирования, как правило, требуют значительных материальных затрат для их последующего устранения. В то же время сложность коррекции управленческих ошибок во многом определяется их характером (тактическим или стратегическим), а также уровнем методического и инструментального обеспечения процессов подготовки и принятия решений управленческим персоналом на различных уровнях управления.

Вопросы повышения эффективности проектных управленческих решений в горнодобывающей отрасли остаются актуальными и требуют системного подхода, учитывающего многообразие технологических, организационных, экономических и временных факторов, а также необходимость оперативного анализа и корректировки принимаемых решений в условиях изменяющейся производственной обстановки.

Для решения поставленных в работе задач использован комплекс методов исследования, основу которого составляют методы имитационного моделирования производственных процессов геотехнологических комплексов карьеров с автотранспортом. Применение имитационного моделирования позволяет формализовать взаимосвязи между основными элементами производственной системы, воспроизвести динамику функционирования горнотранспортного комплекса и оценить влияние различных управленческих решений на показатели его эффективности.

В рамках исследования имитационные модели использовались для анализа сценариев взаимодействия экскаваторного и автотранспортного оборудования, оценки загрузки производственных мощностей, выявления «узких мест» в технологических процессах, а также для обоснования проектных управленческих решений в условиях неопределенности и вариативности исходных данных.

Дополнительно в работе применялись методы системного анализа, обеспечивающие рассмотрение геотехнологического комплекса как единой взаимосвязанной системы, а также методы сравнительного анализа для оценки существующих систем управления и выявления их функциональных и методологических ограничений. Для обоснования проектных решений использовались элементы сценарного анализа, позволяющие оценить последствия изменения технологических параметров, структуры оборудования и организационных условий производства.

Таким образом, применение методов имитационного моделирования в сочетании с системным и сценарным анализом позволяет повысить обоснованность проект-

ных управленческих решений, обеспечить согласованное функционирование элементов геотехнологического комплекса и создать предпосылки для устойчивого и эффективного развития горнодобывающих предприятий.

Результаты

Конкурентоспособность горнодобывающего предприятия на мировом рынке и устойчивое улучшение его финансово-экономического состояния во многом определяются результатами деятельности их производственных подразделений и применяемым инструментарием управления. Анализ ряда горнодобывающих предприятий показывает, что эффективность использования ресурсов значительно варьируется между производственными подразделениями и в течение календарного года. Существенные возможности снижения удельного расхода ресурсов, которые составляют 1,5–2 раза, не реализуются в полной мере. Это приводит к снижению устойчивости функционирования и повышает уязвимость предприятия на рынке, особенно в период экономического кризиса [7].

Одна из причин такой ситуации в том, что при планировании развития применяются несоответствующие современным условиям и требованиям нормы и стандарты. Такой подход к планированию приводит к дисбалансу интересов собственников предприятия и персонала, так как не позволяет обеспечивать ни необходимый для устойчивой конкурентоспособности темп повышения эффективности производства, ни удовлетворяющий работников темп роста реализации их интересов. В исследованиях российских ученых Довженка А.С., Кулецкого В.Н., Федоркевич Т.И. показано, что существующие нормы проектирования производственных процессов, которые транслируются затем и на планирование развития производственных подразделений, ориентированы на среднеотраслевые показатели производительности оборудования. В то же время высокая конкурентоспособность и инвестиционная привлекательность зачастую обеспечиваются при уровне производительности оборудования и труда персонала в 2–2,5 раза превышающем среднеотраслевые показатели [8–9].

Формирование проектных управленческих решений для геотехнологических комплексов карьеров с автотранспортом основывается на применении метода календарного планирования технологических процессов с учетом гибкого регламентированного нормирования технологических показателей [10–11] и корпоративных интересов структурных подразделений, обеспечивающих реализацию основных технологических процессов в рамках единой системы геотехнологического комплекса. Зачастую нормы выработки, применяемые при планировании на большинстве предприятий в настоящее время, приняты на основе средних фактических показателей горнотранспортного комплекса в целом и не соответствуют фактическим нормам отдельно взятой единице действующего оборудования. Следствием такого планирования являются невыполнение плановых показателей, большие нерациональные экономические затраты и многое другое. В виду этого необходимо переходить от планирования параметров технологических процессов на основе среднеотраслевых или достигнутых показателей к определению прогрес-

сивных целей, в основе которых лежат стандарты и нормы, обеспечивающие достижение конкурентоспособного уровня производительности. В настоящее время мировым сообществом общепризнан тот факт, что планирование эталонных показателей работы оборудования должно осуществляться из расчета его технико-технологических возможностей. Поскольку для каждой единицы оборудования данные возможности различны, то и нормы должны устанавливаться индивидуально по каждой отдельно взятой единице горнотранспортного оборудования.

Основной проблемой традиционных методов планирования всегда являлась и остается таковой по настоящее время взаимосвязка горно-геометрических и горно-геологических параметров с производственной мощностью используемого горнотранспортного оборудования. Наиболее трудно реализуемым и требующим наивысшей степени точности, а также в наибольшей степени ответственным является сменное оперативное планирование. Эффективное взаимодействие конкретно рассматриваемого горного и транспортного оборудования предполагает соответствующую производительность, т. е. нормы выработки должны быть мобилизующими, способствовать выявлению и более полному использованию резервов роста производительности труда, повышению эффективности производства; взаимосвязка и взаимосогласованность систем планирования и управления горными работами должны быть максимальными именно на этом этапе: при планировании должны быть учтены неравномерности и необходимость корректировки протекания технологических процессов в карьере из-за неплановых простоев горного и транспортного оборудования, неподтверждения горно-геологической ситуации, организация взаимодействия и техническое состояние горного и транспортного оборудования; основание на действующих нормативах и т. д.

Важнейшими показателями, характеризующими рациональность использования производственной мощности предприятия, являются коэффициент использования производственной мощности и коэффициент средней загрузки технологического оборудования, критерий уровня организации интенсивного использования производственной мощности (минимум разрыва между коэффициентом использования производственной мощности и коэффициентом средней загрузки оборудования). Поэтому задачей нормирования является определение нормативных значений именно этих показателей. Гибкость в данном случае заключается в индивидуальном подходе к нормированию работы каждой единицы оборудования с учетом его технических, технологических и экономических показателей, а также горно-геологических условий эксплуатации.

Разные условия эксплуатации оборудования на карьерах исключают возможность применения на них среднеотраслевых нормативов использования горнотранспортного оборудования по времени. Для того чтобы учесть различные горно-геологические, горнотехнические и другие условия эксплуатации оборудования на карьерах, дополнительно вводится показатель срока рациональной эксплуатации оборудования, под которым понимается не традиционная продолжительность списания капитальных вложений до размера ликвидационной стоимости, а время

его эффективного физического функционирования [12]. Сроки рациональной эксплуатации оборудования определяются исходя из рентабельности функционирования горнотранспортной системы карьера – важнейшего показателя, оценивающего уровень эффективности ее работы. Это обеспечивает наиболее эффективное использование имеющихся производственных мощностей. Предельный срок рациональной эксплуатации оборудования устанавливается исходя из условия, что рентабельность продукции горнотранспортного комплекса не меньше рентабельности, принятой на данном предприятии. Срок рациональной эксплуатации устанавливается по каждой единице технологического оборудования.

Обсуждение

В ходе обсуждения полученных результатов установлено, что одним из ключевых отличительных аспектов формирования проектных управленческих решений является обеспечение качественной взаимосвязки устанавливаемых нормативов с процедурами планирования и экономической оценки оптимальной производственной мощности горнодобывающего предприятия. Реализация данного подхода позволяет поэтапно и более адекватно учитывать совокупность горно-геологических и горнотехнических условий, формирующихся в карьере, что, в свою очередь, обеспечивает существенное повышение качества управления производственными процессами.

Предлагаемый подход к проектным управленческим решениям для геотехнологических комплексов карьеров с автотранспортом создает предпосылки к установлению реальных норм и плановых показателей по основным элементам системы на основе учета фактических технологических возможностей и экономически эффективной работы горнотранспортного комплекса в целом. Позволит значительно сократить удельные текущие затраты на добычу и транспортировку горной массы. Кроме того, основным критерием принятия проектных управленческих решений являются корпоративные интересы, нацеленные на обеспечение максимальной экономической эффективности работы горнодобывающего предприятия в целом.

Данный метод в наибольшей степени обеспечивает качественное соответствие норм определенным горно-геологическим и организационно-техническим условиям работы основного технологического оборудования и открывает возможность моделирования работы горного и транспортного оборудования на рабочих горизонтах в динамике. Прогрессивные нормы способствуют созданию обоснованной базы для материального стимулирования ускорения освоения проектных показателей, так как при досрочном их освоении увеличивается прибыль предприятия, предоставляется возможность точнее определять сроки окупаемости капитальных вложений, обеспечивается целенаправленный рост производства в период освоения и более высокая отдача капитальных вложений.

Заключение

Таким образом, обоснован подход к принятию проектных управленческих решений в рамках функционирования геотехнологических комплексов карьеров, ба-

зирующийся на применении метода календарного планирования технологических процессов с интеграцией механизма гибкого регламентированного нормирования ключевых технологических показателей. Данный подход обеспечивает высокую степень соответствия норм специфическим горно-геологическим и организационно-техническим условиям конкретного карьера, а также открывает возможность динамического моделирования работы горного и транспортного оборудования на рабочих горизонтах с учетом изменяющихся условий эксплуатации.

В совокупности внедрение предложенного подхода создает предпосылки для системной оптимизации рабо-

ты геотехнологических комплексов карьеров, повышения производственной надежности и эффективности использования горного и транспортного оборудования, а также формирования научно-обоснованной базы для стратегического планирования горнотранспортных операций.

Благодарность

Данная статья финансировалась Комитетом промышленности Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан по ПЦФ BR23991563 «Создание инновационных ресурсосберегающих технологий добычи и комплексной переработки минерального и техногенного сырья».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Табакман И.Б. Повышение качества и безопасности горных работ на основе автоматизированных систем управления на карьерах // Проблемы и пути инновационного развития горнодобывающей промышленности: мат. VI междунар. науч.-практ. конф., Алматы, 2013. С. 406–409 (на русском языке)
2. Темкин И.О., Клебанов Д.А. Интеллектуальные системы управления горнотранспортными комплексами: современное состояние, задачи и механизмы решения // Горный информационно-аналитический бюллетень. Специальный выпуск. «Неделя Горняка – 2014». 2014. С. 8–13 (на русском языке)
3. Назаренко В.М., Назаренко М.В., Назаренко Н.В. и др. Автоматизированная система планирования горных работ на базе ГИС K-Mine // «SVIT GIS-2012»: Сб. докладов II Междунар. науч.-практ. семинара, Кривой Рог, 2012. С. 120–128 (на русском языке)
4. Нуето А., Медина Дж.Ф. Разработка индекса стратегического социально-экономического риска как вспомогательного средства для оценки осуществимости горнодобывающих проектов и операций // Журнал Южноафриканского института горного дела и металлургии. 2020. № 7 (120). С. 433–450 (на английском языке)
5. Многокритериальный подход к программированию с ограничениями для решения проблем кластеризации при планировании горных работ / Мариц Дж. Л.В. [и др.] // Инженерные вычисления. 2024. Т. 41. № 10. С. 2682–2706 (на английском языке)
6. Нориега Р., Пуррахимян Й., Аскари-Насаб Х. (Январь, 2025). Система диспетчеризации самосвалов на открытых горных работах в режиме реального времени на основе глубокого обучения с подкреплением. Компьютерные и операционные исследования. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305054824002879> (на английском языке)
7. Прогнозирование циклического общественно-экономического развития внешней и внутренней среды организации / Ю.А. Адерихо, О.А. Володарский, А.Ф. Крюкова [и др.]. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. 404 с. (на русском языке)
8. Кулецкий В.Н. Разработка комплекса решений по формированию угольного разреза нового технико-технологического уровня: автореф. дис. ... канд. техн. наук, Магнитогорск, 2013. 24 с. (на русском языке)
9. Планирование развития производственного подразделения угледобывающего предприятия (на примере горнотранспортного участка ОАО «Разрез Тугунуйский») / Кулецкий В.Н. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 6 (29). С. 36 (на русском языке)
10. Адилханова Ж.А. Разработка методического обеспечения корпоративного оперативного планирования горнотранспортных работ при управлении геотехнологическими комплексами: дисс. ... канд. техн. наук, Алматы, 2009. 118 с. (на русском языке)
11. Бояндинова А.А. Научно-методическое обеспечение устойчивости функционирования геотехнологических систем на открытых разработках: дисс. ... д-р. техн. наук, Алматы, 2010. 269 с. (на русском языке)
12. Адилханова Ж., Бояндинова А. Концепция системы управления технологическими процессами на карьерах // Труды 18-й Международной междисциплинарной научной геоконференции SGEM 2018. Албена, Болгария. 2018. С. 191–196 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Табакман И.Б. Автоматтандырылған карьерлік басқару жүйелеріне негізделген тау-кен жұмыстарының сапасы мен қауіпсіздігін арттыру // Тау-кен өнеркәсібінің инновациялық даму

- мәселелері мен жолдары: VI Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция материалдары, Алматы, 2013. Б. 406–409 (орыс тілінде)
2. Темкин И.О., Клебанов Д.А. Тау-кен және көлік кешендеріне арналған интеллектуалды басқару жүйелері: ағымдағы жағдайы, міндеттері және шешім қабылдау механизмдері // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. Арнайы шығарылым. «Шахтер апталығы – 2014». 2014. Б. 8–13 (орыс тілінде)
 3. Назаренко В.М., Назаренко М.В., Назаренко Н.В. және т. б. K-Mine GIS негізінде тау-кен жұмыстарын жоспарлаудың автоматтандырылған жүйесі // «SVIT GIS-2012»: II Халықаралық ғылыми-тәжірибелік семинардың есептерінің жинағы, Кривой Рог, 2012. Б. 120–128 (орыс тілінде)
 4. Nieto A., Medina Дж.Ф. Тау-кен жобалары мен операцияларының орындылығын бағалауға көмек ретінде әлеуметтік-экономикалық стратегиялық тәуекел индексін әзірлеу // Оңтүстік Африка тау-кен және металлургия институтының журналы. 2020. № 7 (120). Б. 433–450 (ағылшын тілінде)
 5. Кен жоспарлаудағы кластерлік мәселелерді шешуге арналған көп мақсатты шектеулерді бағдарламалау тәсілі / Мариц Дж. Л.В. [және т. б.] // Инженерлік есептеулер. 2024. Т. 41. № 10. Б. 2682–2706 (ағылшын тілінде)
 6. Нориега Р., Пуррахимян Й., Аскар-Насаб Х. (Қаңтар, 2025). Терең нығайтуды оқытуға негізделген нақты уақыт режиміндегі ашық карьерлік тау-кен жүк көліктерін диспетчерлеу жүйесі. Компьютерлер және операцияларды зерттеу. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305054824002879> (ағылшын тілінде)
 7. Ұйымның сыртқы және ішкі ортасының циклдік әлеуметтік-экономикалық дамуын болжау / Ю.А. Адериго, О.А. Володарский, А.Ф. Крюкова [және т. б.]. Красноярск: Сібір федералды университеті, 2013. 404 б. (орыс тілінде)
 8. Кулецкий В.Н. Жаңа техникалық және технологиялық деңгейдегі көмір ашық шахтасын қалыптастыруға арналған шешімдер жиынтығын әзірлеу: PhD диссертациясының аннотациясы, Магнитогорск, 2013. 24 б. (орыс тілінде)
 9. Көмір өндіру кәсіпорнының өндірістік бөлімшесін дамытуды жоспарлау (мысал ретінде «Разрез Тугнуйский» ААҚ тау-кен және көлік бөлімін пайдалана отырып) / Кулецкий В.Н. [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. 2015. № 6 (29). Б. 36 (орыс тілінде)
 10. Әділханова Ж.А. Геотехнологиялық кешендерді басқаруда тау-кен және көлік операцияларын корпоративтік операциялық жоспарлауды әдістемелік қолдауды әзірлеу: дис. ... ғылым кандидаты (инж.), Алматы, 2009. 118 б. (орыс тілінде)
 11. Бояндинова А.А. Ашық карьерлік тау-кен өндірісіндегі геотехнологиялық жүйелердің жұмыс істеуінің тұрақтылығын ғылыми-әдістемелік қамтамасыз ету: дис. ... техника ғылымдарының докторы, Алматы, 2010. 269 б. (орыс тілінде)
 12. Әділханова Ж., Бояндинова А. Ашық карьерлердегі технологиялық процестерді басқару жүйесінің тұжырымдамасы // 18-ші халықаралық көп салалы ғылыми геоконференция SGEM 2018 материалдары, Албена, Болгария, 2018. Б. 191–196 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Tabakman I.B. Povyshenie kachestva i bezopasnosti gornykh работ na osnove avtomatizirovannykh sistem upravleniya na kar'erakh [Improving the quality and safety of mining operations using automated control systems at open pits], Materialy VI mezhd. nauch.-prakt. konf. «Problemy i puti innovatsionnogo razvitiya gornodobyvayushchei promyshlennosti» [Proceedings of the VIth int. scient-pract. conf. «Problems and Ways of Innovative Development of the Mining Industry»], Almaty, 2013. 406–409 pp. (in Russian)
2. Temkin I.O., Klebanov D.A. Intellektual'nye sistemy upravleniya gorno-transportnymi kompleksami: sovremennoe sostoyanie, zadachi i mekhanizmy resheniya [Intelligent control systems for mining and transport complexes: current status, challenges, and solution mechanisms], Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. Spetsial'nyi vypusk. «Nedelya Gornyaka – 2014» [Mining information and analytical bulletin. Special issue. «Miner's Week 2014»]. 2014. 8–13 pp. (in Russian)
3. Nazarenko V.M., Nazarenko M.V., Nazarenko N.V. et al. Avtomatizirovannaya sistema planirovaniya gornykh работ na baze GIS K-Mine [Automated system for planning mining operations based on K-Mine GIS], Sb. dokladov II Mezhdunar. nauch.-prakt. Seminara «SVIT GIS-2012» [Proceedings of the int. scient-pract. seminar «SVIT GIS-2012»], Krivoy Rog, 2012. 120–128 pp. (in Russian)
4. Nieto A., Medina J.F. Development of a socio-economic strategic risk index as an aid for the feasibility assessment of mining projects and operations // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2020. No. 7 (120). 433–450 pp. (in English)
5. A multi-objective constraint programming approach to address clustering problems in mine planning / Mariz J.L.V. [et al.] // Engineering Computations. 2024. V. 41. No. 10. 2682–2706 pp. (in English)

6. Noriega R., Pourrahimian Y., Askari-Nasab. H. (January, 2025). Deep Reinforcement Learning based real-time open-pit mining truck dispatching system. *Computers & Operations Research*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305054824002879> (in English)
7. Prognozirovanie tsiklichnogo obshchestvenno-ekonomicheskogo razvitiya vneshnei i vnutrennei sredy organizatsii [Forecasting the Cyclical Socioeconomic Development of the External and Internal Environment of an Organization], Yu.A. Aderikho, O.A. Volodarskii, A.F. Kryukova [et al.]. Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2013. 404 p. (in Russian)
8. Kuletskii V.N. Razrabotka kompleksa reshenii po formirovaniyu ugol'nogo razreza novogo tekhniko-tekhnologicheskogo urovnya [Development of a Set of Solutions for the Formation of a Coal Open-Pit Mine of a New Technical and Technological Level: avtoref. dis. ... cand. tech. sciences], Magnitogorsk, 2013. 24 p. (in Russian)
9. Planirovanie razvitiya proizvodstvennogo podrazdeleniya ugledobyvayushchego predpriyatiya (na primere gornotransportnogo uchastka OAO «Razrez Tugnuiskii»), [Planning of the development of the production unit of a coal mining enterprise (on the example of the mining and transportation section of JSC Tugnuisky Section)], Kuletskii V.N. [et al.], Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2015. No. 6 (29). 36 p. (in Russian)
10. Adilkhanova Zh.A. Razrabotka metodicheskogo obespecheniya korporativnogo operativnogo planirovaniya gorno-transportnykh rabot pri upravlenii geotekhnologicheskimi kompleksami [Development of Methodical Support for Corporate Operational Planning of Mining and Transport Operations in the Management of Geotechnological Complexes], dis. ... cand. tech. sciences], Almaty, 2009. 118 p. (in Russian)
11. Boyandinova A.A. Nauchno-metodicheskoe obespechenie ustoichivosti funktsionirovaniya geotekhnologicheskikh sistem na otkrytykh razrabotkakh [Scientific and Methodological Support for the Sustainable Operation of Geotechnological Systems in Open-Pit Mines], dis. ... dr. tech. sciences], Almaty, 2010. 269 p. (in Russian)
12. Adilkhanova Zh., Boyandinova A. Concept of Management System of Technological Processes at Open Pits // Proceedings of the 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018, Albena, Bulgaria, 2018. 191–196 pp. (in English)

Сведения об авторах:

Бояндинова А.А., д. т. н., доцент, ученый секретарь Филиала РГП «НЦ КПМС РК» «Институт горного дела им. Д.А. Кунаева» (г. Алматы, Казахстан), A.Boyandinova@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-5197-4599>

Адильханова Ж.А., к. т. н., заведующая лабораторией Филиала РГП «НЦ КПМС РК» «Институт горного дела им. Д.А. Кунаева» (г. Алматы, Казахстан), Zhanna_mark10@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2637-4006>

Авторлар туралы мәліметтер:

Бояндинова Ә.Ә., т. ғ. д., доцент, «ҚР ҰК МҚК» РМҚ «Д.А. Қонаев атындағы Тау-кен институты» филиалының ғылыми хатшысы (Алматы қ., Қазақстан)

Әділханова Ж.А., т. ғ. к., «ҚР ҰК МҚК» РМҚ «Д.А. Қонаев атындағы Тау-кен институты» филиалының зертхана меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Boyandinova A.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Scientific Secretary of the «Institute of Mining named after D.A. Kunayev» Branch of the «NC CPMS RK» RSE (Almaty, Kazakhstan)

Adilkhanova Zh.A., Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory of the «Institute of Mining named after D.A. Kunayev» Branch of the «NC CPMS RK» RSE (Almaty, Kazakhstan)

Код МРНТИ 52.13.15

Д. Таханов^{1,2}, *А. Жиенбаев³, М. Балпанова², Д. Нурекин⁴¹НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан),²ТОО «Корпорация Казахмыс» (г. Жезказган, Казахстан),³ТОО «Научно-технический центр промышленной безопасности» (г. Караганда, Казахстан),⁴АО «Жезказганский университет им. О.А. Байконурова» (г. Жезказган, Казахстан)

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАССИВНЫХ И БАРЬЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ НА РУДНИКЕ ЖОМАРТ

Аннотация. В статье представлены результаты геомеханического обоснования параметров новой технологии камерно-столбовой разработки с использованием барьерных и массивных целиков в условиях рудника Жомарт. Проведено численное моделирование с применением критерия Хука-Брауна и анализ натурных наблюдений за устойчивостью кровли и целиков на основе данных, собранных в период 2019–2022 гг. Установлено, что уменьшение ширины очистных камер до 7 м при применении массивных целиков обеспечивает повышение устойчивости кровли более чем в полтора раза. Рассчитаны коэффициенты запаса прочности междукамерных, барьерных и массивных целиков. Доказана эффективность предложенной схемы разработки для обеспечения устойчивости выработанного пространства и снижения потерь полезного ископаемого. Полученные результаты рекомендованы к внедрению на объектах с аналогичными геомеханическими условиями.

Ключевые слова: камерно-столбовая система, массивный целик, барьерный целик, устойчивость кровли, коэффициент запаса прочности, численное моделирование, рудник Жомарт.

Жомарт кенішінде массивті және тосқауыл кентіректерді қолдана отырып, жаңа өндіру технологиясының параметрлерін негіздеу

Аннотация. Мақалада Жомарт кенішінің жағдайында тосқауыл және массивті кентіректерді қолдана отырып, камералық-бағаналық жүйе негізіндегі жаңа өндіру технологиясының параметрлерін геомеханикалық негіздеу нәтижелері келтірілген. 2019–2022 жылдар аралығында алынған деректер негізінде төбе мен кентіректердің тұрақтылығына далалық бақылау нәтижелері мен Хук-Браун критерийі арқылы сандық модельдеу жүргізілді. Тазарту камераларының ені 7 метрге дейін қысқарған жағдайда массивті кентіректерді қолдану төбе тұрақтылығын 1,5 есеге арттыратыны дәлелденді. Өртүрлі кентіректер үшін беріктік қоры коэффициенттері есептелді. Ұсынылған технологиялық схема кеністіктің тұрақтылығын қамтамасыз етіп, пайдалы қазбалар шығынын азайтуға мүмкіндік беретіні дәлелденді. Нәтижелер ұқсас геомеханикалық жағдайлары бар кен орындары үшін ұсынылады.

Түйінді сөздер: камералық-бағаналық жүйе, массивті кентірек, тосқауыл кентірек, төбе тұрақтылығы, беріктік қоры коэффициенті, сандық модельдеу, Жомарт кеніші.

Justification of parameters for a new mining technology using massive and barrier pillars at the Zhomart mine

Abstract. This paper presents the results of a geomechanical justification of a new room-and-pillar mining technology using barrier and massive pillars at the Zhomart mine. Numerical modeling based on the Hoek-Brown failure criterion and field monitoring of roof and pillar stability were conducted using data from 2019 to 2022. It was found that reducing the stope width to 7 meters while applying massive pillars improves roof stability by more than 1.5 times. Safety factors were calculated for inter-chamber, barrier, and massive pillars. The proposed technological scheme is proven to be effective in ensuring the stability of mined-out areas and reducing ore losses. The results are recommended for implementation at deposits with similar geomechanical conditions.

Key words: room-and-pillar system, massive pillar, barrier pillar, roof stability, safety factor, numerical modeling, Zhomart mine.

Введение

В современных условиях интенсификации горнодобывающего производства особую актуальность приобретают вопросы повышения безопасности и эффективности разработки месторождений твердых полезных ископаемых. Особенно важным это становится для предприятий, осуществляющих подземную разработку площадных залежей на больших глубинах. На примере рудника Жомарт, который эксплуатируется в сложных горно-геологических условиях, выявляется значительная потребность в совершенствовании технологии камерно-столбовой системы разработки. Применение барьерных и массивных целиков в практике добычи является перспективным направлением, позволяющим минимизировать риски обрушений, увеличить полноту извлечения запасов и обеспечить экономическую целесообразность горных работ.

Цель исследования – разработать технологию камерно-столбовой системы с барьерными и массивными целиками, обеспечивающую устойчивость выработок и высокий коэффициент извлечения. Задачи исследования заключаются в следующем. Необходимо провести анализ и обобщение мирового опыта применения камерно-столбовой системы разработки с использованием целиков

различного типа. Также предстоит выполнить численное моделирование устойчивости конструктивных элементов при различных вариантах их исполнения. Важно определить оптимальные параметры пролетов очистных камер и размеры барьерных и массивных целиков для условий рудника Жомарт.

Объектом исследования выступает рудник Жомарт (месторождение Жаман-Айбат), входящий в состав предприятия ПО «ЖЦМ» ТОО «Корпорация Казахмыс». Характерной особенностью данного объекта является значительная неоднородность геологических условий, обусловленная частым прослаиванием прочностно-неоднородных пород и руды, что существенно усложняет проведение горных работ. На протяжении последних лет на руднике наблюдаются проблемы с устойчивостью кровли и междукамерных целиков, что подтверждает необходимость детального изучения и совершенствования технологических параметров разработки запасов.

Актуальность современных проблем устойчивости камерно-столбовой системы разработки в сложных горно-геологических условиях не только обсуждается в профессиональных кругах, но и подтверждена многочисленными научными публикациями ведущих исследователей отрасли.

Геомеханическое обоснование параметров системы разработки месторождения Жаман-Айбат, проведенное авторами [1], позволило определить оптимальные условия для повышения устойчивости кровли и целиков. Также они предложили методику оценки распространения физических процессов в массиве в условиях естественного напряженного состояния [2], что имеет важное значение для моделирования процессов обрушения.

Работы [3, 4] посвящены определению параметров зон обрушения при повторной разработке целиков. Они проанализировали стабильность пролетов кровли в условиях применения камерно-столбовой системы, что напрямую связано с темой оптимизации конструктивных элементов разработки.

Исследования зарубежных авторов, таких как Guo и Miao [5], показали особенности устойчивости выработок при разработке длиннападающих тонких залежей, а Feng и др. [6] рассмотрели теорию ключевых целиков для объяснения цепных разрушений, что особенно важно для глубоких горизонтов. Нао и коллеги [7] предложили технологии полосового заполнения и повторной разработки целиков, что близко по тематике к методам оптимизации повторной отработки.

В работе [8] исследованы параметры междукамерных целиков при разработке наклонных залежей, предложив методику, релевантную и для пологих месторождений типа Жаман-Айбат. Жараспаев М.А. в своих работах [9, 10] осветил практический опыт применения панельно-столбовой системы и результаты повторной отработки, что служит важной эмпирической базой для дальнейших исследований. Отдельного внимания заслуживает работа Абеуова Е.А. и коллег [11], в которой обоснованы допустимые пролеты кровли для условий Жаман-Айбат, что непосредственно перекликается с целями настоящего исследования.

Таким образом, выполненный анализ литературных источников показал, что вопросы устойчивости кровли и междукамерных целиков при камерно-столбовой системе разработки в сложных горно-геологических условиях остаются актуальными и требуют дальнейшего совершенствования. Основой для повышения устойчивости является не только оптимизация параметров системы разработки, но и применение современных методов численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива.

Методы исследования

В связи с этим в настоящем исследовании применен комплексный подход, включающий аналитические расчеты и численное моделирование, направленный на обоснование параметров новой технологии разработки с использованием барьерных и массивных целиков.

Учитывая актуальность и выводы из проведенного обзора, в рамках данного исследования был применен комплекс научных и инженерных методов, направленных на количественную оценку устойчивости камерно-столбовой системы разработки и обоснование параметров ее конструктивных элементов. Для достижения целей работы использован системный подход, основанный на сочетании

теоретического анализа, статистической обработки натуральных наблюдений и численного моделирования геомеханических процессов. Исследования базируются на данных, полученных при эксплуатации рудника Жомарт, и опыте разработки месторождения Жаман-Айбат.

Геомеханическое моделирование

Основу расчетов составило численное моделирование устойчивости междукамерных и барьерных целиков, а также кровли камер, с использованием специализированного программного обеспечения Examine2D. Расчеты проводились с применением обобщенного критерия Хука-Брауна и с учетом природного напряженного состояния массива. Прочностные характеристики пород определялись на основании данных UCS и индекса GSI.

При камерно-столбовой системе разработки характерно наличие протяженных залежей как по простиранию, так и по падению. В расчетной модели охватывались сразу несколько панелей длиной более 100 м. В таких условиях трехмерное моделирование не дает принципиально новых результатов, так как пространственные эффекты сглажены масштабом залежи. Поэтому применение Examine2D является оправданным: в рамках плоской задачи можно адекватно оценить распределение напряжений, зону пластических деформаций и коэффициент запаса прочности целиков. При необходимости, результаты сопоставлялись с расчетами в RS2, что подтвердило корректность выбранного подхода.

В рамках моделирования анализировались различные конфигурации междукамерных целиков: под защитой барьерных (БЦ), массивных (МЦ), а также их самостоятельная устойчивость. Подробные результаты моделирования приведены в разделе «Результаты и обсуждение».

Анализ натуральных наблюдений

Исследование базируется также на статистической обработке данных наблюдений за устойчивостью кровли и целиков, проведенных на руднике Жомарт за период 2019–2022 гг. Для оценки достоверности выводов использована база данных по 104 выемочным единицам (панелям, блокам), с анализом количества и мощностей вывалов пород с кровли. Результаты приведены в таблице 1, где показано распределение числа вывалов по различным диапазонам мощности. Визуальное представление этих данных дает график на рис. 1, наглядно демонстрирующий зависимость количества вывалов от их мощности. Эти данные позволяют понять динамику и масштаб проблем с устойчивостью кровли на разных этапах эксплуатации.

По статистике, в ранние годы (2008–2010) не учитывались вывалы с мощностью менее 1 м, что искажало картину распределения. Новые данные показали, что при ширине камеры 9 м доля вывалов мощностью более 2 м составляет 11%, при проходке горных выработок шириной менее 6 м – 7%, а при ширине 7 м и использовании массивных целиков в блоке 56-С2 зарегистрированы только 6 вывалов с мощностью от 0,3 до 1,9 м, то есть не более 2 м.

Аналитическое обоснование

Аналитическая часть включает оценку предельных параметров устойчивости междукамерных целиков

Количество вывалов пород с кровли по мощностям
Төбенің опырылып түсуінің қалыңдығы бойынша саны
The number of rock falls from the roof by capacity

Таблица 1
 Кесте 1
 Таблица 1

Мощность вывалов пород с кровли, м.	Количество вывалов по очистным выработкам за период 2008–10 гг., шт.	Количество вывалов по очистным выработкам за период 2019–22 гг., шт.	Количество вывалов по горнопроходческим выработкам за период 2019–22 гг., шт.
до 1	40	331	345
до 2	79	254	268
до 3	60	49	36
до 4	16	16	7
более 5	22	4	0
Всего	217	654	654

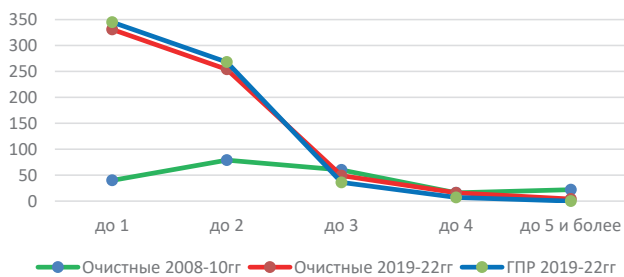


Рис. 1. График количества вывалов пород с кровли по мощностям.

Сурет 1. Төбенің опырылып түсуінің қалыңдығы бойынша санының кестесі.

Figure 1. Graph of the number of rock falls from the roof by capacity.

на основе соотношения мгновенной и длительной прочности. Расчеты выполнены с учетом прочностных характеристик серого рудного песчаника, слагающего основную часть массива. Параметры для расчета определялись согласно методике определения коэффициента запаса прочности. Также оценены значения коэффициента нагрузки на целики, зависящие от массы налегающей толщи и схемы разработки, что позволило выявить оптимальные условия разгрузки междукамерных целиков через массивные целики.

Примененные нормативные и эмпирические критерии

Использованы нормативные значения коэффициентов запаса прочности: не менее 1,2 – для междукамерных целиков, и $\geq 3,0$ – для барьерных и массивных, в соответствии с требованиями по безопасности. Эти значения подтверждены фактическими данными мониторинга.

Таким образом, примененная методология позволила обоснованно определить устойчивые параметры конструктивных элементов системы разработки. Ниже представлены ключевые результаты расчетов и анализа, полученные в ходе численного моделирования и полевых наблюдений.

Результаты исследования и обсуждение

На основе численного моделирования и анализа натуральных наблюдений была получена количественная оценка устойчивости конструктивных элементов системы разработки с применением барьерных (БЦ) и массивных целиков (МЦ) на руднике Жомарт.

По результатам анализа статистических данных за период 2019–2022 гг., уменьшение ширины камер с 9 до 7 м существенно повысило устойчивость кровли. В опытных блоках 56-С2 с шириной камер 7 м и применением массивных целиков зафиксированы единичные вывалы, не превышающие 1,9 м мощности, что составляет менее 1% общей площади обнажения кровли. Эти результаты подтверждают значительное повышение устойчивости и безопасности ведения работ по сравнению с ранее принятыми параметрами.

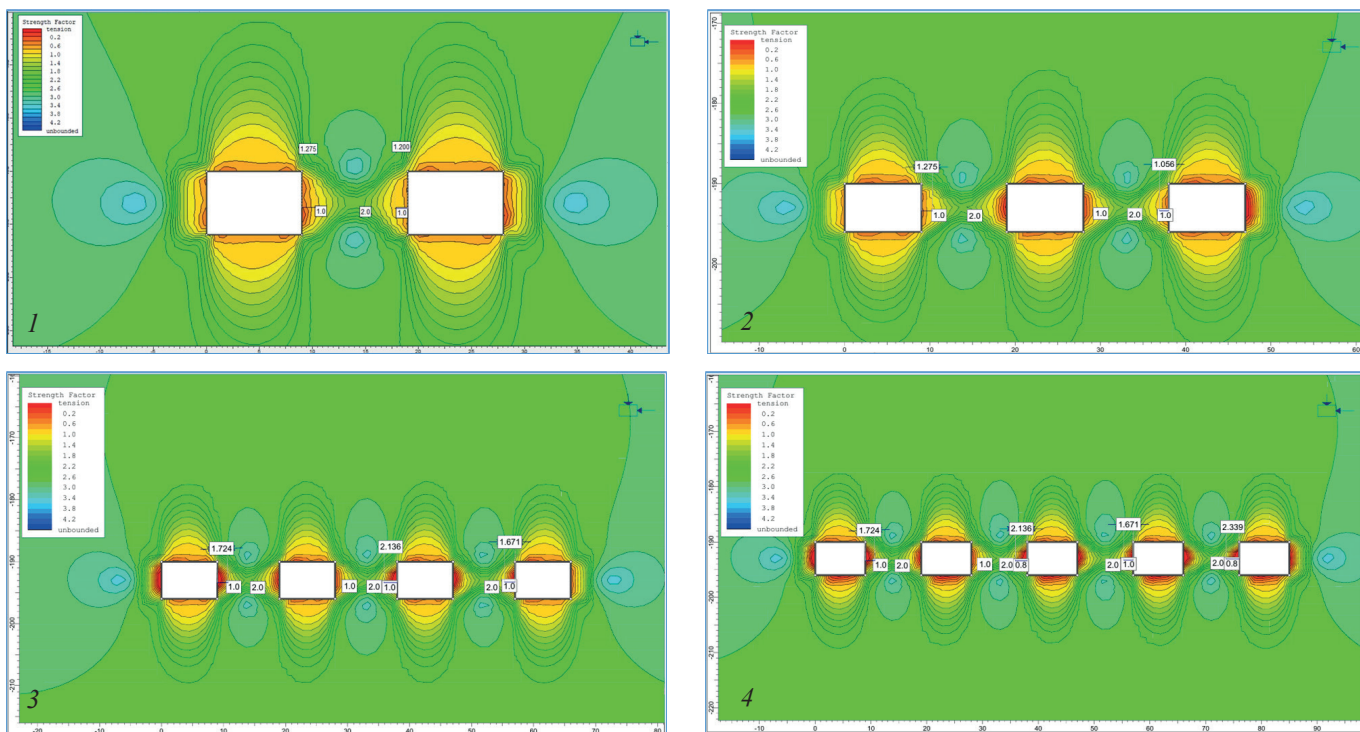
Численное моделирование показало, что уменьшение ширины камеры с 9 м до 7 м повышает устойчивость кровли в 1,7 раза, а при 6 м – более чем в два раза. Однако 6-метровые камеры были признаны неэффективными из-за несовместимости с применяемым оборудованием, тогда как камеры шириной 7 м продемонстрировали оптимальный баланс между устойчивостью и производительностью. Эти результаты подкреплены статистическим анализом (см. таблицу 1, рис. 1), а также полевыми наблюдениями.

Для оценки устойчивости междукамерных целиков (МКЦ) смоделированы различные конфигурации:

- под защитой барьерных целиков (БЦ) (рис. 2),
- под защитой массивных целиков (МЦ) (рис. 3),
- сами БЦ и МЦ как самостоятельные элементы (рис. 4).

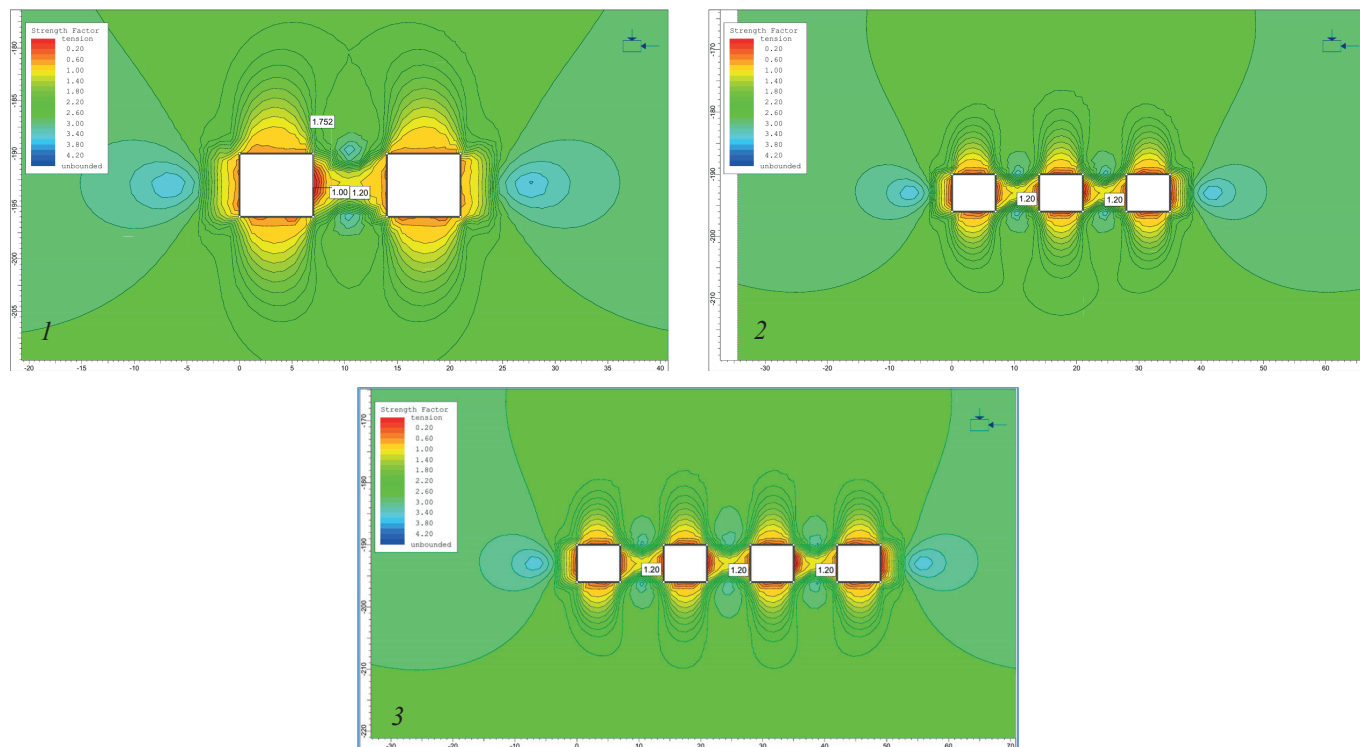
Согласно рис. 2 при камерно-столбовой системе разработки под защитой БЦ, прочность (коэффициент запаса прочности) МКЦ составляет не менее 2 во всех случаях, возможны отслоения боковых поверхностей до 1,2 м, что подтверждается фактическими наблюдениями геомеханического мониторинга на руднике. Принятые параметры – ширина камеры 9 м, ширина целика 10 м.

Под защитой МЦ коэффициент запаса прочности МКЦ равен 1,2 (рис. 3), что минимально допустимо по нормативным требованиям, но стабильно и безопасно с учетом разгрузки от тяжелых МЦ. Эти значения продемонстри-



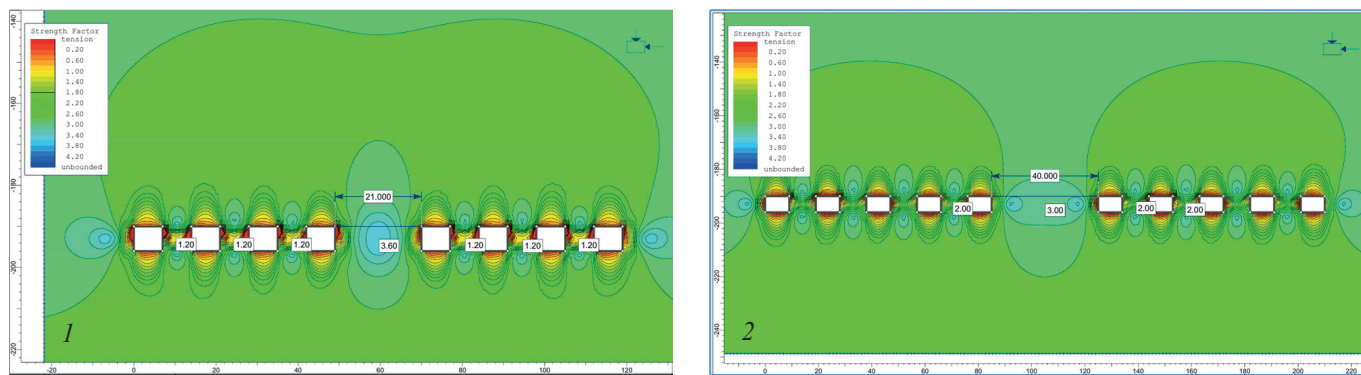
1 – при оформлении одного ряда МКЦ; 2 – при оформлении двух рядов МКЦ;
3 – при оформлении трех рядов МКЦ; 4 – при оформлении четырех рядов МКЦ

Рис. 2. Изменение коэффициента запаса прочности МКЦ под защитой БЦ.
Сурет 2. БЦ қорғауындағы МКЦ қауіпсіздік қорының коэффициентінің өзгеруі.
Figure 2. Changing the ICHP safety margin coefficient under BP protection.



1 – при оформлении одного ряда МКЦ; 2 – при оформлении двух рядов МКЦ;
3 – при оформлении трех рядов МКЦ

Рис. 3. Изменение коэффициента запаса прочности МКЦ под защитой МЦ.
Сурет 3. МЦ қорғауындағы МКЦ қауіпсіздік қорының коэффициентінің өзгеруі.
Figure 3. Changing the ICHP safety margin coefficient under MP protection.



1 – коэффициент запаса прочности БЦ составляет 3,0;

2 – коэффициент запаса прочности МЦ составляет 3,6

Рис. 4. Определение коэффициента запаса прочности БЦ (1) и МЦ (2).

Сурет 4. БК (1) және МЦ (2) қауіпсіздік қорының коэффициентін анықтау.

Figure 4. Determination of the safety margin coefficient of BP (1) and MP (2).

ровали устойчивое поведение даже в условиях повторной отработки и глубокой залегаемости.

Самостоятельно массивные и барьерные целики обладают высокими прочностными характеристиками: коэффициент запаса прочности составляет 3,0 и 3,6 соответственно (рис. 4). Это соответствует нормативам (не менее 3,0) и доказывает их эффективность в разгрузке массива и стабилизации окружающих целиков.

В дополнение к численному моделированию были выполнены аналитические расчеты на основе физико-механических характеристик серого рудного песчаника. Исследования показали, что его длительная прочность составляет 87% от мгновенной, что позволяет принять граничный коэффициент запаса прочности как 1,15. Это означает, что при действующих напряжениях ниже этой границы разрушения не происходит (рис. 5).

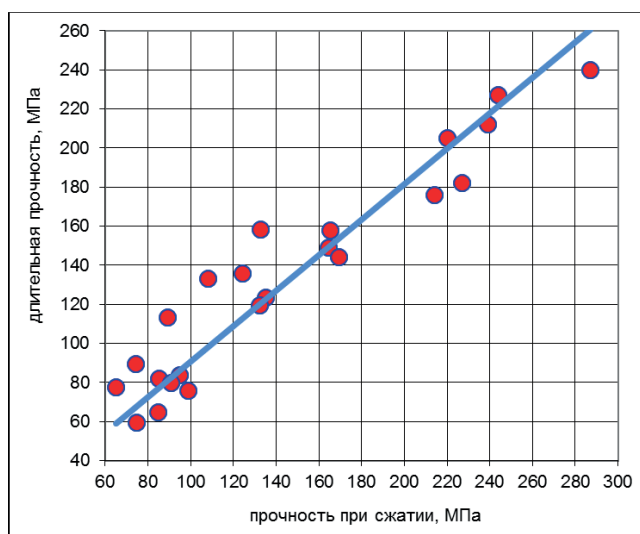


Рис. 5. Соотношение мгновенной и длительной прочности серых песчаников.

Сурет 5. Сұр құмтастардың лездік және ұзақ мерзімді беріктігінің арақатынасы.

Figure 5. The ratio of instant and long-term durability of gray sandstones.

Таким образом, рекомендуется проектное значение коэффициента запаса прочности междукамерных целиков не менее 1,5, а для барьерных и массивных – не менее 3,0, что обеспечивает их долговременную устойчивость.

Дополнительно установлено, что массивные целики эффективно перераспределяют нагрузку от налегающей толщи на смежные элементы системы, снижая вероятность разрушения МКЦ и повышая полноту извлечения запасов.

Полученные результаты позволяют утверждать, что внедрение новой технологии с МЦ и уменьшением ширины камер значительно повышает устойчивость выработанного пространства, снижает потери полезного ископаемого и улучшает технико-экономические показатели горных работ.

Заключение

В ходе исследования обоснованы конструктивные параметры новой технологии камерно-столбовой разработки с применением барьерных и массивных целиков в условиях рудника Жомарт. Основное внимание было уделено обеспечению устойчивости кровли, междукамерных целиков и эффективности перераспределения горного давления при различных конфигурациях системы.

На основании анализа статистических данных, геомеханических наблюдений и численного моделирования установлено следующее:

- Уменьшение ширины очистных камер с 9 до 7 м обеспечивает повышение устойчивости кровли в 1,7 раза, что позволяет существенно сократить количество вывалов и исключить их критические мощности;
- Массивные целики демонстрируют высокую эффективность разгрузки междукамерных целиков, обеспечивая сохранение их устойчивости даже при пограничных значениях коэффициента запаса прочности;
- Моделирование показало, что прочность барьерных и массивных целиков соответствует нормативным требованиям: коэффициенты запаса составляют 3,0 и 3,6 соответственно;
- Аналитические расчеты подтвердили, что серый рудный песчаник, слагающий междукамерные целики, обладает

ет длительной прочностью 87% от мгновенной. Это позволило установить граничный коэффициент запаса прочности как 1,15 и рекомендовать проектное значение $\geq 1,5$;

- Новая технология, базирующаяся на сочетании массивных целиков и камер шириной 7 м, демонстрирует высокую устойчивость системы и снижает потери руды при первичной и повторной отработке.

- Следует отметить, что ширина барьерных и массивных целиков устанавливается дифференцированно в зависимости от глубины разработки и геомеханических условий массива. Увеличение ширины целиков положительно влияет на устойчивость, однако одновременно снижает коэффициент извлечения руды. По результатам НИР, при традиционных параметрах шириной БЦ около 40 м потери составляли 42–52%, тогда как при уменьшении ширины до 21 м (с оформлением нулевой камеры) они снизились, сохранив при этом требуемый уровень безопасности. Таким образом, дифференцированный подход позволяет варьировать параметры целиков по глубине: на

малых глубинах уменьшать ширину, на больших – сохранять. Это обеспечивает баланс между устойчивостью и полнотой извлечения.

На основании полученных результатов авторы рекомендуют внедрение проектных параметров, подтвержденных численными и натурными методами, в качестве базовых для дальнейшего освоения запасов рудника Жомарт и аналогичных месторождений с пологими залежами и сложной геомеханикой.

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. Геомеханическое обоснование параметров системы разработки на месторождении Жаман-Айбат / Балпанова М.Ж. [и др.] // Труды КарТУ имени Абылқаса Сағинова. 2022. № 4. С. 149–156 (на казахском языке)
2. Метод оценки объема распространения физических процессов в естественном напряженном состоянии массива / Балпанова М.Ж. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2023. № 11. С. 33–38 (на казахском языке)
3. Исследование деформационных процессов в горном массиве, окружающем очистной забой, при разработке наклонных рудных месторождений / Salkynov A. [и др.] // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2023. Т. 17. Вып. 2. С. 82–90 (на английском языке)
4. Анализ устойчивости пролетного строения кровли в условиях камерно-столбовой системы разработки рудных месторождений / Zhiyenbayev A. [и др.] // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2023. Т. 17 (1). С. 129–137 (на английском языке)
5. Guo Y., Miao Y. Исследование устойчивости очистных забоев при непрерывной разработке маломощных рудных тел методом «Камера-целик» // Устойчивость. 2022. Т. 14 (15). С. 9601 (на английском языке)
6. Теория ключевых опор при цепном разрушении остаточных угольных пластов и перспективы ее применения / Feng G.R. [и др.] // Журнал Китайского угольного общества. 2021. Т. 46 (1). С. 164–179 (на английском языке)
7. Hao Jian, Chen Anfa, Li Xuelong, Bian Hua, Shi Yongkui, Wang Xin, Zhao Jiali, Liu Haojie. (11 ноября 2022 г.). Тематическое исследование методов извлечения целиков, основанных на ленточной закладке и вторичном способе добычи полезных ископаемых. Рубежи в науке о Земле. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.1051245> (на английском языке)
8. Обоснование параметров междукамерного целика при разработке наклонных залежей / Ivadilipova D.T. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2024. № 11. С. 27–33 (на английском языке)
9. Макаров А.Б., Мосякин Д.В., Карников А.А. Оценка природного напряженного состояния массива на руднике Жаман-Айбат // Горный журнал. 2005. № 9–10. С. 49–52 (на русском языке)
10. Жараспаев М.А. Результаты опытно-промышленных работ по повторной разработке на месторождении Жаман-Айбат (Республика Казахстан) // Интерактивная наука. 2017. № 11. С. 127–132 (на русском языке)
11. Обоснование допустимых пролетов кровли при камерно-столбовой системе разработки на месторождении Жаман-Айбат (Республика Казахстан) / Абеуов Е.А. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2019. № 5. С. 37–41 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Жаманай-Айбат кен орнындағы игеру жүйесі параметрлерінің геомеханикалық негіздемесі / Балпанова М.Ж. [және т. б.] // Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ еңбектері. 2022. № 4. Б. 149–156 (қазақ тілінде)
2. Массивтің табиғи кернеулі күйіндегі физикалық процестердің таралу көлемін бағалау әдісі / Балпанова М.Ж. [және т. б.] // Қазақстан тау-кен журналы. 2023. № 11. Б. 33–38 (қазақ тілінде)

3. Көлбеу кен кен орындарын игеру кезінде тазарту кенжарын қоршап тұрған тау-кен массивіндегі деформациялық процестерді зерттеу / Salkynov A. [және т. б.] // Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру. 2023. Т. 17. Шығ. 2. Б. 82–90 (ағылшын тілінде)
4. Кен орындарын өндірудің камера-кентірек жүйесі тұрғысынан шатырдың аралықтарының тұрақтылығын талдау / Zhienbayev A. [және т. б.] // Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру. 2023. Т. 17 (1). Б. 129–137 (ағылшын тілінде)
5. Guo Y., Miao Y. «Камера-целик» әдісімен қуаты аз кен денелерін үздіксіз игеру кезіндегі тазарту кенжарларының тұрақтылығын зерттеу // Тұрақтылық. 2022. Т. 14 (15). Б. 9601 (ағылшын тілінде)
6. Көмірдің қалдық тіректерінің тізбегінің істен шығуындағы негізгі тірек теориясы және оны қолдану перспективасы / Feng G.R. [және т. б.] // Қытай көмір Қоғамының журналы. 2021. Т. 46 (1). Б. 164–179 (ағылшын тілінде)
7. Hao Jian, Chen Anfa, Li Xuelong, Bian Hua, Shi Yongkui, Wang Xin, Zhao Jiali, Liu Haojie. (2022 жылғы 11 қараша). Жолақты толтыру және екінші тау-кен әдісіне негізделген тіректерді алу әдістерін кейс-кезеңдер. Жер Туралы ғылымдағы шекаралар (ағылшын тілінде). <https://doi.org/10.3389/feart.2022.1051245>
8. Көлбеу кен орындарын игеру кезінде камерааралық тұтастық параметрлерін негіздеу / Ivadilinova D.T. [және т. б.] // Қазақстан тау-кен журналы. 2024. № 11. Б. 27–33 (ағылшын тілінде)
9. Макаров А.Б., Мосякин Д.В., Карпиков А.А. Жаманай-Айбат кенішіндегі массивтің табиғи кернеу жағдайын бағалау // Тау-кен журналы. 2005. № 9–10. Б. 49–52 (орыс тілінде)
10. Жараспаев М.А. Жаманай-Айбат кен орнында қайта игеру бойынша тәжірибелік-өнеркәсіптік жұмыстардың нәтижелері (Қазақстан Республикасы) // Интерактивті ғылым. 2017. № 11. Б. 127–132 (орыс тілінде)
11. Жаман-Айбат кен орнында (Қазақстан Республикасы) камералық-бағаналы игеру жүйесі кезінде төбенің рұқсат етілген аралықтарын негіздеу / Абеуов Е.А. [және т. б.] // Қазақстан тау-кен журналы. 2019. № 5. Б. 37–41 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Balpanova M.Zh., Zharaspaev M.A., Zhienbaev A., Tazhibayev D.K. Geomechanical substantiation of the parameters of the development system at the Zhaman-Aybat deposit // Proceedings of the University named after Abylkas Saginov. 2022. No. 4. 149–156 pp. (in Kazakh)
2. A method for estimating the extent of the spread of physical processes in the natural stressed state of the massif / Balpanova M.Zh. [et al.] // Mining Journal of Kazakhstan. 2023. No. 11. 33–38 pp. (in Kazakh)
3. Research into deformation processes in the rock mass surrounding the stoping face when mining sloping ore deposits / Salkynov A. [et al.] // Mining of Mineral Deposits. 2023. V. 17. Issue 2. 82–90 pp. (in English)
4. Analysis of the roof span stability in terms of room-and-pillar system of ore deposit mining / Zhienbayev A. [et al.] // Mining of Mineral Deposits. 2023. V. 17 (1). 129–137 pp. (in English)
5. Guo Y., Miao Y. Study on Stope Stability in Continuous Mining of Long-Dip, Thin Orebody by Room–Pillar Method // Sustainability. 2022. No. 14 (15). 9601 p. (in English)
6. Key pillar theory in the chain failure of residual coal pillars and its application prospect / Feng G.R. [et al.] // Journal of China Coal Society. 2021. V. 46 (1). 164–179 pp. (in English)
7. Hao Jian, Chen Anfa, Li Xuelong, Bian Hua, Shi Yongkui, Wang Xin, Zhao Jiali, Liu Haojie. (November 11, 2022). A case study of pillar extraction techniques based on strip-filling and second-mining method. *Frontiers in Earth Science*. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.1051245> (in English)
8. Substantiating inter-chamber pillar parameters when developing inclined bedding Ivadilinova D.T. [et al.] // Mining Journal of Kazakhstan. 2024. No. 11. 27–33 pp. (in English)
9. Makarov A.B., Mosyakin D.V., Karpikov A.A. Otsenka prirodnoy napryazhennogo sostoyaniya massiva na rudnike Zhaman-Aibat [Assessment of the natural stress state of the massif at the Zhaman-Aybat mine], *Gornyi zhurnal* [Mining Magazine]. 2005. No. 9–10. 49–52 pp. (in Russian)
10. Zharaspaev M.A. Rezul'taty opytno-promyshlennykh rabot po povtornoй razrabotke na mestorozhdenii Zhaman-Aibat (Respublika Kazakhstan) [Results of pilot industrial works on re-development at the Zhaman-Aybat deposit (Republic of Kazakhstan)], *Interaktivnaya nauka* [Interactive science]. 2017. No. 11. 127–132 pp. (in Russian)
11. Obosnovanie dopustimyykh proletoy krovli pri kamerno-stolbovoi sisteme razrabotki na mestorozhdenii Zhaman-Aibat (Respublika Kazakhstan) [Justification of permissible roof spans in the case of a chamber-pillar development system at the Zhaman-Aybat deposit (Republic of Kazakhstan)], Aбеuov E.A. [et al.], *Gornyi zhurnal Kazakhstana* [Mining Journal of Kazakhstan]. 2019. No. 5. 37–41 pp. (in Russian)

Сведения об авторах:

Таханов Д.К., канд. техн. наук, инженер кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), takhanov80@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2360-9156>

Жиенбаев А.Б., доктор Ph.D, зам. начальника геомеханического отдела ТОО «Корпорация Казахмыс» (г. Жезказган, Казахстан), ismgroup2022@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4347-8608>

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>

Нурекин Д.К., магистрант кафедры «Горное дело, металлургия и естествознание» АО «Жезказганского университета им. О.А. Байконурова» (г. Жезказган, Казахстан), didar2nurekin@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-6514-3299>

Авторлар туралы мәліметтер:

Таханов Д.К., техн. ғылым. канд., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының инженері (Қарағанды қ., Қазақстан)

Жиенбаев А.Б., Ph.D докторы, «Қазақмыс корпорациясы» ЖШС геомеханикалық бөлімі бастығының орынбасары (Жезказған қ., Қазақстан) 8

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

Нурекин Д.К., «Тау-кен, металлургия және жаратылыстану» кафедрасының магистранты «О.А. Байқоңыров атындағы Жезказған университеті» АҚ (Жезказған қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Takhanov D.K., Candidate of Technical Sciences, Engineer of the Department of «Geology and Exploration of Mineral Deposits» NAO «Ab-yilkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Zhienbayev A.B., Ph.D, Deputy Head of the Geomechanical Department of Kazakhmys Corporation LLP (Zhezkazgan, Kazakhstan)

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

Nurekin D.K., Master's student of the Department of Mining, Metallurgy and Natural Science» JSC «Zhezkazgan University named after O.A. Baikonurov» (Zhezkazgan, Kazakhstan)



**14-16 АПРЕЛЯ
2026 ГОДА**

ГОРОД КАЗАНЬ

**25-АЯ ЮБИЛЕЙНАЯ
ЕЖЕГОДНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ МАС ГНБ**

главное событие 2026 года в области
бестраншейного строительства
подземных коммуникаций
на постсоветском пространстве

Код МРНТИ 52.31.01:52.13.07

Б.Р. Ракишев, *А.А. Орынбай, А.Е. Алибаев, Т.С. Ибырханов

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан)

АНАЛИТИКА ДЛЯ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ДРОБЛЕНИЯ ПОРОД В ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Аннотация. В статье описан аналитический метод определения гранулометрического состава взорванной горной массы при шпуровой отбойке пород в горизонтальной подземной выработке. Он базируется на учете размеров зон интенсивного дробления пород вокруг шпурового заряда и содержания естественных отдельностей в массиве пород. Радиусы зон интенсивного дробления рассчитываются по заданным физико-механическим свойствам взрывааемых пород и физико-химическим характеристикам применяемых взрывчатых веществ (ВВ). Разработана компьютерная программа автоматизированного определения грансостава взорванной горной массы, взаимоувязывающего влияние физико-технических свойств взрывааемых пород, физико-химических характеристик применяемого ВВ и параметров расположения зарядов в массиве пород. С помощью этой программы проведены расчеты прогнозируемого гранулометрического состава пород при различных параметрах буровзрывных работ на месторождении Акжал (ТОО «Nova цинк»).

Ключевые слова: месторождение Акжал, горная порода, развал, гранулометрический состав, буровзрывные работы, радиусы зон дробления, содержание естественных отдельностей, объемы интенсивного дробления.

Жерасты қазбаларындағы тау жыныстарын ұсақтау сапасын сандық басқаруға арналған аналитика

Аңдатпа. Бұл мақалада көлденең жерасты қазбаларында жарылыс ұңғымаларын жару кезінде жарылған тау жыныстарының массасының бөлшектердің өлшемдік таралуын анықтаудың аналитикалық әдісі сипатталған. Ол жарылыс ұңғысының зарядының айналасындағы қарқынды ұсақтау аймақтарының өлшемдеріне және тау массасындағы табиғи қосылыстардың мазмұнына негізделген. Интенсивті ұсақтау аймақтарының радиустары жарылған тау жынысының көрсетілген физикалық-механикалық қасиеттеріне және қолданылатын жарылғыш заттардың физикалық-химиялық сипаттамаларына негізделеді. Жарылған тау жыныстарының физикалық-техникалық қасиеттерінің, қолданылатын жарылғыш заттардың физикалық-химиялық сипаттамаларының және тау-кен массасындағы шпурлардың орналасу параметрлерінің әсерін өзара байланыстыра отырып, жарылған тау-кен массасының бөлшектердің өлшемдік таралуын автоматтандырылған түрде анықтауға арналған компьютерлік бағдарлама әзірленді. Бұл бағдарлама Акжал кен орнында («Nova Цинк» ЖШС) әртүрлі бұрғылау және жару параметрлері бойынша тау жыныстарының болжамды бөлшектердің мөлшерін есептеу үшін пайдаланылды.

Түйінді сөздер: Акжал кен орны, тау жынысы, опырылым, гранулометриялық құрам, бұрғылау-жару жұмыстары, ұсақтау аймақтарының радиустары, табиғи бөлінулердің мөлшері, қарқынды ұсақтау көлемдері.

Analytics for digital quality control of rock crushing in underground minings

Abstract. This article describes an analytical method for determining the grain size distribution of blasted rock mass during blasthole blasting in horizontal underground workings. It is based on taking into account the size of the zones of intense rock fragmentation around the blasthole charge and the content of natural joints in the rock mass. The radii of the zones of intense fragmentation are calculated based on the specified physical and mechanical properties of the blasted rock and the physical and chemical characteristics of the explosives used. A computer program for automated determination of the particle size distribution of blasted rock mass was developed, interrelating the influence of the physical and technical properties of the blasted rock, the physical and chemical characteristics of the explosive used, and the parameters of the charge placement within the rock mass. Using this program, calculations were made of the predicted particle size distribution of rocks under various drilling and blasting parameters at the Akzhal deposit (Nova Zinc LLC).

Key words: Akzhal deposit, rock, rock pile, particle size distribution, drilling and blasting, fragmentation zone radii, natural joint content, intensive fragmentation volumes.

Введение

Гранулометрический состав (ГС) взорванной горной массы (ВГМ) – ключевой индикатор качества буровзрывных работ (БВР) и управляемости взрыва. Именно он определяет эффективность выемочно-погрузочных работ, дробления и обогащения полезного ископаемого. Современный обзор по оценке качества дробления подчеркивает: несоответствие фактической фрагментации целевым параметрам ведет к росту удельных затрат и технологическим потерям, поэтому системная диагностика ГС ВГМ должна быть встроена в цикл подготовки и анализа БВР.

Для обеспечения более надежного прогноза требуется учитывать реальные физико-механические свойства пород, физико-химические характеристики взрывчатых веществ (ВВ), а также конкретные параметры и условия проведения БВР. Такой учет позволяет минимизировать ошибки и неопределенности, возникающие при использовании алгоритмов проектирования, построенных только на математических или нейросетевых методах.

Отличительной особенностью предлагаемого в настоящем исследовании подхода является применение аналитических методов для расчета параметров расположения зарядов и определения зон дробления при прогнозировании ГС для свинцово-цинкового месторождения Акжал. Эти методы положены в основу теоретического обоснования закономерностей формирования ГС.

Объектом исследования выступает месторождение Акжал, массив горных пород в условиях горизонтальной горной выработки, представленный совокупностью естественных отдельностей различной формы и размеров, соединенных между собой цементацией или плотным контактом.

Современное состояние прогнозирования и определения гранулометрического состава взорванной горной массы

Для описания ГС применяют кривые Розина-Раммлера, Kuz-Ram и логнормальную модель (удобную для оперативной параметризации по d_{50} , σ) [1–4]. Новые теоретические и полуэмпирические подходы взаимоувязывают физико-механические свойства, структуру массива, характеристики ВВ и геометрию сетки с радиусами зон разрушения и ожидаемым распределением фракций [5–7].

Современный обзор по взрываемости массива пород подчеркивает, что без экспресс-оценки геолого-геотехнических характеристик добиться предсказуемого ГС сложно [8]. Согласно работам авторов, усовершенствованный метод рассчитывает радиусы зон интенсивного дробления вокруг скважинных зарядов по физико-механическим свойствам пород и характеристикам ВВ, учитывает естественную отдельность массива и влияние волн, отраженных от свободных поверхностей, через коэффициент

дополнительного дробления; на этой основе впервые предложена аналитика распределения по классам крупности. Пример параметрической «сборки» распределения по классам представлен в номенклатуре входов (линия сопротивления, шаги сетки, длины зарядов/перебура), что удобно для включения в инженерный расчет [9].

Физико-механические характеристики пород Акжалского месторождения

Свинцово-цинковое месторождение Акжал относится к стратиформному промышленному типу, отвечающему совмещенным гидротермально-осадочной и гидротермально-метасоматической стадиям формирования.

При этом, по комплексу признаков обе стадии отчетливо просматриваются в пределах Восточного участка месторождения. В пределах же рассматриваемого Центрального участка о наличии ранней гидротермально-осадочной стадии можно судить лишь по косвенным признакам (литологический и структурно-литологический контроль оруденения); в гидротермальную стадию здесь оруденение практически полностью перераспределено, в том числе, распространяясь в ближайшей эндоконтактной зоне малых интрузивных тел.

Промышленное оруденение, в основном, локализовано в пачке массивных известняков, узкой лентой протягивающейся в субширотном направлении на 5–5,5 км. Ширина рудовмещающей «ленты» (полосы) изменяется от 50–100 до 300–350 м.

Анализ данных по трещиноватости (блочности) массивов горных пород Акжалского месторождения показывает, что массив характеризуется определенной совокупностью естественных отдельностей, содержащихся в нем и склеенных между собой природным цементом. Различное сочетание этих элементов и представляет их

гранулометрический состав в массиве и устанавливается непосредственными замерами на обнажениях горных выработок. При этом естественные отдельности по крупности подразделяются на семь фракций: менее 0,2 м, в пределах от 0,21 до 0,4, от 0,41 до 0,6, от 0,61 до 0,80, от 0,81 до 1,0, от 1,01 до 1,2 и более 1,21 м. При шпуровой отбойке эти семь классов распределены в следующем порядке: менее 0,15 м, в пределах от 0,16 до 0,3, от 0,31 до 0,45, от 0,46 до 0,60, от 0,61 до 0,75, от 0,76 до 0,9 и более 0,9 м. Процентное содержание перечисленных классов естественных отдельностей в массиве пород показано в таблице 1. По найденному грансоставу естественных отдельностей в конкретных массивах вычисляется их средний размер. По этому параметру осуществляется классификация массивов пород по блочности или трещиноватости [10].

На Акжалском месторождении мелкоблочные массивы представлены интенсивно дробленным бугристым известняком. Среднеблочные массивы представлены вторичными кварцитами, диорит-порфирами. Крупноблочные массивы представлены известняком мраморизованным. Весьма крупноблочные массивы представлены крупнозернистым и скарированным известняком.

К основным свойствам горных пород, характеризующим их поведение при динамических нагрузках, как известно, относятся: плотность, скорости распространения продольной и поперечной волн, модуль упругости, коэффициент Пуассона и пределы прочности на сжатие, растяжение и сдвиг. Эти константы пород устанавливаются стандартными методами на образцах правильной и полуправильной формы. Модуль упругости легко вычисляется по формулам теории упругости при подстановке в них конкретных значений плотности, скорости продольной волны и коэффициента Пуассона [10].

Таблица 1

Реальный (числитель) и виртуальный (знаменатель) гранулометрический состав естественных отдельностей в массивах пород

Кесте 1

Шын мәніндегі (жөзгаргы) және виртуалды (төменгі) табиғи бөлшектердің жыныс массивтеріндегі гранулометриялық құрамы

Table 1

Real (numerator) and Virtual (denominator) Granulometric Composition of Natural Particles in Rock Masses

Классы массивов по блочности	Массивы по блочности (средний диаметр отдельности, м)	Содержание в массиве (%) отдельностей размером (м)						
		< 0,15	0,16–0,30	0,31–0,45	0,46–0,60	0,61–0,75	0,76–0,90	> 0,91
I	Мелкоблочные ($d_c = 0,1\text{м}$)	63,97	17,43	4,75	1,30	0,35	0,10	0,03
		63,97	18,39	4,12	1,08	0,27	0,07	0,015
II	Среднеблочные ($d_c = 0,3\text{м}$)	36,03	23,39	15,18	9,85	6,39	4,15	2,69
		36,03	28,05	14,78	9,03	5,41	3,04	1,35
III	Крупноблочные ($d_c = 0,5\text{м}$)	16,09	15,64	15,19	14,76	14,34	13,94	13,54
		16,09	23,36	17,85	15,52	13,27	10,65	6,77
IV	Весьма крупноблочные ($d_c = 0,7\text{м}$)	6,71	8,50	10,78	13,66	17,31	21,94	27,81
		6,71	17,71	16,4	16,98	17,59	17,41	13,90

Упругие и прочностные свойства горных пород месторождения Акжал определены с использованием известных методик. Физико-механические свойства пород:

порода «Скарнированный известняк», плотность породы $\rho = 2840 \text{ кг/м}^3$, скорость звука в породе $c = 4250 \text{ м/с}$, $\sigma_{\text{сжс}} = 210 \text{ МПа}$, $\sigma_p = 19 \text{ МПа}$, $\nu = 0,30$;

порода «Крупнозернистый известняк», плотность породы $\rho = 2820 \text{ кг/м}^3$, скорость звука в породе $c = 4350 \text{ м/с}$, $\sigma_{\text{сжс}} = 175,6 \text{ МПа}$, $\sigma_p = 16,2 \text{ МПа}$, $\nu = 0,30$;

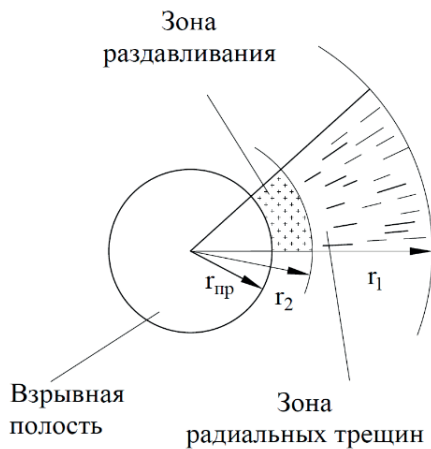
порода «Мраморизованный известняк», плотность породы $\rho = 2820 \text{ кг/м}^3$, скорость звука в породе $c = 3820 \text{ м/с}$, $\sigma_{\text{сжс}} = 158,9 \text{ МПа}$, $\sigma_p = 12,3 \text{ МПа}$, $\nu = 0,30$;

порода «Диорит порфирит», плотность породы $\rho = 2720 \text{ кг/м}^3$, скорость звука в породе $c = 5700 \text{ м/с}$, $\sigma_{\text{сжс}} = 107,9 \text{ МПа}$, $\sigma_p = 10,3 \text{ МПа}$, $\nu = 0,28$.

Ключевые результаты взрыва зарядов ВВ в отбиваемом слое пород

Разрушение горных пород действием взрыва заряда ВВ зависит от конкретного сочетания многочисленных влияющих факторов. В общем случае оно протекает в соответствии с гипотезой Г.И. Покровского, получившей дальнейшее развитие в работах Б.Р. Ракишева [5, 7, 9, 10].

К ключевым результатам разрушения горных пород взрывом заряда ВВ относятся предельный радиус взрывной полости, прочность пород в условиях всестороннего взрывного нагружения, радиус зоны мелкого дробления, радиус зоны радиальных трещин и принцип рационального размещения зарядов в отбиваемом слое пород (рис.1) [9, 10].



$r_{\text{пр}}$ – предельный радиус взрывной полости,
 r_2 – радиус зоны мелкого дробления, r_1 – радиус зоны трещинообразования

Рис. 1. Структура зон разрушения вокруг взрывной полости.

Сурет 1. Жарылыс қуыс айналасындағы қирау аймақтарының құрылымы.

Figure 1. The structure of the destruction zones around the explosive cavity.

Принцип рационального размещения зарядов ВВ во взрываеом массиве, предусматривающий наибольший охват отбиваемого слоя пород трещинами, образованными

действием взрыва при уступной отбойке, выражен равенствами [5, 9, 10]:

$$(1 + k)^{1/2} \frac{\pi r_1}{2W} \approx 1, \frac{2r_1}{a} \approx 1, (1 + k)^{1/2} \frac{h_3 + r_2}{h} \approx 1, \quad (1)$$

где r_2 – радиус зоны мелкого дробления, м;

r_1 – радиус зоны радиальных трещин, м;

k – коэффициент, учитывающий доли разрушения массива пород как от действия отраженных волн, так и вспучивающего действия взрыва и $k = 1$;

W – линия сопротивления по подошве уступа (ЛСПП), м;

a – расстояние между скважинами в ряду, м;

h_3 – высота цилиндрического заряда в скважине без перебура, м;

h – высота взрываеомого блока, м.

Поскольку первые две стадии взрыва при уступной и безуступной отбойке протекают одинаково [9, 10], выражения (1) справедливы и для цилиндрических зарядов, расположенных в подземных горизонтальных выработках различного назначения.

Аналитическое определение рациональных параметров расположения зарядов в горизонтальной подземной выработке

Основными параметрами размещения зарядов ВВ в горизонтальной подземной выработке являются: толщина (длина) отбиваемого слоя h , его ширина A , высота B ; диаметр шпура (скважины) $d_{\text{ш}}$, d_c , длина шпура $l_{\text{ш}}$, расстояния между врубовыми шпурами a_0 , $a_{\text{ок}}$, a_{e2} , a_{e3} , расстояния между центральным врубовым шпуrom и последующими шпурами во врубе r_{e1} , r_{e2} , r_{e3} , расстояние между отбойными шпурами $a_{\text{от}}$, расстояние между оконтуривающими шпурами и проектным контуром выработки b , расстояние между оконтуривающими шпурами $a_{\text{ок}}$, длина заряда l_i в шпуре, длина заряда без перебура h_3 , длина незаряженной части шпура (недозаряда) l_2 , длина перебура l_n , вместимость 1 пог. м шпура $p_{\text{ш}}$, масса заряда m в шпуре, схема, время замедления между разновременно взрываеомыми группами зарядов ВВ τ . Конечный результат взрыва: удельный расход ВВ q_p , выход горной массы с 1 пог. м. шпура g , коэффициент использования шпура (КИШ); объем бурения V_b , площадь забоя на один шпур S_z , гранулометрический состав взорванной горной массы $[p'(x_j), p'(x_2), \dots, p'(x_n)]$ и развал взорванной горной массы.

Линия наименьшего сопротивления (ЛНС) – кратчайшее расстояние от оси заряда, помещенного в шпуре до ближайшей свободной W' , определяется из первого соотношения выражений (1) с учетом того, что $k = 1$, $W' = W' \cdot \sin \alpha$. Поскольку угол откоса уступа в среднем $\alpha = 63^\circ$, то $W' = 0,9 \cdot W$.

Таким образом, ЛНС при шпуровой отбойке равняется:

$$W' \approx 2 \cdot r_1. \quad (2)$$

С учетом найденного ЛНС и принципа рационального размещения зарядов параметры БВР рассчитываются в соответствии с описанной методикой авторов в работе [5, 9, 10].

Алгоритм определения количества врубовых, отбойных и оконтуривающих шпуров сводится к следующим действиям [6].

Первыми определяются шпуры, расположенные горизонтально вдоль основания выработки с учетом принятого расстояния между шпурами a . Их количество можно вычислить по следующей формуле:

$$n_a = (A - 2 \cdot r_2) / a. \quad (3)$$

Далее определяются шпуры, расположенные вертикально вдоль боковых стенок выработки. Их количество рассчитывается из следующего выражения:

$$n_b = ((B^2 - A^2 / 4) - 2 \cdot r_2) / a. \quad (4)$$

Отсюда общее количество оконтуривающих шпуров будет равно:

$$N_{ок} = n_a \cdot 2 + (n_b - 2) \cdot 2. \quad (5)$$

В случае, если количество шпуров в основании выработки не превышает 5 шт., т. е. $n_a < 5$, то количество врубовых шпуров принимается равным 7, т. е. $N_{вр} = 7$. Это происходит вследствие того, что в выработку такого размера можно вместить лишь двухрядный вруб.

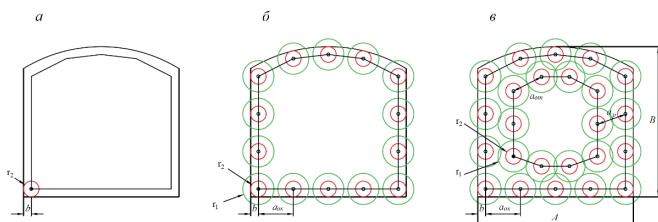


Рис. 2. Схемы расположения оконтуривающих и отбойных шпуров.

Сурет 2. Контур және жарылыс шпурларының схемасы.

Figure 2. Layout of contour and blast boreholes.

Количество отбойных шпуров соответственно вычисляется из принципа заполнения пустого пространства по выражению:

$$N_{от} = (n_a - 2) \cdot 2 + (n_b - 3) \cdot 2. \quad (6)$$

Если же количество шпуров в горизонтальной плоскости более или равно 5, т. е. $n_a \geq 5$, то количество врубовых шпуров принимается равным 10, т. е. $N_{вр} = 10$. В данном случае в выработку такого размера возможно поместить трехрядный вруб. Тогда количество отбойных шпуров вычисляется по следующей формуле:

$$N_{от} = (n_a - 1) \cdot 2 + (n_b - 3) \cdot 2. \quad (7)$$

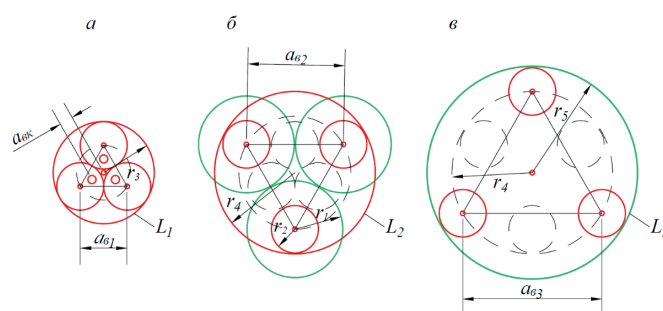
Масса заряда в шпуре:

$$Q = p_{ш} l, \quad (8)$$

где $p_{ш}$ – вместимость 1 пог. м шпура.

Для обеспечения требуемого качества взрыва в горной выработке возникает необходимость в создании некоторой

искусственной свободной поверхности внутри взрываемого слоя пород. Это достигается инициализацией врубовых зарядов в определенном порядке в начале взрывной отбойки. Шпуры, расположенные на окружности радиусами r_3 , r_4 , r_5 (рис. 3), называются врубовыми. Число шпуров на каждой окружности составляет три. Образованный взрывом этих зарядов цилиндрический объем пород мелкого дробления в горизонтальной выработке представляет собой цилиндрический вруб.



r_2 – радиус зоны мелкого дробления вокруг шпурового заряда, r_3 – радиус зоны трещинообразования вокруг шпурового заряда, r_4 – радиус зоны мелкого дробления первой группы (б), r_5 – то же второй группы врубовых шпуровых зарядов, L_1, L_2, L_3 – след виртуальной свободной поверхности цилиндрического вруба с радиусом соответственно r_3, r_4, r_5

Рис. 3. Основные размеры элементов цилиндрического вруба: а – первой, б – второй, в – третьей группы врубовых шпуров.

Сурет 3. Цилиндрлік кесу элементтерінің негізгі өлшемдері: а – бірінші, б – екінші, в – үшінші кесу саңылауларының тобы.

Figure 3. The main dimensions of the elements of a cylindrical cut: a – first, b – second, c – third group of cutting holes.

Аналитическое определение гранулометрического состава взорванной горной массы при шпуровой отбойке

Производительность горнотранспортного оборудования при проходке туннелей предопределяется качеством взорванных горных пород. Оно характеризуется кусковатостью пород и распределением кусков по размерам в развале, т. е. гранулометрическим составом взорванных пород.

Гранулометрический состав взорванных пород сильно зависит от физико-механических свойств пород в массиве, трещиноватости (блочности) массива пород, физико-химических характеристик применяемого ВВ, параметров расположения зарядов во взрываемом слое массива пород.

Далее рассмотрим методику расчета гранулометрического состава взорванных пород, учитывающего влияние радиусов трещинообразования и мелкого дробления.

Для врубовых зарядов, т. е. врубовой полости радиус зоны интенсивного дробления будет равен радиусу цилиндрического вруба, т. е. (см. рис. 3 б):

$$r_4 = r_3 + r_2, \quad (9)$$

где r_2 – радиус зоны мелкого дробления вокруг шпурового заряда;

r_3 – радиус зоны мелкого дробления во врубе, м.

Для двухрядного вруба:

$$r_3 = \frac{4}{\sqrt{3}} r_2 \approx 2,3r_2. \quad (10)$$

Объем интенсивно раздробленной породы во врубовой полости:

$$V''_в(x_1) = \pi r_4^2 (h_3 + h_c), \quad (11)$$

где $V''_в(x_1)$ – объем пород первого (x_1) класса крупности в зоне интенсивного дробления врубовой полости;

h_3 – высота заряда;

h_c – высота интенсивно раздробленного слоя пород под колонкой заряда, равная радиусу зоны мелкого дробления.

Объем интенсивно раздробленной породы вокруг отбойных шпуров:

$$V''_{от}(x_1) = \pi r_1^2 (h_3 + h_c) N_{от}, \quad (12)$$

где $N_{от}$ – количество отбойных шпуров, шт.

Объем интенсивно раздробленной породы вокруг оконтуривающих шпуров:

$$V''_{ок}(x_1) = \pi r_1^2 (h_3 + h_c) N_{ок} - \frac{r_1^2}{2} (\beta - \sin\beta) (h_3 + h_c) (N_{ок} - N_y) - r_1^2 (\beta - \sin\beta) (h_3 + h_c) N_y, \quad (13)$$

где $N_{ок}$ – количество оконтуривающих шпуров, шт.;

N_y – количество оконтуривающих шпуров в углах сечения выработки;

$N_y = 4$ шт.;

β – угол сегмента зоны радиальных трещин оконтуривающей скважины, выходящей за контур сечения выработки;

$\beta = 2\arccos(r_2 \cdot r_1)$, рад.

Весь объем интенсивно раздробленной породы (первого класса) в горизонтальной горной выработке при рациональном расположении шпуровых зарядов составит:

$$V''(x_1) = V''_в(x_1) + V''_{от}(x_1) + V''_{ок}(x_1). \quad (14)$$

При вычислении объема пород рассматриваемого класса крупности во всем взрываемом слое к нему необходимо присоединить соответствующие естественные отдельности, содержащиеся в остальной части взрываемого слоя. Таким образом, объем первого класса крупности во всей взорванной породе определяется по формуле:

$$V'(x_1) = V''(x_1) + p(x_1)[V - V''(x_1)], \quad (15)$$

где V – объем породы взрываемого слоя массива;

$V'(x_i)$ – весь объем породы 1-го класса после взрыва;

$p(x_i)$ – содержание отдельностей 1-го класса в массиве, в долях единиц.

Последующие классы пород по крупности (более 0,15 м) образуются вследствие расчленения пород взрывающегося блока на естественные отдельности во второй стадии взрыва и их дробления за счет соударения кусков пород при перемещении во второй и третьей стадиях взрыва [5, 7, 9, 10]. В целом перераспределение кусков пород массива во второй и третьей стадиях взрыва можно представить в виде [9, 10]:

$$\begin{aligned} q(x_1) &= p(x_1), \quad q(x_7) = \frac{1}{2} p(x_7), \\ q(x_2) &= p(x_2) + \frac{1}{6} p(x_3) + \frac{1}{10} p(x_4) + \\ &+ \frac{1}{12} p(x_5) + \frac{1}{12} p(x_6) + \frac{1}{10} p(x_7), \\ q(x_3) &= \frac{5}{6} p(x_3) + \frac{1}{10} p(x_4) + \frac{1}{12} p(x_5) + \\ &+ \frac{1}{12} p(x_6) + \frac{1}{10} p(x_7), \\ q(x_4) &= \frac{4}{5} p(x_4) + \frac{1}{12} p(x_5) + \\ &+ \frac{1}{12} p(x_6) + \frac{1}{10} p(x_7), \\ q(x_5) &= \frac{3}{4} p(x_5) + \frac{1}{12} p(x_6) + \frac{1}{10} p(x_7), \\ q(x_6) &= \frac{2}{3} p(x_6) + \frac{1}{10} p(x_7), \end{aligned} \quad (16)$$

здесь $p(x_1), p(x_2), \dots, p(x_7)$ – реальное содержание кусков 1, 2, ..., 7-го классов в массиве, в процентах;

$q(x_1), q(x_2), \dots, q(x_7)$ – перераспределенное содержание отдельностей 1, 2, ..., 7-го классов в массиве, в процентах.

Зависимости (16) можно назвать виртуальным содержанием естественных отдельностей в массиве пород. Численные значения содержания реальных и виртуальных отдельностей приведены в таблице 1.

Согласно принятой концепции, объемы раздробленных пород всех классов прямо пропорциональны произведению их виртуального содержания в массиве на разность объемов взрывающегося слоя и интенсивно раздробленной породы. Иначе говоря, для объемов искомым классов ($i \geq 2$) имеем:

$$V'(x_i) = q(x_i)[V - V''(x_i)], \quad (17)$$

где $V''(x_i)$ – объем интенсивно раздробленной породы i -го класса ($i \geq 2$);

$V'(x_i)$ – весь объем породы i -го класса после взрыва;

$q(x_i)$ – виртуальное содержание отдельностей i -го класса в массиве, в долях единиц.

Для того чтобы вычислить гранулометрический состав взорванной породы, достаточно разделить полученные объемы (15) и (17) на объем отбиваемого слоя [10]. Тогда содержание отдельных фракций в объеме взрывающегося слоя устанавливается соотношением:

Таблица 2

Расчетный гранулометрический состав взорванной горной массы, в подготовительной выработке, скарнированный известняк

Кесте 2

Жарылған тау-кен массасының есептелген гранулометриялық құрамы, дайындық кенжары, скарнирленген әктас

Table 2

The calculated particle size composition of the blasted rock mass, in the preparatory mine, rounded limestone

Классы массивов по блочности	Массивы по блочности	Содержание во взорванной массе (%) кусков размером (м)						
		< 0,15	0,16–0,30	0,31–0,45	0,46–0,60	0,61–0,75	0,76–0,90	> 0,91
I	Мелкоблочные	88,26	5,68	1,44	0,42	0,11	0,03	0,01
II	Среднеблочные	79,16	7,62	4,95	3,21	2,08	1,35	0,88
III	Крупноблочные	72,66	5,09	4,95	4,81	4,67	4,54	4,41
IV	Весьма крупноблочные	69,61	2,77	3,51	4,45	5,64	7,15	9,06

$$p'(x_j) = \frac{V'(x_j)}{V}, \quad (18)$$

где $p'(x_j)$ – содержание j -й фракции во взорванной горной массе, в процентах.

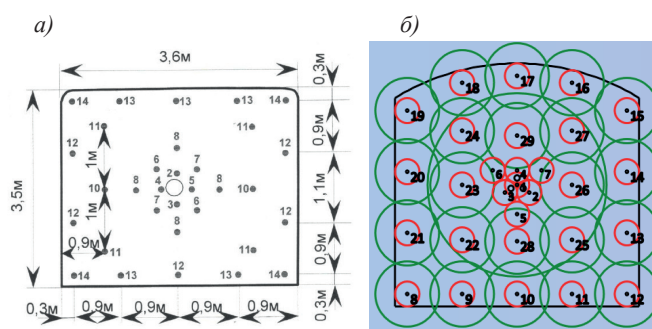
Система значений $p'(x_j)$, как известно, представляет собой гранулометрический состав взорванной горной массы. Таким образом, по выражению (18) при заданных физико-механических, структурных свойствах пород, детонационных, энергетических характеристиках ВВ, параметрах и способе взрывания гранулометрический состав взрывающейся руды и породы рассчитывается заблаговременно.

Разработанный теоретический подход к определению гранулометрического состава взорванных горных пород базируется на действительном механизме разрушения реального массива пород взрывом цилиндрического заряда и этим принципиально отличается от известных в литературе [1–10].

Как видно из выражений (17), гранулометрический состав взорванных горных пород сильно зависит от содержания естественных отдельностей в массиве пород. Поэтому установление классов блочности массивов пород или категорий взрываемости пород на рудниках является исключительно важной задачей.

На основе разработанных аналитических методов определения технологических характеристик взорванной горной массы была создана система автоматизированного проектирования рациональных параметров буровзрывных работ и прогнозирования их результатов «KAZBLAST UNDER» в среде Microsoft Visual Studio 2022. С применением данной программы был составлен паспорт БВР для рудников месторождения Акжал. Физико-механические свойства пород и характеристики ВВ: порода «Скарнированный известняк», плотность породы $\rho = 2840 \text{ кг/м}^3$, скорость звука в породе $c = 4250 \text{ м/с}$, $\sigma_{сж} = 210 \text{ МПа}$, $\sigma_p = 19 \text{ МПа}$, $\nu = 0,30$, $\rho_{вв} = 1000 \text{ кг/м}^3$, $D = 3500 \text{ м/с}$. Сечение выработки $12,02 \text{ м}^2$ с шириной $3,6 \text{ м}$ и высотой $3,5 \text{ м}$. Схемы размещения шпуров по утвержденному Паспорту БВР и по разработанной программе показаны на рис. 4.

Расчетные параметры и результаты БВР приведены в таблицах 2–3.



а) согласно утвержденному паспорту БВР;
б) по разработанной программе

Рис. 4. Схемы расположения шпуровых зарядов в горизонтальной подготовительной выработках.
Сурет 4. Көлденең дайындық кенжарының жарылыс шпур зарядтарының схемасы.
Figure 4. Layout of blasthole charges in horizontal development workings.

Результаты проведенных опытных взрывов и сравнение с расчетными параметрами доказывают пригодность предложенного метода рационального расположения шпуровых зарядов ВВ в горизонтальной подземной подготовительной выработке. Так возможно достичь снижения количества шпуров с 32 шт. до 29 шт. в проходке сечением $12,02 \text{ м}^2$. А также с новым подходом к расчету параметров БВР снижается использование ВВ на шпур, как итог снижается общее количество ВВ. Это позволяет снизить удельный расход до 40%. Увеличение количества компенсационных скважин с 2 до 3-х позволяет компенсировать уменьшение количества врубовых шпуров.

Полученные расчетные ГС взорванной горной массы для массивов пород различной блочности указывает на идентичность ГС при типовом и предлагаемом паспорте БВР. Данный факт позволяет утверждать на правомерность нового подхода к определению гранулометриче-

Таблица 3
Результаты опытных БВР по утвержденному Паспорту БВР и автоматизированного расчета параметров БВР
Кесте 3

Бекітілген БЖЖ паспорты және БЖЖ параметрлерін автоматтандырылған есептеу бойынша тәжірибелік БЖЖ нәтижелері

Table 3

The results of experimental D&B according to the approved D&B passport and automated calculation of D&B parameters

<i>Параметры БВР</i>	1	2
Прочностная характеристика породы, МПа	830,21	
Начальное давление ПВ, МПа	1531	
Относительный предельный радиус полости	1,17	
Радиус шпура, м	0,0225	
Предельный радиус полости, м	0,03	
Радиус зоны мелкого дробления, м	0,18	
Радиус зоны радиальных трещин, м	0,47	
Количество шпуров, шт	32	29
Количество скважин (76 мм), шт	2	3
Количество врубовых шпуров, шт	12	7
Расстояние между центральным врубовым шпуром и компенсационными скважинами, м	0,15	0,11
Расстояние от центрального врубового шпура до первой группы врубовых шпуров, м	0,3	0,21
Расстояние от центрального врубового шпура до второй группы врубовых шпуров, м	0,63	0,42
Расстояние от центрального врубового шпура до третьей группы врубовых шпуров, м	0,9	0,61
Длина перебура врубовых шпура, м	0,28	0,18
Глубина врубовых шпуров и к. с., м	2,8	2,7
Длина заряда во врубовых шпурах, м	1,93	1,77
Количество отбойных шпуров, м	6	8
Расстояние между отбойными шпурами, м	1,0	0,93
Длина перебура отбойных шпуров, м	0,28	0,18
Глубина отбойных шпуров, м	2,8	2,7
Длина заряда в отбойных шпурах, м	1,93	1,77
Количество оконтуривающих шпуров, м	14	14
Расстояние между оконтуривающими шпурами, м	0,9–1,1	0,93
Длина перебура оконтуривающих шпуров, м	0,28	0,18
Длина заряда в оконтуривающих шпурах, м	1,93	1,77
Угол наклона оконтуривающих шпуров, град	5	3,89
Объем бурения, м	89,6	84,05
Длина недозаряда шпуров, м	0,2–1,0	0,93
Вместимость 1-го погонного метра шпура, кг	1,59	
Всего ВВ на цикл, кг	132,8	87,34
Гранулированное ВВ, кг	126,4	81,54
врубовые, отбойные и оконтуривающие – 5,08 кг на один шпур	126,4	81,54
патронированное ВВ, кг	6,4	5,8
Количество НЭСИ на забой, шт	32	29
Время замедления, мс	25	100
Объем отбойки, м ³	28,3	30,29
Выход горной массы с одного шпура м ³ /м	0,32	0,36
Удельный расход ВВ, кг/м ³	4,46	2,88
Площадь забоя на один шпур, м ²	0,39	0,41

Примечание: типовые (1) и расчетные (2) параметры БВР

ского состава взорванных пород шпуровыми зарядами в горизонтальных подземных выработках и рациональных параметров БВП согласно предложенной методике.

Заключение

В результате проведенных исследований:

1. Разработан аналитический метод определения рациональных параметров БВП в забоях горизонтальных подземных проходческих выработках.

2. Разработан аналитический метод определения гранулометрического состава взорванной горной массы при шпуровой отбойке в подземных горизонтальных проходческих выработках. Он базируется на учете размеров зон интенсивного дробления пород вокруг шпуровых зарядов и виртуального содержания естественных отдельностей в массиве пород, сформированного в результате соударения кусков пород при перемещении во второй и третьей стадиях развития взрыва. Установлены закономерности формирования виртуального содержания естественных отдельностей.

3. На основе описанных методов определения рационального расположения зарядов ВВ и гранулометрическо-

го состава взорванной горной массы при шпуровой отбойке в подземных горизонтальных проходческих выработках разработана компьютерная программа автоматизированного проектирования параметров и результатов БВП в подземных горизонтальных выработках KAZBLAST UNDER.

4. Полученные расчетные параметры БВП указывают на возможность снижения издержек при проведении БВП по сравнению с типовым паспортом и проведенными опытными взрывами. В результате можно достичь уменьшения удельного расхода ВВ, снижения объема бурения без снижения качества взорванной горной массы согласно расчету результатов БВП по программе KAZBLAST UNDER.

Благодарность

Статья подготовлена в рамках программно-целевого финансирования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан 2023/BR21881939 «Разработка ресурсосберегающих энергогенерирующих технологий для горно-металлургического комплекса и создание инновационного инженерингового центра».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дремин А.В., Великанов В.С. К вопросу о гранулометрическом составе взорванных скальных пород // Горная промышленность. 2023. № 4. С. 73–78 (на русском языке)
2. Симонов П.С. Особенности определения размера среднего куска и выхода негабарита при взрывных работах на карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 4. С. 320–327 (на русском языке)
3. Жулио де К.С., Андревити да К.С., Суэлен С.Р. Анализ прогноза взрывных пород и результатов фрагментации горных пород с использованием программного обеспечения с разделенным рабочим столом // Технологии в металлургии, материалопроизводстве и горнодобывающей промышленности. 2018. № 15 (1). С. 22–30 (на английском языке)
4. Анализ дробления с использованием цифровой обработки изображений и эмпирической модели (Kiz-Rat): сравнительное исследование / Саадун А. [и др.] // Записки Горного института. 2022. Т. 257. С. 822–832 (на английском языке)
5. Компьютерное проектирование рациональных параметров расположения зарядов взрывных скважин в горизонтальной подземной выработке / Ракишев Б.Р. [и др.] // Горные технологии: труды учреждений горного дела и металлургии. 2022. № 131 (1). С. 25–37 (на английском языке)
6. Обоснование геометрии среза цилиндрического входа в подземной шахтной галерее / Ракишев Б.Р. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 12. С. 31–46 (на русском языке)
7. Ракишев Б.Р. Формирование гранулометрического состава взорванных пород при уступной отбойке // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2020. № 1. С. 41–53 (на русском языке)
8. Салми Е.Ф., Селлерс Э.Дж. Обзор методов учета геологических и геотехнических характеристик массивов горных пород при оценке взрывоспособности для проектирования селективных взрывных работ // Инженерная геология. 2021. № 281. С. 1–37 (на английском языке)
9. Гранулометрический состав взорванных пород при проходке тоннелей и его автоматическое определение / Ракишев Б.Р. [и др.] // Тоннелестроение и технологии подземного космоса. 2024. № 148. С. 105773 (на английском языке)
10. Ракишев Б.Р. Автоматизированное проектирование и производство массовых взрывов на карьерах: Алматы: Гылым, 2016. 340 с. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Дремин А.В., Великанов В.С. Жарылған тау жыныстарының гранулометриялық құрамы туралы сұрақ // Тау-кен өнеркәсібі. 2023. № 4. Б. 73–78 (орыс тілінде)
2. Симонов П.С. Карьерлердегі жарылыс операциялары кезінде орташа бөлшектің мөлшерін және шамадан тыс өнімділікті анықтау ерекшеліктері // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. 2017. № 4. Б. 320–327 (орыс тілінде)

3. Жулио де К.С., Андревити да К.С., Суэлен С.Р. Бөлінген жұмыс үстелі бағдарламалық құралын пайдалана отырып, жарылыс ұңғымаларын болжау және тау жыныстарының фрагментация нәтижелерін талдау // *Металлургиядағы, материалдар өндірісіндегі және тау-кен өндірісіндегі технологиялар*. 2018. № 15 (1). Б. 22–30 (ағылшын тілінде)
4. Сандық кескінді өңдеу және эмпирикалық модель (KuzRam) көмегімен фрагментация талдауы. Салыстырмалы зерттеу / Саадун А. [және т. б.] // *Тау-кен институтының журналы*. 2022. Т. 257. Б. 822–832 (ағылшын тілінде)
5. Көлденең жер асты игеруде жарылыс зарядтарын орналастырудың рационалды параметрлерін компьютердің көмегімен жобалау / Ракишев Б.Р. [және т. б.] // *Тау-кен өндіру технологиясы: тау-кен металлургия институттарының операциялары*. 2022. № 131 (1). Б. 25–37 (ағылшын тілінде)
6. Көлденең жер асты шахтасындағы цилиндрлік кесудің параметрлерін негіздеу / Ракишев Б.Р. [және т. б.] // *Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені*. 2021. (12). Б. 31–46 (орыс тілінде)
7. Ракишев Б.Р. Стендтің сынуы кезінде жарылыс тау жыныстарының гранулометриялық құрамын қалыптастыру // *Минералды ресурстарды игерудің физикалық-техникалық мәселелері*. 2020. № 1. Б. 41–53 (орыс тілінде)
8. Салми Е.Ф., Селлерс Э.Дж. Таңдамалы жарылысты жобалау үшін жарылыс қабілеттілігін бағалауда тау жыныстарының геологиялық және геотехникалық сипаттамаларын енгізу әдістеріне шолу // *Инженерлік геология*. 2021. № 281. Б. 1–37 (ағылшын тілінде)
9. Туннельді айдау кезіндегі жарылған тау жыныстарының бөлшектер мөлшерінің құрамы және оны автоматтандырылған анықтау / Ракишев Б.Р. [және т. б.] // *Туннельдеу және жерасты ғарыштық технологиясы*. 2024. № 148. Б. 105773 (ағылшын тілінде)
10. Ракишев Б.Р. Карьерлердегі жаппай жарылыстарды компьютерлік жобалау және өндіру: Алматы: Ғылым, 2016. 340 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Dremine A.V., Velikanov V.S. *K voprosu o granulometricheskom sostave vzorvannykh skal'nykh porod [Setting a multi-criteria problem to analyze and forecast particle size distribution of blasted rock]*, *Gornaya promyshlennost'* [Mining Industry]. 2023. No. 4. 73–78 pp. (in Russian)
2. Simonov P.S. *Osobennosti opredeleniya razmera srednego kuska i vykhoda negabarita pri vzryvnykh rabotakh na kar'erakh [Features of determining average dimension and yield of oversizes under blasting in open pit mines]*, *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin]. 2017. No. 4. 320–327 pp. (in Russian)
3. Julio de C.S., Andreviti da C.S., Suellen S.R. *Analysis of the forecast of explosive rocks and the results of rock fragmentation using software with a split desktop* // *Technologies in metallurgy, material production and mining industry*. 2018. No. 15 (1). 22–30 pp. (in English)
4. *Fragmentation analysis using digital image processing and an empirical model (KuzRam): A comparative study* / Saadoun A. [et al.] // *Journal of Mining Institute*. 2022. V. 257. 822–832 pp. (in English)
5. *Computer-aided design of rational parameters for the location of blasthole charges in horizontal underground development* / Rakishev B.R. [et al.] // *Mining Technology. Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy*. 2022. No. 131 (1). 25–37 pp. (in English)
6. *Obosnovanie geometrii sreza tsilindricheskogo vkhoda v podzemnoi shakhtnoi galeree [Justification of cylindrical entry cut geometry in underground mine gallery, Substantiation of the parameters of a cylindrical cut in a horizontal underground mine]*, Rakishev B.R. [et al.], *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Informational and Analytical Bulletin]. 2021. No. 12. 31–46 pp. (in Russian)
7. *Rakishev B.R. Formirovanie granulometricheskogo sostava vzorvannykh porod pri ustupnoi otboike [Formation of the granulometric composition of blasted rocks during bench breakage]*, *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh [Physical and Technical Problems of Mineral Resource Development]*. 2020. No. 1. 41–53 pp. (in Russian)
8. *Salmi E.F., Sellers E.J. A review of the methods to incorporate the geological and geotechnical characteristics of rock masses in blastability assessments for selective blast design* // *Engineering Geology*. 2021. No. 281. 1–37 pp. (in English)
9. *Particle size composition of blasted rocks in tunnel driving and its automated determination* / Rakishev B.R. [et al.] // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2024. No. 148. 105773 p. (in English)
10. *Rakishev B.R. Avtomatizirovannoe proektirovanie i proizvodstvo massovykh vzryvov na kar'erakh [Computer-aided design and production of mass explosions in quarries]*, *Almaty: Gylym*, 2016. 340 p. (in Russian)

Сведения об авторах:

Ракишев Б.Р., академик НАН РК, докт. техн. наук., профессор кафедры «Горное дело» НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), b.rakishhev@satbayev.university.kz; <https://orcid.org/0000-0001-5445-070X>

Орынбай А.А., Ph.D, ВНС кафедры «Горное дело» НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), a.orynbay@anes.kz; <https://orcid.org/0000-0002-3720-7625>

Алибаев А.Е., МНС кафедры «Горное дело», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), azamatalibaev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6747-6148>

Ибырханов Т.С., докторант, МНС кафедры «Горное дело», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), ibir.tem@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-6344-8270>

Авторлар туралы мәліметтер:

Ракишев Б.Р., академик НАН РК, техника ғылымдарының докторы, НАО «К.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» «Тау-кен ісі» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Орынбай А.А., Ph.D, «Тау-кен ісі» кафедрасының ЖФК, КеАҚ «К.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» (Алматы қ., Қазақстан)

Алибаев А.Е., «Тау-кен ісі» кафедрасының КФК, докторанты, КеАҚ «К.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» (Алматы қ., Қазақстан)

Ибырханов Т.С., «Тау-кен ісі» кафедрасының КФК, докторанты, КеАҚ «К.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Rakishhev B.R., Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Mining Department of the NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev» (Almaty, Kazakhstan)

Orynbay A.A., Ph.D, LR of the Mining Department of the NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev» (Almaty, Kazakhstan)

Alibayev A.Ye., JR, doctoral student of the Mining Department of the NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev» (Almaty, Kazakhstan)

Ibyrkhanov T.S., JR, doctoral student of the Mining Department of the NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev» (Almaty, Kazakhstan)



26-я Китайская международная выставка нефтегазового и нефтехимического оборудования и технологий

26-28 марта, 2026

Китайский Международный Выставочный Центр (Зал Шуньни), Пекин

81

Стран и регионов

180,000+

Профессиональных посетителей

2,000+

Экспонентов

52

из Fortune Global 500

18

Международных павильонов

120,000m²

Выставочной площади

Среди участников выставки



Zhenwei International Exhibition Group, Beijing Zhenwei Exhibition Co., Ltd.

Адрес: Zhenwei Exhibition Building, Building III13, International Enterprise Avenue,

Yard 1, Jinghai 5th Road, Tongzhou District, Beijing

Тел: +86 10 5617 6968/6962

Факс: +86 10 5617 6998

Почта: cipre@zhenweiexpo.com



Регистрация посетителей



WhatsApp

[f](#) cippezw

[x](#) cippe_zw

[in](#) cippe China

Код МРНТИ 52.13.21

*С.Е. Сүйінтаева¹, О.А. Әбіл^{1,2}, К.Т. Атагелдиев¹, Д.Р. Махмудов³¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан),²ТОО «Mining Research Group» (г. Караганда, Казахстан),³Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова (г. Ташкент, Узбекистан)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН ИСКРИВЛЕНИЯ ВЕЕРНЫХ СКВАЖИН НА РУДНИКЕ ВОСХОД

Аннотация. При бурении взрывных скважин существует высокая вероятность их отклонения от проектного направления. Такие отклонения оказывают отрицательное влияние на результаты буровзрывных работ, вызывая увеличение кусковатости, потери руды и снижение эффективности дробления. Основными причинами являются геологические условия, технические особенности оборудования и технологические ошибки. В данном исследовании проведен комплексный анализ отклонений скважин при веерном бурении на основе геолого-маркшейдерской документации, технических характеристик буровой установки Sandvik DL430-7C и данных о фактической кривизне. По результатам замеров предложены рациональные параметры бурения, позволяющие минимизировать отклонения и повысить эффективность буровзрывных работ.

Ключевые слова: буровзрывные работы, скважинная отбойка, веерные скважины, искривление скважин, отклонения скважин, инклинометрия, параметры бурения скважин.

Восход кенішіндегі тарамды ұңғымалардың ауытқу себептерін зерттеу

Аңдатпа. Жарылыс ұңғымаларын бұрғылау кезінде олардың жобалық бағыттан ауытқу ықтималдығы жоғары. Мұндай ауытқулар бұрғы-жарылыс жұмыстарының нәтижесіне кері әсер етіп, кесектіліктің артуына, кеннің жоғалымына және жалпы тиімділіктің төмендеуіне әкеледі. Негізгі себептерге геологиялық жағдайлар, жабдықтың техникалық ерекшеліктері мен технологиялық қателіктер жатады. Бұл зерттеуде тарамды бұрғылау кезінде ұңғымалардың ауытқу себептері геологиялық-маркшейдерлік құжаттама, Sandvik DL430-7C бұрғылау қондырғысының техникалық сипаттамалары және нақты ауытқу деректері негізінде кешенді түрде талданды. Өлшеу нәтижелері бойынша ұсынылған ұтымды параметрлер ауытқуларды азайтып, бұрғы-жарылыс жұмыстарының тиімділігін арттырады.

Түйінді сөздер: бұрғы-жарылыс жұмыстары, ұңғымалық уату, тарамды ұңғымалар, ұңғымалардың қисаюы, ұңғымалардың ауытқуы, инклинометрия, ұңғымаларды бұрғылау параметрлері.

Research into the causes of borehole curvature at Voskhod mine

Abstract. During the drilling of blast boreholes, there is a high probability of deviation from the designed trajectory. Such deviations negatively affect the results of blasting operations, causing increased rock fragmentation irregularity, ore losses, and reduced overall efficiency. The main causes include geological conditions, technical features of the drilling equipment, and technological errors. In this study, a comprehensive analysis of borehole deviation during fan drilling was carried out using geological and mine surveying documentation, the technical specifications of the Sandvik DL430-7C drill rig, and actual borehole curvature data. Based on the measurements, rational drilling parameters are proposed to minimize deviations and improve blasting efficiency.

Key words: drilling and blasting operations, borehole blasting, fan boreholes, borehole curvature, borehole deviation, borehole surveying, borehole drilling parameters.

Введение

Изучение искривления веерных скважин выполнялось на месторождении Восход, расположенного в районе города Хромтау Актюбинской области.

Хромитоносные массивы месторождения представлены комплексом пород, обычных для геосинклинальных областей – дунитами и перидотитами [1–3].

Искривленными являются скважины, которые изменяют в процессе бурения свое текущее направление относительно заданного при заложении. При этом изменение только зенитных углов в процессе бурения скважины вызывает ее зенитное искривление, оно происходит только в одной – вертикальной плоскости и через ось такой скважины можно провести только одну апсидальную плоскость. Изменения только азимутальных углов вызывает азимутальное искривление скважин [4].

Практически при искривлении скважин происходит совместное изменение зенитных и азимутальных углов, что вызывает пространственное или общее искривление скважин. Все скважины, пробуренные по плоскостной или пространственной криволинейной оси, являются искривленными. Таким образом, под искривлением следует понимать изменение положения оси или траектории скважины в пространстве к ее начальному положению, заданному при заложении скважин на дневной поверхности, в то время как расхождение между действительным положением скважины и ее проектной прямолинейной или криволинейной осью в любой данной точке ствола следует называть отклонением скважины от ее проектной трассы [5].

В процессе бурения преобладающее большинство скважин искривляется. Искривления многих скважин имеют достаточно стабильный, постоянно повторяющийся с высокой степенью вероятности характер и интенсивность по всей скважине или по конкретной толще пород и могут считаться закономерными; другие имеют случайный, не постоянный характер, их повторяемость и величины интенсивностей недостаточно стабильны, т. е. устанавливаются на данном этапе исследования лишь невысокой степенью вероятности и поэтому должны считаться незаконными.

Характер и интенсивность искривления скважин зависит от причин геологического, технического и технологического характера, действующих в совокупности [6, 7].

Причины геологического характера связаны с неоднородностью среды, в которой бурят.

Пересечение буровым снарядом слоистых пород различной твердости сопровождается изменением зенитного угла скважины и ее азимутального направления. При переходе из мягких пород в более твердые скважина отклоняется в сторону твердого слоя, так как в месте перехода коронка интенсивнее разрушает ту часть забоя, которая находится в мягких породах. При обратном переходе (из твердых пород в мягкие) скважина искривляется также в сторону твердых пород, но в меньшей степени, так как в конечной стадии перехода контакта, породоразрушающий инструмент под воздействием осевой нагрузки скалывает часть твердой породы. В результате такой закономерности вертикальная или наклонная скважина, пересекая под острым углом слои пород, перемежающи-



Рис. 1. Скважинный инклинометр АИ-30:

1 – батарейный блок, 2 – блок датчиков, 3 – охранный кожух,
4 – наконечник, 5 – защитный колпак, 6 – выключатель питания.

Сурет 1. Ұңғымалық инклинометр АИ-30:

1 – батарея, 2 – сенсор блогы, 3 – қорғаныш қаптамасы, 4 – ұшы,
5 – қорғаныш қақпағы, 6 – қуат қосқышы.

Figure 1. Borehole inclinometer AI-30:

1 – battery unit, 2 – sensor module, 3 – protective housing, 4 – probe tip,
5 – safety cap, 6 – power switch.

еся по твердости, стремится постепенно занять положение, перпендикулярное к их напластованию. Искривляются скважины тем интенсивнее, чем чаще перемежаются и чем больше отличаются по твердости, пересекаемые ими слои пород [8, 9].

Большое значение при переходе скважины из породы одной твердости в другую имеет угол ее встречи с пластом (γ). Если буровой снаряд встречается с твердыми породами под углом меньше критического, величина которого для различных пород равняется $15\text{--}24^\circ$, скважина может пойти вдоль всякого бока твердой породы. Для предупреждения искривления по указанным причинам скважины следует бурить по возможности вкрест простирания и падения пород [10].

Для проведения замеров использовался инклинометр скважинный магнитометрический, многоточечный автономный, предназначенный для измерения азимута и зенитного угла скважины в автономном режиме с привязкой результатов к реальному времени. Измерения с помощью инклинометра проводятся в точечном режиме во время остановок, либо в непрерывном режиме со скоростью подъема не более 400 м/ч.

Рабочие условия применения автономного инклинометра: эксплуатационные и разведочные, необсаженные наклонные и горизонтальные скважины с температурой от минус 10 до 120°C и гидростатическим давлением до 80 МПа, бурящиеся на нефть и газ, с диаметром 100–152 мм и глубиной до 5000 м.

Опытные работы проводились бурильной установкой типа Sandvik DL430-7C, рассчитанной на очистное бурение в подземных условиях. Этот универсальный электро-

гидравлический буровой станок рассчитан на большую вертикальную и горизонтальную рабочую зону.

Также, во время работы, тщательно проверялись заданные параметры бурения, которые, как выяснилось, соответствуют нормам, состояние и изношенность долота (рис. 2).

Для исключения вероятности искривления скважины во время бурения долото в среднем проходит около 600 метров, далее подлежит замене на новое. Как можно заметить, состояние долота на момент окончания эксплуатационного срока приемлемое. Значительные изменения заключаются в коррозии металла самой коронки из-за постоянного потока бурового раствора, проходящего сквозь инструмент.

Исследования

За время работы было проведено 17 замеров, из которых часть замерялась в местах рудника, где геология, преимущественно, представлена горной породой или рудным телом, либо их переслаиванием. Замеры проводились путем опускания инклинометра в скважины. Запись проводилась от устья до забоя.

Было принято решение задать настройки инклинометру таким образом, чтобы запись контрольных точек осуществлялась каждые 20 секунд, что способствует созданию более качественной базы данных.

Для заглубления прибора в скважину использовались удлинительные штанги, длина которой составляет 1,5 метра. С помощью переходника прибор накручивался на один конец удлинителя, в то время как на другой конец присоединялась следующая штанга, таким путем удлиняя компоновку до необходимой глубины.



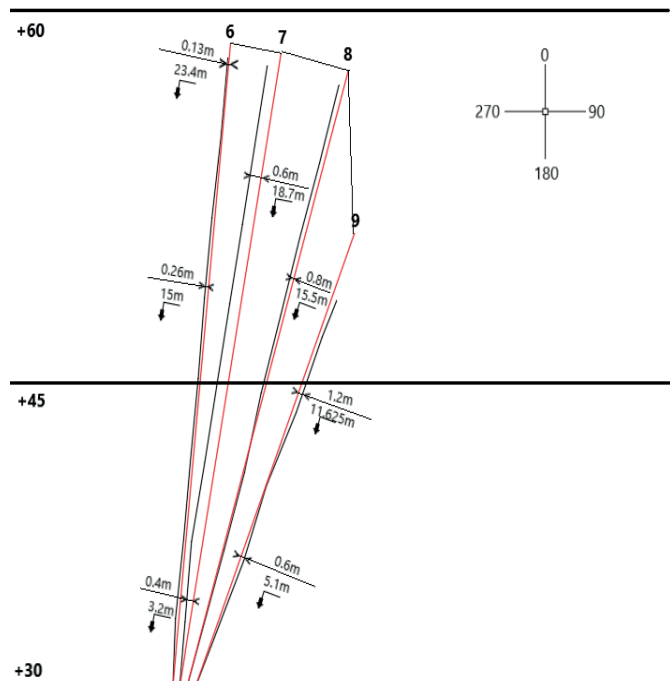
**Рис. 2. Состояние долота в начальный и конечный момент эксплуатационного срока.
Сурет 2. Қашаудың пайдалану мерзімінің бастапқы және соңғы сәтіндегі күйі.
Figure 2. Condition of drill bit at commissioning vs. end-of-service stages.**

Исследование искривления скважин в рудном штреке № 5/2 веер № 21

Рудный штрек № 5/2 расположен на подэтаже +30. Высота выработки 6 м, ширина выработки 6 м.

Веер № 21 состоит из 10 скважин. Минимальная глубина скважины 6,3 м. Максимальная глубина скважины 24 м. Веер наклонен на 80 градусов. Общий вид веера приведен на рис. 3 и 4.

Результаты выполненных замеров сведены в таблице 1.



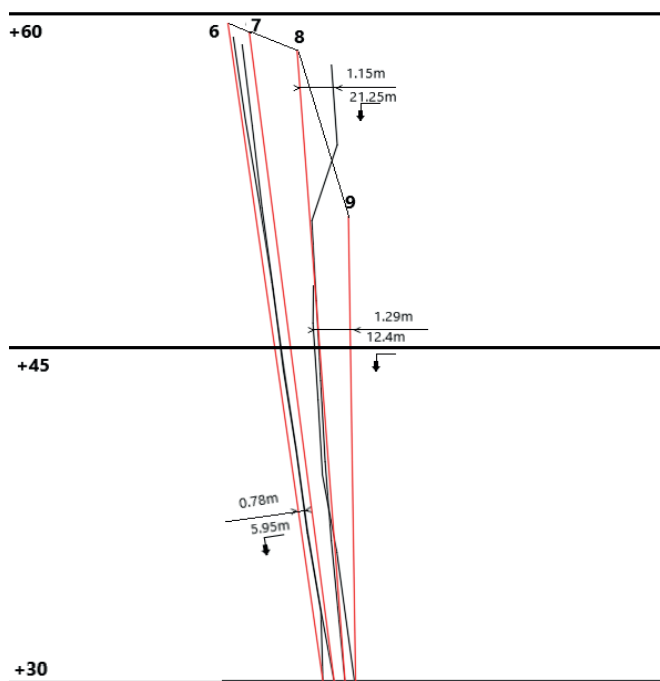
**Рис. 3. Рудный штрек № 5/2 веер № 21 (фронтальный).
Сурет 3. Кенді қуақаз № 5/2 № 21 тарам (алдыңғы).
Figure 3. Mining drift 5/2 with fan-shaped pattern 21 (Frontal view).**

Исследование искривления скважин в рудном штреке № 3/2 веер № 23

Рудный штрек № 3/2 расположен на подэтаже +30. Высота выработки 6 м, ширина выработки 6 м.

Веер № 23 состоит из 11 скважин. Минимальная глубина скважины 9 м. Максимальная глубина скважины 34,2 м. Веер наклонен на 80 градусов. Общий вид веера приведен на рис. 5 и 6.

Результаты инклинометрии скважин приведены в таблице 2.



**Рис. 4. Рудный штрек № 5/2 веер № 21 (профильный).
Сурет 4. Кенді қуақаз № 5/2 № 21 тарам (бейінді).
Figure 4. Mining Drift 5/2 with fan-shaped pattern 21 (Profile View).**

Таблица 1

Значения отклонений скважин веера № 21 рудного штрека № 5/2

Кесте 1

Кенді қуақаз № 5/2 № 21 тарамды ұңғымалардың ауытқу мәндері

Table 1

Borehole deviation measurements for fan cut 21 in ore drive 5/2

Скв. №	Азимут (град)	Минимальное расхождение (м)	Максимальное расхождение (м)	Отклонение на забое (м)	Недоход (м)
6	329,6	0,11	0,78	0,13	0,5
7	300	0,4	0,6	0,6	0,5
8	350,68	0,2	1,15	1,15	2
9	344,12	0,6	1,29	1,2	3,25

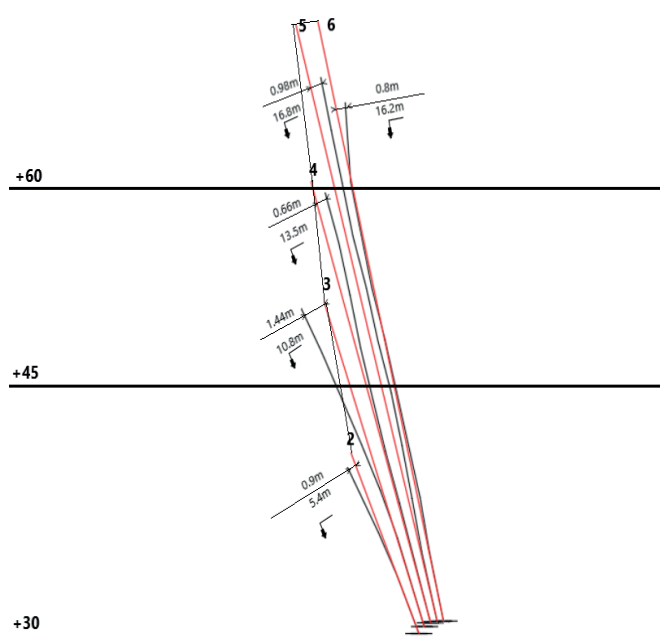
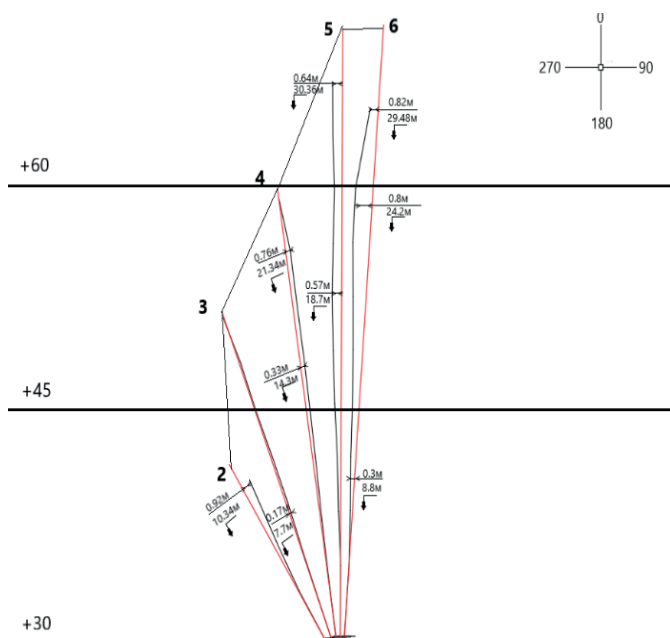


Рис. 5. Рудный штрек № 3/2 веер № 23 (Фронтальный).

Рис. 6. Рудный штрек № 3/2 веер № 23 (профильный).

Сурет 5. Кенді қуақаз № 3/2 № 23 тарам (алдыңғы).
Figure 5. Mining drift 3/2 with fan-shaped pattern 23 (Frontal view).

Сурет 6. Кенді қуақаз № 3/2 № 23 тарам (бейінді).
Figure 6. Mining Drift 3/2 with fan-shaped pattern 23 (Profile View).

Таблица 2

Результаты инклинометрии скважин веера № 23 рудного штрека № 3/2

Кесте 2

№ 3/2 кенді қуақаздың № 23 тарам ұңғымаларының инклинометриясының нәтижелері

Table 2

Fan 23 inclinometry results (Drift 3/2)

Скв. №	Азимут (град)	Минимальное расхождение (м)	Максимальное расхождение (м)	Отклонение на забое (м)	Недоход (м)
2	213	0,1	0,92	0,92	0,9
3	221.04	0,17	1,44	1,44	0
4	243.44	0,3	0,76	0,66	0,8
5	271.44	0,3	0,98	0,57	3,2
6	288.72	0,3	0,82	0,8	4,7

Разрушение горных пород

Исследование искривления скважин в орте № 4

Орт № 4 расположен на подэтаже +30. Высота выработки 6 м, ширина выработки 6 м.

Из выработки пробурен веер из 15 скважин глубиной 39 м каждая, с углом наклона 80 градусов. Общий вид веера приведен на рис. 7.

Результаты выполненных замеров и сравнение с проектными значениями приведены в таблице 3.

Результаты

В результате анализа траекторий буровых скважин вееров № 21 (рудный штрек № 5/2), № 23 (рудный штрек № 3/2) и орта № 4 установлено, что большинство скважин подвержены искривлению на отдельных участках бурения. Наиболее часто отклонения фиксируются в начале и середине скважин.

Средняя интенсивность искривления составляет около 2° на каждые 10 м бурения, а максимальные значения

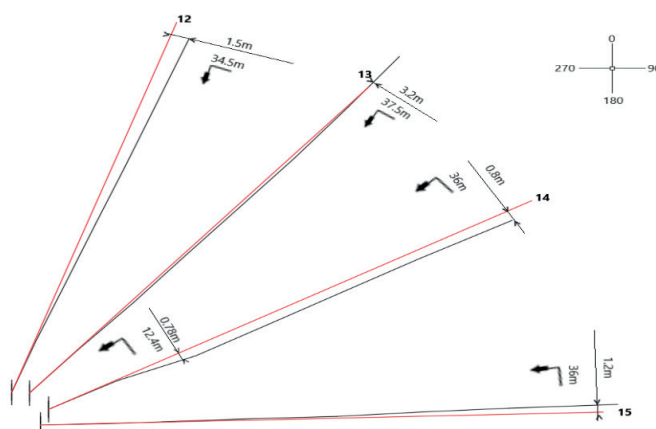


Рис. 7. Орт № 4 подэтаж +30.
Сурет 7. № 4 қияқаз + 30 қабатаралық.
Figure 7. Sublevel (+30 m) Crosscut 4.

Значения отклонений скважин веера орта № 4

№ 4 қияқаз тарам ұңғымаларының ауытқу мәндері

Deviation values of boreholes in fan pattern of Crosscut 4

Таблица 3

Кесте 3

Table 3

Скв. №	Азимут (град)	Минимальное расхождение (м)	Максимальное расхождение (м)	Отклонение на забое (м)	Недоход (м)
12	155,6	0,1	1,5	1,5	0
13	111,48	0,3	3,2	3,2	0,5
14	118,08	0,2	0,8	0,8	0,8
15	117,24	0,2	1,2	1,2	1,25

Расстояние между концами скважин вееров

Тарамдар ұңғымаларының ұштары арасындағы қашықтық

Distance between the ends of boreholes in the fan pattern

Таблица 4

Кесте 4

Table 4

Веер № 21 рудный штрек № 5/2				
№	Расстояние между скважинами, м	План	Факт	Отклонение
1	6-7	3	1,8	1,2
2	7-8	3	4,4	1,4
3	8-9	6	7,9	1,9
Веер № 23 рудный штрек № 3/2				
1	2-3	8,4	9,4	1
2	3-4	6,6	7,5	0,9
3	4-5	9	7,2	1,8
4	5-6	3	3,2	0,2
Орт № 4				
1	12-13	20	14,6	5,4
2	13-14	15	18,3	3,3
3	14-15	15	19,5	4,5

достигают 20° , что вызывает смещение забоя скважины на 1,0–1,5 м относительно проектного положения.

Для веера № 21 наибольшие искривления зафиксированы в скважинах № 8 и № 9, где отклонения достигали 1,15–1,2 м. Веер № 23 характеризуется постепенным увеличением угла кривизны с глубиной, при отклонениях до 1,44 м. Для орта № 4 наблюдаются искривления на глубинах свыше 5–7 м, при этом отклонения достигают 3,2 м.

Обсуждение результатов

Для уточнения зон возможных отклонений целесообразно использовать электроразведку методом вызванной поляризации. Этот метод обеспечивает определение границы перехода руды в породу за счет измерения коэффициентов электрической проводимости и сопротивления, что способствует более точному выбору мест бурения и предотвращает искривления при переходе между слоями руд и пород.

Анализ данных показал, что при бурении вееров с углом наклона 80° наблюдается устойчивая закономерность отклонения траектории скважин – в среднем на 2° каждые 10 м проходки в сторону наклона веера. Такое отклонение обусловлено неоднородностью горных пород и различиями их твердости, что приводит к изменению траектории скважины относительно проектной линии.

Применение центрирующих наконечников на долото способствует стабилизации оси бурения и снижению вероятности искривлений, возникающих на начальных участках скважин.

Для уточнения зон возможных отклонений целесообразно использовать электроразведку методом вызванной поляризации. Данный метод позволяет определить границы перехода руды в породу за счет измерения коэффициентов электрической проводимости и сопротивления, что способствует более точному выбору мест бурения и предотвращает искривления при переходе между слоями руд и пород.

Заключение

Анализ данных инклинометрии, параметров буровой установки и геологической изученности месторождения показал, что отклонение скважин обусловлено совокупностью технических и геологических факторов.

К техническим причинам относятся применение кривой ведущей трубы или бурильной колонны, а также отсутствие центровки. Использование центрирующих устройств – центраторов, калибраторов и стабилизаторов позволяет калибровать ствол скважины, улучшать условия работы долота и стабилизировать профиль наклонно-направленных скважин.

К геологическим факторам относятся: переслаивание пород с различной твердостью, наличие твердых включений в более мягких породах, наличие каверн и чрезмерная интенсивность промывки в легко размываемых породах.

Устранение технических причин способствует снижению вероятности отклонений скважин. Применение жестких, активно действующих компоновок нижней части бурильной колонны, использование специальных режимов бурения с контролем скорости вращения долота и ограничением осевой нагрузки, проведение монтажа оборудования в соответствии с техническими условиями, а также подбор типа долота в соответствии с физико-механическими свойствами пород позволяют существенно минимизировать искривления скважин.

Как показали результаты наблюдений, скважины преимущественно искривляются в сторону наклона веера. По мере углубления компоновки в породу увеличивается нагрузка на нижнюю часть бурильной колонны, что способствует отклонению от заданного направления. В среднем отклонение составляет около 2° на каждые 10 м бурения. При проектировании общего угла наклона веера и расположения скважин в ряду следует учитывать данную закономерность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. История изученности месторождения хромовых руд «Восход». Берчогурская геофизическая экспедиция, 1963 (на русском языке)
2. Общие сведения о районе работ и участке водозабора. Хромтау, 2020 (на русском языке)
3. Сулакшин С.С. Руководство по измерению искривления скважин, 1954 (на русском языке)
4. Сулакшин С.С. Закономерности искривления и направленное бурение геологоразведочных скважин: М.: Недра, 1966. С. 92–95 (на русском языке)
5. Оптимизация параметров отбойки рудных тел методом моделирования с применением специальных интегрированных программных продуктов / Сердалиев Е.Т. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2024. № 8 (232). С. 20–25 (на русском языке)
6. Чжан Дж. Анализ устойчивости ствола скважины с учетом анизотропии при бурении по тонким пластам // Int J Rock Mech Min Sci. 2013. Т. 60. С. 160–170 (на английском языке)
7. Лапрад Р., Миллер П. Исследование отклонения ствола скважины в длинном забое // Двадцать четвертая ежегодная конференция по взрывчатым веществам и технике взрывных работ, 1998. С. 337–345 (на английском языке)
8. Индекс энергетической оценки безопасности взрывной детонации / Чжао М. [и др.] // Удар и вибрация. 2015. Т. 2015. С. 9 (на английском языке)
9. Гош Р., Густафссон А., Шуннессон Х. Разработка геологической модели для оценки дебита скважины с использованием метода мониторинга бурения // Международный журнал по механике горных пород и горному делу. 2018. Т. 109. С. 9–18 (на английском языке)
10. Деряев А.Р., Садуакасов Д.С., Табылганов М.Т. Исследование кривизны ствола скважины при бурении на Гогерендагском месторождении // Материалы SOCAR. 2025. Т. 2. С. 48–54 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. «Восход» хром кен орындарын зерттеу тарихы. Берчогур геофизикалық экспедициясы, 1963 (орыс тілінде)
2. Жұмыс ауданы және су алу учаскесі туралы жалпы мәліметтер. Хромтау, 2020 (орыс тілінде)
3. Сулакшин С.С. Ұңғымалардың қисаюын өлшеу жөніндегі нұсқаулық, 1954 (орыс тілінде)
4. Сулакшин С.С. Қисаю заңдылықтары және геологиялық барлау ұңғымаларын бағытталған бұрғылау: М.: Жер Қойнауы, 1966. Б. 92–95 (орыс тілінде)
5. Арнайы интегралданған бағдарламалық өнімдермен модельдеу әдісін қолдану арқылы кен шоғырларын қопару параметрлерін оңтайландыру / Сердалиев Е.Т. [және т. б.] // Қазақстанның тау-кен журналы. 2024. № 8 (232). Б. 20–25 (орыс тілінде)
6. Чжан Дж. Ұңғыма оқпанының жұқа қабаттарды бұрғылау кезіндегі анизотропияны ескере отырып, тұрақтылығын талдау // *Int J Rock Mech min Sci.* 2013. Т. 60. Б. 160–170 (ағылшын тілінде)
7. Лапрад Р., Миллер П. Ұңғыманың ұзын ұңғубеттегі ауытқуын зерттеу // Жарылғыш заттар мен жарылыс техникасы бойынша жиырма төртінші жыл сайынғы конференция, 1998. Б. 337–345 (ағылшын тілінде)
8. Жарылыс дүмпуі қауіпсіздігінің энергетикалық бағасының индексі / Чжао М. [және т. б.] // Соққы және дүмпу. 2015. Т. 2015. Б. 9 (ағылшын тілінде)
9. Гош Р., Густафссон А., Шуннессон Х. Бұрғылауды бақылау әдісін қолдана отырып, ұңғыманың дебетін бағалаудың геологиялық моделін жасау // Тау жыныстары механикасы және тау-кен ісі журнал жөніндегі халықаралық журнал. 2018. Т. 109. Б. 9–18 (ағылшын тілінде)
10. Деряев А.Р., Садуакасов Д.С., Табылганов М.Т. Гогерендаг кен орнында бұрғылау кезінде ұңғыма оқпанының қисықтығын зерттеу // *SOCAR материалдары.* 2025. Т. 2. Б. 48–54 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. *Istoriya izuchennosti mestorozhdeniya khromovykh rud «Voskhod» [The history of the exploration of the Voskhod chromium ore deposit], Berchogurskaya geofizicheskaya ekspeditsiya [Berchogur Geophysical expedition], 1963 (in Russian)*
2. *Obshchie svedeniya o raione rabot i uchastke vodozabora [General information about the work area and the water intake site], Khromtau, 2020 (in Russian)*
3. *Sulakshin S.S. Rukovodstvo po izmereniyu iskrivleniya skvazhin [Guidelines for measuring the curvature of wells], 1954 (in Russian)*
4. *Sulakshin S.S. Zakonomernosti iskrivleniya i napravlennoe burenie geologo-razvedochnykh skvazhin [Regularities of Curvature and Directional Drilling of Geological Exploration Wells], Moscow: Nedra, 1966. 92–95 pp. (in Russian)*
5. *Optimizatsiya parametrov otboiki rudnykh tel metodom modelirovaniya s primeneniem spetsial'nykh integrirrovannykh programmnykh produktov [Optimization of ore body picking parameters by simulation method using special integrated software products], Serdaliev E.T. [et al.], Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]. 2024. No. 8 (232). 20–25 pp. (in Russian)*
6. *Zhang J. Borehole stability analysis accounting for anisotropies in drilling to weak bedding planes // Int J Rock Mech Min Sci. 2013. V. 60. 160–170 pp. (in English)*
7. *Laprade R., Miller P. Borehole deviation study in a long-hole stope // Twenty-fourth annual conference on explosives and blasting technique, 1998. 337–345 pp. (in English)*
8. *An Energy-Based Safety Evaluation Index of Blast Vibration. / Zhao M. [et al.] // Shock and Vibration. 2015. V. 2015. 9 p. (in English)*
9. *Ghosh R., Gustafson A., Schunnesson H. Development of a geological model for chargeability assessment of borehole using drill monitoring technique // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018. V. 109. 9–18 pp. (in English)*
10. *Deryaev A.R., Saduakassov D.S., Tabylganov M.T. Study of wellbore curvature during drilling in the Gogeren dag field // SOCAR Proceedings. 2025. No. 2. 48–54 pp. (in English)*

Сведения об авторах:

Сүйінтаева С.Е., докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), suiintayevas@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1362-2493>

Әбіл О.А., докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова»; заместитель директора ТОО «Mining Research Group» (г. Караганда, Казахстан), orazabil@minrg.com; <https://orcid.org/0000-0001-9939-9039>

Атагелдиев К.Т., докторант, ст. преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), kobei_91@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1902-0170>

Махмудов Д.Р., Ph.D, доцент, Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова (г. Ташкент, Узбекистан), dmahmudov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8160-2120>

Авторлар туралы мәліметтер:

Сүйінтәева С.Е., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, «Пайдалы қазбалар кенорыдарын өндіру» кафедрасының докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан)

Әбіл О.А., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, «Пайдалы қазбалар кенорыдарын өндіру» кафедрасының докторанты, «Mining Research Group» ЖШС директорының орынбасары (Қарағанды қ., Қазақстан)

Атагелдиев К.Т., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, «Пайдалы қазбалар кенорыдарын өндіру» кафедрасының аға оқытушысы, докторанты, (Қарағанды қ., Қазақстан)

Махмудов Д.Р., Ph.D, Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университетінің доценті (Ташкент қ., Өзбекстан)

Information about the authors:

Suiintayeva S.Ye., doctoral student of the Department of «Development of mineral deposits», «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» NJSC (Karaganda, Kazakhstan)

Abil O.A., doctoral student of the Department of «Development of mineral deposits», «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» NJSC; associate Director of the LLP «Mining Research Group» (Karaganda, Kazakhstan)

Atageldiyev K.T., doctoral student, senior lecturer of the Department «Development of mineral deposits», non-profit JSC «Karaganda Technical University named by Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Makhmudov D.R., Ph.D, Associate Professor, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov (Tashkent, Uzbekistan)



БЕЗОПАСНОСТЬ ТЭК

ФОРУМ ТЕХНОЛОГИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

12-13 МАРТА 2026
МОСКВА, ВДНХ, ПАВИЛЬОН 57

ОРГАНИЗАТОР



SFEXPO.RU

Код МРНТИ 52.35.29

N.M. Zamaliev, D.R. Akhmatnurov, *R.A. Musin, V.F. Demin

*Non-Profit Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov»
(Karaganda, Kazakhstan)*

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF FOREIGN EXPERIENCE IN THE CONDITIONS OF DOMESTIC COAL DEPOSITS

Abstract. The article discusses the prospects for the application of foreign experience in coalbed methane production at domestic coal deposits. The factors influencing the efficiency of methane production, including geological conditions, production technologies and economic feasibility, are analyzed. Data on the world resources of coalbed methane, the experience of production in various countries, such as the USA, China, Australia and Russia, as well as mining and geological characteristics are presented. Particular attention is paid to methods for assessing methane reserves and technologies for its production aimed at improving the safety and economic efficiency of production. The need to adapt modern technologies for methane production is emphasized.

Key words: coalbed methane, unconventional gas sources, coal seam degassing, geomechanics, resource-saving technologies, mining and geological conditions, economic efficiency.

Көмірдің отандық кен орындары жағдайында шетелдік тәжірибе қолдану перспективалары

Аңдатпа. Мақалада отандық көмір кен орындарында көмірлі метан өндіруде шетелдік тәжірибені қолдану перспективалары талқыланады. Метан өндірудің тиімділігіне әсер ететін факторлар, оның ішінде геологиялық жағдайлар, өндірістік технологиялар және экономикалық орындылық талданады. Көмір қабаттарының метанының әлемдік ресурстары, АҚШ, Қытай, Австралия және Ресей сияқты әртүрлі елдердегі өндіріс тәжірибесі, сондай-ақ кен орындарының тау-кен геологиялық сипаттамасы туралы мәліметтер келтірілген. Метан қорын бағалау әдістеріне және өндірістің қауіпсіздігі мен экономикалық тиімділігін арттыруға бағытталған оны өндіру технологияларына ерекше назар аударылады. Метан өндірудің заманауи технологияларын бейімдеу қажеттілігіне баса назар аударылады.

Түйінді сөздер: көмірлі метан, газдың бейвенциалды көздері, көмір қабатын газсыздандыру, геомеханика, ресурс үнемдейтін технологиялар, тау-кен-геологиялық жағдайлар, экономикалық тиімділік.

Перспективы применения зарубежного опыта в условиях отечественных угольных месторождений

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы применения зарубежного опыта добычи метана угольных пластов на отечественных угольных месторождениях. Проанализированы факторы, влияющие на эффективность добычи метана, в том числе геологические условия, технологии добычи и экономическая целесообразность. Приведены данные о мировых ресурсах метана угольных пластов, опыте добычи в различных странах, таких как США, Китай, Австралия и Россия, а также горно-геологическая характеристика месторождений. Особое внимание уделено методам оценки запасов метана и технологиям его добычи, направленным на повышение безопасности и экономической эффективности добычи. Подчеркивается необходимость адаптации современных технологий добычи метана.

Ключевые слова: метан угольных пластов, нетрадиционные источники газа, дегазация угольных пластов, геомеханика, ресурсосберегающие технологии, горно-геологические условия, экономическая эффективность.

Introduction

The growing importance of coalbed methane (CBM) as an alternative energy source is driven by global decarbonization efforts and stricter environmental regulations aimed at reducing greenhouse gas emissions [1]. As noted by Pengfei Ji and co-authors, the integration of CBMs into energy systems allows not only to diversify the fuel base, but also to reduce the carbon footprint of the coal industry, which is especially important in the context of «zero emissions» goals [2]. In Kazakhstan, especially in the Karaganda basin, the problem of coal mine methane emissions remains critical, posing risks to occupational safety and the environment.

According to M.A. Pazyuchenko, uncontrolled methane emissions in coal mines increase the greenhouse effect, since the global warming potential of methane is 25 times higher than that of CO_2 [3].

The joint production of coal and methane, as demonstrated by world experience, can transform these challenges into economic advantages. For example, in the United States, the introduction of degassing systems made it possible to utilize up to 90% of methane, reducing ventilation costs and increasing the profitability of production [4]. For Kazakhstan, which has significant CBM resources (projected reserves in the Karaganda basin are 1.2 trillion m^3 [5]), this opens up prospects for integration into global value chains, especially given the growing demand for clean energy. The world's CBM reserves are estimated at 256 trillion m^3 , which is almost 20% of all unconventional gas resources, while conventional natural gas

reserves reach 405 trillion m^3 [6]. This ratio emphasizes the strategic role of CBMs in ensuring energy security, especially for countries with a developed coal mining industry.

As Youping Xu's research has shown, successful CBM production requires an integrated approach that combines geomechanical modeling, adaptation of hydraulic fracturing technologies, and the creation of infrastructure for gas transportation [4]. For Kazakhstan, where the depth of the reservoirs varies from 100 to 2000 meters, the introduction of such solutions can be the key to realizing the potential of CBM within the framework of the national energy strategy.

Thus, the relevance of the topic is due to the need for a balance between environmental imperatives, economic efficiency and technological adaptation, which is confirmed by both international experience and local studies [1, 2, 3].

For example, the world's CBM reserves are estimated at 256 trillion m^3 , which is almost 20% of all unconventional gas resources [6]. For comparison, conventional natural gas reserves amount to 405 trillion m^3 , which highlights the importance of CBMs in the global energy strategy [Table 1].

Research Methods

The study is based on the integration of analytical, empirical and comparative methods aimed at assessing the possibility of using foreign technologies for the production of coalbed methane (CBM) in the conditions of Kazakhstani deposits. The methodology is based on a comparative analysis of international experience, including successful practices in the

Structure of world gas resources

Table 1

Әлемдік газ ресурстарының құрылымы

Кесте 1

Структура мировых ресурсов газа

Таблица 1

Types of gas resources	Volume of gas resources, trillion m ³	Share of types of gas resources, %
1. Conventional gas resources	405	30,54
2. Unconventional gas resources	921	69,46
2.1 Dense Sand Gas	209	15,76
2.2 Methane of coal seams	256	19,31
2.3. Shale gas	456	34,39

USA, China, Australia and Russia. As an example, the paper considers horizontal drilling with hydraulic fracturing (HF) technologies used in the San Juan basin (USA), where the depth of coal seams varies from 160 to 1200 meters, which made it possible to achieve a high productivity of 54 billion m³ of methane by 2010 [4].

The Chinese experience, in turn, has demonstrated the importance of state support: the creation of specialized research centers and the allocation of subsidies led to the drilling of 5,500 wells in 2006–2010 and an increase in production to 1.4 billion m³/year [7].

To adapt these technologies to Kazakh conditions, such as depths up to 2000 meters, 3D geomechanical modeling was used, similar to the approach used in the Powder River Basin (USA), where similar models made it possible to estimate methane reserves at 849 billion m³ [4].

The economic feasibility of introducing technologies was analyzed based on data on the replacement of 1 million m³ of methane with 1,300 tons of coal [9], which reduces the cost and carbon footprint, as well as the experience of Australia, where the construction of the QCLNG LNG terminal increased the share of CBM in the gas industry to 9% [2].

An important role was played by field studies, including experiments on degassing of mined-out areas of mines conducted by S.V. Slastunov [6], and the assessment of environmental consequences, such as a 90% reduction in methane emissions, as is the case in the practice of the United States [4]. The regulatory framework of the study took into account the Russian experience, where since 2011 the MCP has been recognized as an independent mineral [10], which made it possible to formulate recommendations for the regulation of mining in Kazakhstan.

The integrated approach combined geological, technological, economic and environmental aspects, including adaptation to hydraulic fracturing, analysis of infrastructure requirements (e.g. 200 km pipelines in the Black Warrior Basin [6] and assessment of CBM's contribution to the national decarbonization strategy [2]).

The results are confirmed by field tests in the Karaganda basin, where the projected methane reserves are 1.2 trillion m³ [5], which creates a production potential of up to 5 billion m³/year, provided that the tasks of clarifying geological data are solved and adapted technologies are introduced.

Theoretical foundations of the problem

Around the world, countries such as the United States, China, Australia and Russia have made significant progress in the production of CBM [4] by integrating it into their energy systems. In the United States, for example, horizontal hydraulic fracturing (fracturing) drilling has been the basis of success.

In the San Juan basin [2], where the depth of the coal seams ranges from 160 to 1200 meters, this technology made it possible to extract 17 billion m³ as early as 1993, and by 2010 this figure had grown to 54 billion m³ [Figure 1].

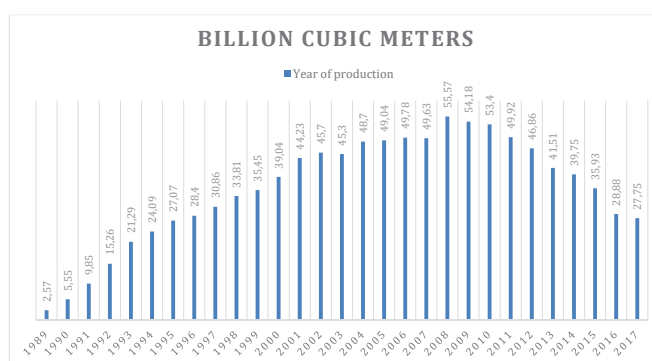


Figure 1. Summary of methane production from coal deposits in the United States [4].

Сурет 1. АҚШ-тағы көмір кен орындарынан метан өндірудің қысқаша сипаттамасы [4].

Рис. 1. Сводка по добыче метана на угольных месторождениях США [4].

Infrastructure played an important role: the length of pipelines in the Black Warrior basin [8] exceeds 200 km, which ensures efficient gas transportation. In China, where CBM reserves are concentrated in the Jincheng Basin [1], the focus is on government support.

The creation of the National Scientific and Technical Center for Coalbed Methane and the allocation of subsidies made it possible to drill 5.5 thousand wells in 2006–2010, increasing production to 1.4 billion m³/year. In Australia, the key achievement was the export of liquefied CBM through the QCLNG terminal, which has a capacity of 8.5 million tons per year. These examples show that success depends not only on technology, but also on a systematic approach, including legislation, financing and logistics. It is extremely important for Kazakhstan to take these developments into account. The Karaganda basin, the reserves of which are estimated at 1.2 trillion m³ [2], has a production potential of up to 5 billion m³/year.

However, for this to happen, a number of problems need to be addressed. First, this requires the clarification of geological data, especially in poorly studied areas, such as the Tunguska and Lena basins [6], where the estimate of reserves is approximate [Table 2].

*Table 2
Estimated methane resources in coal seams of the main basins and deposits of Russia [6]*

*Кесте 2
Ресейдің негізгі бассейндері мен кен орындарының көмір қабаттарындағы метанның есептік ресурстары [6]
Таблица 2
Оценочные ресурсы метана в угольных пластах основных бассейнов и месторождений России [6]*

Basin deposit	In total, a billion m ³	Deposits of operating mines, billion m ³	Explored and promising areas, as well as prospecting and evaluation of space, billions m ³	Upper floor of swimming pools to a depth of 1,200 m., billion m ³	The lower floor of the pools is located at a depth of 1,200 to 1,800 m., billion m ³
Kuznetsky	13 085	212	12 873	7 448	5 637
Pechora	1942	26	1 916	1 260	682
Donetsk	1178	495	683	-	-
Including the Eastern Donbass	97	2	95	-	-
Bureinsky	105	25	80	101	4
Apsatskoye	55	55	-	55	-
Sakhalin	47	5	42	45	2
Partisan	23	8	15	15	8
South Yakutsk	920	3	917	847	73
Zyryansky	99	-	99	98	1
Total	17 454	829	16 625	9 869	6 407
Tunguska*	20 000	-	-	-	-
Lensky*	6 000	-	-	-	-
Taymyr *	5 500	-	-	-	-
Total	48 954	-	-	-	-

Secondly, it is important to introduce technologies that have proven their effectiveness abroad. For example, the U.S. experience in the use of hydraulic fracturing can be applied at depths of 1–1.5 km, which are typical for Kazakhstani fields. Kazakhstan, in turn, is struggling with the low efficiency of methane degassing in coal mines and the non-use of foreign technologies adapted to local geological features [5]. The lack of integrated strategies for coalbed methane production limits the sector's potential to contribute to energy security and environmental goals. Thirdly, it is necessary to develop a regulatory framework similar to the Russian one, where since 2011 CBM has been recognized as an independent mineral resource.

Particular attention should be paid to the environmental aspect. CBM production reduces methane emissions into the atmosphere, which are 25 times higher than the greenhouse effect of CO₂. For example, in US mines, degassing systems recover 90% of the gas, which not only improves occupational safety, but also reduces the impact on the climate. In Kazakhstan, such measures can become part of the national decarbonization strategy.

Calculations show that 1 million m³ of methane replaces 1,300 tons of coal, which reduces the cost of production and increases profitability. However, to achieve such results, investments in infrastructure are needed [10]. The example of Australia, where the share of CBMs in total gas production increased from 2% to 9% due to the construction of LNG ter-

minals, demonstrates the importance of export opportunities. In Kazakhstan, the development of the pipeline network and cooperation with countries such as China can open up new markets [3].

In Kazakhstan, where the depth varies from 100 to 2000 meters, this requires detailed modeling [11]. For example, in the Powder River basin (USA), at a depth of 130–2000 meters, methane reserves are estimated at 849 billion m³, which became possible thanks to the use of 3D geological models [12] [Figure 2].

Results and Discussion

The application of coal seam advance degassing technology in combination with methane production has shown significant potential for the transformation of traditional coal mining processes. Experimental data obtained in the course of research indicate a decrease in the concentration of methane in mine workings by 40–60%, which is directly related to the improvement of working conditions and a reduction in the number of accidents. This result is achieved through a systematic approach that includes pre-drilling wells in areas with high gas content, installation of filter strings to control gas inflow, and continuous monitoring of reservoir pressure.

The economic effect of technology is manifested in two aspects. First, operating costs are reduced: mine ventilation costs are reduced by 25–30% by reducing the volume of harmful gases that

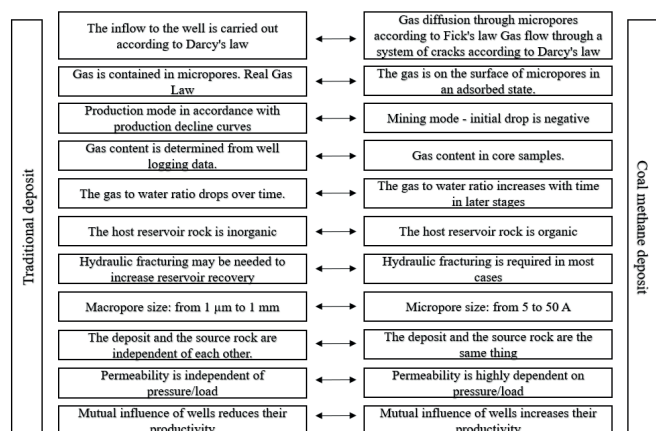


Figure 2. Comparative diagram of the main parameters of coal methane deposits and conventional gas fields.

Сурет 2. Көмір метаны кен орындарының және кәдімгі газ кен орындарының негізгі параметрлерінің салыстырмалы диаграммасы.

Рис. 2. Сравнительная диаграмма основных параметров месторождений каменноугольного метана и традиционных газовых месторождений.

need to be removed. Secondly, the methane extracted during the degassing process becomes an additional source of income. For example, with an average well capacity of 500 m³/h, the monthly production volume can reach 360 thousand m³, which is equivalent to a significant profit at current market gas prices. This model is particularly relevant for deep fields (over 1,000 meters), where traditional ventilation methods are not efficient enough and the risks of sudden methane releases are highest.

An important element of success was the optimization of the geometry of wells and their operating modes. Using mathematical modeling, it was possible to determine the optimal intervals between wells (15–20 meters) and the depth of their laying, which ensured uniform gas extraction without disturbing the stability of coal seams. In addition, an early warning system was introduced, which records changes in the gas composition in real time, which made it possible to quickly adjust the degassing parameters.

The practical implementation of the technology in the conditions of the Karaganda basin confirmed its adaptability to

complex geological conditions. Over the course of 12 months of testing at a depth of 1,200–1,500 meters, it was possible to stabilize the gas background, reducing the number of emergency shutdowns by 45%. At the same time, the volume of commercially used methane amounted to 2.8 million m³, which is equivalent to the replacement of 3,640 tons of coal in the region's energy balance.

Prospects for further development are associated with the integration of automated control systems that can improve the accuracy of forecasting gas emissions and minimize the human factor. It is already obvious that the transition from reactive mitigation to preventive management of gas emissions not only increases safety, but also opens up new opportunities for the sustainable development of the coal industry in the context of the global course towards decarbonization.

Conclusion

The application of foreign experience in the production of methane from coal seams in the conditions of Kazakhstani deposits is of significant interest from the point of view of improving the safety, economic efficiency and environmental sustainability of coal mining. An analysis of world experience, including technologies for horizontal drilling, hydraulic fracturing and system degassing, demonstrates a high potential for adapting these methods to local geological conditions, especially in the Karaganda basin with its projected methane reserves. The key success factors are the development of the regulatory framework, investments in infrastructure and the introduction of modern methods for assessing reserves, which will not only reduce the risks of emissions, but also integrate coalbed methane into the country's energy system. Taking into account environmental aspects, such as reducing greenhouse gas emissions, will further increase the importance of this area in the context of global decarbonization. To realize this potential, a comprehensive solution to geological, technological and economic problems is required, taking into account the best world practices.

Acknowledges

The study was carried out with the financial support of the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Program-targeted funding No. BR24993009).

REFERENCES

1. Gusev N.I., Konstantinov A.A. *Obzor sovremennykh tekhnologii v oblasti dobychi metana ugol'nykh plastov [Review of modern technologies in the field of methane production of coal seams], Novye tekhnologii v gazovoi otrasli: opyt i preemstvennost' [New technologies in the gas industry: experience and continuity]. 2022. No. 5. 41–42 pp. (in Russian)*
2. *Technical System and Prospects of Accurate Methane Extraction Throughout the Life Cycle of Coal Mining with the Goal of «Carbon Peak and Carbon Neutrality» / Pengfei Ji [et al.] // Geoenergy Science and Engineering. 2024 No. 7. 1–5 pp. (in English)*
3. Pazyuchenko M.A. *Ekonomicheskaya i ekologicheskaya dobychi metana iz ugol'nykh plastov [Economic and ecological production of methane from coal seams], Ekonomicheskie sistemy [Economic Systems]. 2023. No. 2. 173–179 pp. (in Russian)*
4. Yuping Xu., Ting Liu, Baiquan Lin. *Theory of Multidisciplinary Connections and Progress of Methane Extraction Studies in Deep Coal Seams: A Review // Journal of Science and Technology of Natural Gas. 2022. No. 11. 1–4 pp. (English)*
5. Kappar R.S., Ospanova B.R. *K voprosu o izvlechenii metana iz ugol'nykh plastov shakht karagandinskogo regiona [On the issue of extracting methane from coal seams of mines in the Karaganda region], Uspekhi v nauke i obrazovanii [Achievements in science and education]. 2024. 25–29 pp. (in Russian)*

6. *Poiskovye eksperimental'nye raboty po dobyche metana ikh vyrabotannykh prostranstv ugol'nykh shakht [Search Experimental Works on Methane Extraction of Their Exhausted Spaces of Coal Mines], Slastunov S.V. [et al.], Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining information and analytical bulletin]. 2021. No. 5. 134–142 pp. (in Russian)*
7. *Yanjie Zhang., Kolesnik Yu.I. Sovremennye tekhnologii dobychi metana v Kitae iz ugol'nykh plastov: Tendentsii i perspektivy razvitiya [Modern Technologies for Methane Production in China from Coal Seams: Trends and Development Prospects], Elektronnyi nauchnyi zhurnal Baikalskogo gosudarstvennogo universiteta [Electronic Scientific Journal of the Baikal State University]. 2022. No. 2. 1–10 pp. (in Russian)*
8. *Chernyaev M.V., Mazurchuk T.M. Ekonomicheskaya effektivnost' zablagovremennogo izvlecheniya metana iz ugol'nykh plastov v sovremennykh usloviyakh [Economic Efficiency of Advance Methane Extraction from Coal Seams in Modern Conditions], Ekonomicheskie sistemy [Economic Systems]. 2022. V. 15. No. 4. 165–175 pp. (in Russian)*
9. *Marek Borowski, Klaudia Zwolinska Gladys, Jianwei Cheng. Methane Emissions from Coal Mines: Quantification, Capture, and Utilization Strategies for Atmospheric Impact Mitigation – A Case Study from Poland // MDPI. 2025. No. 2. 1–26 pp. (in English)*
10. *Zablagovremennaya degazatsiya ugol'nykh plastov i dobycha metana ugol'nykh plastov. Problemy i perspektivy razvitiya [Advance degassing of coal seams and methane production of coal seams. Problems and prospects of development], Loginov A.K. [et al.], Ugol' [Coal]. 2024. No. 10. 62 p. (in Russian)*
11. *Odintsev V.N., Miletenko N.A., Fedorov E.V. Modelirovanie geomekhanicheskikh uslovii skvazhinnoi dobychi metana iz ugol'nogo plasta [Modeling of Geomechanical Conditions of Methane Borehole Production from a Coal Seam], Nauka o Zemle [Science of the Earth]. 2024. No. 1. 510–521 pp. (in Russian)*
12. *Razrabotka tekhnologicheskikh kriteriev otsenki dlya vybora perspektivnykh uchastkov dobychi ugol'nogo metana [Development of technological evaluation criteria for the choice of promising areas of coal methane production], Musin R.A. [et al.], Ugol' [Coal]. 2024. No. 4. 102–107 pp. (in Russian)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Гусев Н.И., Константинов А.А. Көмір жіктерінің метан өндіру саласындағы қазіргі заманғы технологияларға шолу // Газ саласындағы жаңа технологиялар: тәжірибе және сабақтастық. 2022. № 5. Б. 41–42 (орыс тілінде)*
2. *«Көміртегі шыңы және көміртекті бейтараптық» мақсатымен көмір өндірудің бүкіл өмірлік циклі бойы метанды дәл өндірудің техникалық жүйесі мен перспективалары. / Пенгфей Ци [және т. б.] // Геоэнергетика ғылымы және инжиниринг. 2024 № 7. Б. 1–5 (ағылшын тілінде)*
3. *Пазюченко М.А. Көмір жіктерінен метанды экономикалық және экологиялық өндіру // Экономикалық жүйелер. 2023. № 2. Б. 173–179 (орыс тілінде)*
4. *Көп бейінді байланыстар теориясы және терең көмір жіктерінде метанды экстракциялауды зерттеу барысы: Шолу / Юпин Сюй [және т. б.] // Табиғи газдың ғылым және технологиялар журналы. 2022. № 11. Б. 1–4 (ағылшын тілінде)*
5. *Қаппар Р.С., Оспанова Б.Р. Қарағанды облысындағы шахталардың көмір жіктерінен метан алу мәселесі туралы // Ғылым мен білім берудегі жетістіктер. 2024. Б. 25–29 (орыс тілінде)*
6. *Көмір шахталарының таусылған кеңістіктерін метанмен өндіру жөніндегі тәжірибелік-ізвестіру жұмыстарын жүргізу / Славунин С.В. [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. 2021. № 5. Б. 134–142 (орыс тілінде)*
7. *Янджи Чжан., Колесник Ю.И. Көмір жіктерінен Қытайда метан өндірудің қазіргі заманғы технологиялары: даму үрдістері мен перспективалары // Байкал мемлекеттік университетінің электрондық ғылыми журналы. 2022. № 2. Б. 1–10 (орыс тілінде)*
8. *Черняев М.В., Мазурчук Т.М. Қазіргі заманғы жағдайларда көмір жіктерінен метанды алдын ала алудың экономикалық тиімділігі // Экономикалық жүйелер. 2022. Т. 15. № 4. Б. 165–175 (орыс тілінде)*
9. *Мареk Боровский, Клавдия Зволинска Гладис, Цзяньвэй Чэн. Көмір шахталарынан метан шығарындылары: атмосфералық әсерді жеңілдету үшін сандық бағалау, түсіру және пайдалану стратегиялары – Польшадан кейс-зерттеу // MDPI. 2025. № 2. Б. 1–26 (ағылшын тілінде)*
10. *Көмір жіктерін алдын ала газдау және көмір жіктерінің метан өндірісі. Даму проблемалары мен перспективалары / Логинов А.К. [және т. б.] // Көмір. 2024. № 10. Б. 62 (орыс тілінде)*
11. *Одинцев В.Н., Милетенко Н.А., Федоров Е.В. Көмір жіктерінен метанды бореол өндірудің геомеханикалық жағдайларын модельдеу // Жер туралы ғылым. 2024. № 1. Б. 510–521 (орыс тілінде)*
12. *Көмір метанын өндірудің перспективалық бағыттарын таңдау бойынша технологиялық бағалау критерийлерін әзірлеу / Мусин Р.А. [және т. б.] // Көмір. 2024. № 4. Б. 102–107 (орыс тілінде)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Гусев Н.И., Константинов А.А. Обзор современных технологий в области добычи метана угольных пластов // Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность. 2022. № 5. С. 41–42 (на русском языке)*
2. *Техническая система и перспективы точного извлечения метана на протяжении всего жизненного цикла добычи угля с целью «углеродного пика и углеродной нейтральности» / Пэнфэй Ци [и др.] // Геоэнергетическая наука и инженерия. 2024 № 7. С. 1–5 (на английском языке)*

3. Пазюченко М.А. Экономическая и экологическая добычи метана из угольных пластов // Экономические системы. 2023. № 2. С. 173–179 (на русском языке)
4. Теория многопрофильных связей и прогресс исследований извлечения метана в глубоких угольных пластах: обзор / Юпин Сью [и др.] // Журнал науки и техники природного газа. 2022. № 11. С. 1–4 (на английском языке)
5. Каппар Р.С., Оспанова Б.Р. К вопросу о извлечении метана из угольных пластов шахт карагандинского региона // Успехи в науке и образовании. 2024. С. 25–29 (на русском языке)
6. Поисковые экспериментальные работы по добыче метана их выработанных пространств угольных шахт / Сластинов С.В. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 5. С. 134–142 (на русском языке)
7. Яньцзе Чжан., Колесник Ю.И. Современные технологии добычи метана в Китае из угольных пластов: Тенденции и перспективы развития // Электронный научный журнал Байкальского государственного университета. 2022. № 2. С. 1–10 (на русском языке)
8. Черняев М.В., Мазурчук Т.М. Экономическая эффективность заблаговременного извлечения метана из угольных пластов в современных условиях // Экономические системы. 2022. Т. 15. № 4. С. 165–175 (на русском языке)
9. Марек Боровски, Клаудия Зволинска Глэдис, Цзяньвэй Ченг. Выбросы метана из угольных шахт: стратегии количественной оценки, улавливания и использования для смягчения атмосферного воздействия – тематическое исследование из Польши // MDPI. 2025. № 2. С. 1–26 (на английском языке)
10. Заблаговременная дегазация угольных пластов и добыча метана угольных пластов. Проблемы и перспективы развития / Логинов А.К. [и др.] // Уголь. 2024. № 10. С. 62 (на русском языке)
11. Одинцев В.Н., Милетенко Н.А., Федоров Е.В. Моделирование геомеханических условий скважинной добычи метана из угольного пласта // Наука о Земле. 2024. № 1. С. 510–521 (на русском языке)
12. Разработка технологических критериев оценки для выбора перспективных участков добычи угольного метана / Мусин Р.А. [и др.] // Уголь. 2024. № 4. С. 102–107 (на русском языке)

Information about the authors:

Zamaliyev N.M., Ph.D, Associate Professor of the Department of Development of Mineral Deposits, Non-P» (Karaganda, Kazakhstan), nailzamaliyev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0628-2654>

Akhmatnurov D.R., Ph.D, Head of the Testing Laboratory «Methane Energy in the Mining and Metallurgical Complex» of the Non-Profit Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan), d_akhmatnurov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9485-3669>

Musin R.A., Ph.D, Associate Professor of the Department of Development of Mineral Deposits, Non-Profit Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan), R.A.Mussin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1206-6889>

Demin V.F., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Development of Mineral Deposits, Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov KarTU» (Karaganda, Kazakhstan), vladfdeemin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1718-856X>

Авторлар туралы мәліметтер:

Замалиев Н.М., Ph.D докторы, «Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының пайдалы қазбалар кен орындарын игеру кафедрасының доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Ахматнұров Д.Р., Ph.D докторы, «Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Тау-кен металлургия кешеніндегі метан энергетикасы» сынақ зертханасының меңгерушісі (Қарағанды қ., Қазақстан)

Мусин Р.А., Ph.D докторы, «Әбілқасым Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының пайдалы қазбалар кен орындарын игеру кафедрасының доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Демин В.Ф., т.ғ.д., «Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Замалиев Н.М., Ph.D доктор, доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Ахматнұров Д.Р., Ph.D доктор, руководитель испытательной лаборатории «Метановая энергетика в горно-металлургическом комплексе» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Мусин Р.А., Ph.D доктор, доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Демин В.Ф., д.т.н., профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «КарТу им. Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Код МРНТИ 52.47.15

*М.Т. Камалов, Ф.У. Аширов, И.И. Рахимхонов

ГУ «Институт минеральных ресурсов» при Университете геологических наук
Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан
(г.Ташкент, Узбекистан)

О ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ НА ОСНОВЕ ДВОЙНЫХ БУРИЛЬНЫХ КОЛОНН И МНОГОЛЕТНЕМ ОПЫТЕ СОЗДАНИЯ УНИКАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ В УЗБЕКИСТАНЕ

Аннотация. В настоящее время в мире одним из прогрессивных технических средств бурения геологоразведочных скважин являются системы на основе двойных бурильных колонн для получения качественных шламовых проб в сложных геологических условиях. В статье перечислены множество неоспоримых преимуществ этих систем. Большое внимание уделено многолетнему опыту Среднеазиатского научно-исследовательского института геологии и минерального сырья (ныне Государственное учреждение «Институт минеральных ресурсов») по созданию уникальных комплексов для опробования по шламу на основе двойных бурильных колонн в Узбекистане. Приводятся итоги полевых испытаний этих технических средств в производственных условиях и отмечены главные их недостатки. В качестве решения этих недостатков предложены несколько патентов на изобретение усовершенствованных конструкции двойных бурильных колонн. Дается краткое описание конструкции по этим изобретениям.

Ключевые слова: комплексы для опробования по шламу, двойные бурильные колонны, трехшарошечное буровое долото, пакер-калибратор, вертляг-сальник, резиновые втулки.

Қосарланған бұрғылау колонналары негізіндегі техникалық құралдар және Өзбекстанда бірегей кешендер құрудың көпжылдық тәжірибесі туралы

Андатпа. Қазіргі уақытта әлемде геологиялық барлау ұңғымаларын бұрғылаудың прогрессивті техникалық құралдарының бірі күрделі геологиялық жағдайларда сапалы шлам сынамаларын алу үшін қос бұрғылау бағаналары негізіндегі жүйелер болып табылады. Мақалада осы жүйелердің көптеген даусыз артықшылықтары көрсетілген. Орта Азия геология және минералдық шикізат ғылыми-зерттеу институтының (қазіргі «Минералдық ресурстар институты» Мемлекеттік мекемесі) Өзбекстанда қосарланған бұрғылау колонналары негізінде шлам алынатын кешендер құру жөніндегі көп жылдық тәжірибесіне көп көңіл бөлінді. Осы техникалық құралдардың өндірістік жағдайлардағы далалық сынақтарының қорытындылары келтіріледі және олардың басты кемшіліктері белгіленеді. Осы кемшіліктерді шешу ретінде екі бұрғылау колонналарының жетілдірілген конструкцияларын өнертабуға бірнеше патенттер ұсынылды. Осы өнертабыстар бойынша конструкцияның қысқаша сипаттамасы беріледі.

Түйінді сөздер: шлам бойынша сынамалауға арналған кешендер, қос бұрғылау бағаналары, үш шаршалы бұрғылау қашауы, пакер-калибратор, айналмалы сальник, резеңке төлкелер.

About technical means based on double drill columns and many years of experience in creating unique complexes in Uzbekistan

Abstract. Currently, one of the most advanced technologies for drilling geological exploration wells worldwide is double drill columns systems for obtaining high-quality cuttings samples in complex geological conditions. This article lists the many undeniable advantages of these systems. Considerable attention is given to the long-standing experience of the Central Asian research Institute of geology and mineral raw materials (now the State institution «Institute of mineral resources») in developing of unique complexes for obtaining sludge based on double drill columns in Uzbekistan. The results of field testing of these technologies under production conditions are presented, and their main shortcomings are highlighted. Several patents for improved double drill columns designs are proposed as a solution to these shortcomings. A brief description of the design of these inventions is provided.

Key words: mud testing systems, double drill columns, three-cone drill bit, packer-calibrator, swivel-gland, rubber bushings.

Введение

В последнее время для повышения эффективности проводимых геологоразведочных работ в сложных условиях на производство все более широко привлекаются передовые, вместе с тем высокотехнологичные технико-технологические средства бурения и опробования скважин. Одним из таких прогрессивных технико-технологических средств бурения и опробования скважин являются различные буровые системы на основе двойных бурильных колонн с получением качественных шламовых проб по их внутренним каналам в сложных геологических условиях.

Использование на производстве буровых систем на основе двойных бурильных колонн обеспечивает целый ряд неоспоримых преимуществ, основными из которых являются:

- обеспечение 100% непрерывного отбора незагрязненного бурового шлама практически в любых геолого-технических условиях бурения из достаточно глубоких скважин, что, в свою очередь, обеспечивает точность привязки;
- повышение производительности буровых работ за счет увеличения механической скорости углубки, что при-

водит к снижению затрат по сравнению с традиционным способом бурения;

- увеличение рабочего ресурса породоразрушающего инструмента за счет высоких скоростей углубки.

Несмотря на вышеотмеченные преимущества, данный способ имеет недостатки, основными из которых являются:

- невозможность бурения в геологических разрезах с сильными водопритоками;
- дороговизна и высокотехнологичность используемых инструментов, а также оборудования, что требует от бурового персонала специальных знаний и опыта.

Методы исследования

Настоящие исследования базируются на сборе, научном анализе, обобщении и систематизации информативных материалов по ранее проведенным научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам в области разработки комплексов для опробования по шламу, а также по дальнейшему усовершенствованию их конструкции. Во второй половине прошлого века у истоков создания первых прототипов двойных бурильных колонн стояли

такие компании, как Wirt (Германия), State Oil Tool (США), Konrad Starck (Нидерланды), Bakerdream (США) и др. [1]. В настоящее время, из-за различных причин практически все эти компании распались, либо реорганизованы и входят в состав крупных научно-производственных конгломератов. Запатентованные этими компаниями двойные бурильные колонны для своего времени являлись большим прогрессом в бурении. Тем не менее, они имели множество недостатков, главным из которых являются большие потери очистного агента в соединениях, в особенности во внутренних узлах колонны.

Современные технические средства на основе двойных бурильных колонн для геологоразведочного бурения на твердые полезные ископаемые

В данное время лидерами в разработке современных технических средств на основе двойных бурильных колонн, в основном, являются компании из Северной Америки, Европы и Австралии. За рубежом современные буровые системы на основе двойных бурильных колонн классифицируются как технические средства для RC бурения (Reverse Circulation, в переводе «обратная циркуляция»). Эти технические средства условно можно разделить на три группы:

1. RC-бурение с использованием кольцевых пневмоударников;
2. RAB (Rotary Air Blast, в переводе «вращающаяся воздушная струя»);
3. Air Core (в переводе «воздушный керн»).

В настоящее время, особенно в Австралии, среди большого числа потребителей по всему миру огромной популярностью пользуются RC инструменты, комплектующие узлы и детали таких производителей, как Metzke Pty Ltd¹ и Harlsan Pty Ltd².

В 2010 году в производственные предприятия Государственного комитета по геологии и минеральным ресурсам Республики Узбекистан (ныне Министерство горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан) была внедрена технология бурения сжатым воздухом вертикальных и наклонных скважин глубиной до 300 м в сложных геологических условиях самоходной буровой установкой Explorac-220RC компании Atlas Copco³ (Швеция) на базе автомобиля Scania (8x8) (рис. 1).

Технология бурения самоходной буровой установкой Explorac-220RC основана на использовании двойной бурильной колонны, позволяющая отбирать качественные шламодовые пробы из внутреннего ее канала в сложных геологических разрезах. Работы по внедрению данной технологии были начаты на производственном участке вблизи г. Алмалык, где из-за наличия множества водопри токов в геологическом разрезе ранее никогда не бурились геологоразведочные скважины с отбором шламодовых проб. В процессе внедрения при бурении с помощью мощного (30 bar) винтового компрессора Atlas Copco XRV 10 установки, удалось приостановить водопри токи в геологическом разрезе участка и отобрать большое количество



Рис. 1. Самоходная буровая установка Explorac-220RC компании Atlas Copco (Швеция) в процессе бурения геолого-разведочных скважин сжатым воздухом с использованием двойной бурильной колонны в сложных геологических условиях вблизи г. Алмалык.

Сурет 1. Atlas Copco (Швеция) компаниясының Explorac-220RC өздігінен жүретін бұрғылау қондырғысы Алмалық қаласының күрделі геологиялық жағдайларында қос бұрғылау колоннасын пайдалана отырып, геологиялық барлау ұңғымаларын сығылған ауамен бұрғылау процесінде.

Figure 1. Self-propelled drilling rig Explorac-220RC of the company Atlas Copco (Sweden) in the process of drilling geological exploration wells with compressed air using a double drill string in difficult geological conditions near the city of Almalyk.

незагрязненных проб шлама сжатым воздухом. При бесспорных преимуществах данной технологии, тем не менее, выявлен ряд негативных моментов, в первую очередь, связанных с высокой стоимостью, как самой самоходной буровой установки Explorac-220RC, так и используемых при ее эксплуатации расходных материалов, деталей, комплектующих узлов и инструментов. Одним из самых важных негативных аспектов эксплуатации данной буровой установки было то, что регулярные чрезмерно высокие амортизационные отчисления в государственных компаниях стали непосильной ношей во многих буровых бригадах, где применялась данная современная самоходная буровая установка. В этой связи, одним из перспективных направлений решения данного вопроса является создание собственных современных технико-технологических средств по доступным ценам для бурения и опробования скважин на основе двойных бурильных колонн в сложных геологических условиях.

Многолетний опыт создания уникальных комплексов для опробования по шламу в Узбекистане

В бывшем Советском Союзе единственным разработчиком технических средств на основе двойных бурильных колонн был Среднеазиатский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья («САИГИМС»),

¹Официальный веб-сайт компании Metzke Pty Ltd. URL: <https://metzke.com.au/> (дата обращения: 14.11.2025).

²Официальный веб-сайт компании Harlsan Pty Ltd. URL: <https://www.harlsan.com.au/> (дата обращения: 14.11.2025).

³Официальный веб-сайт компании Atlas Copco. URL: <https://www.atlascopco.com/> (дата обращения: 14.11.2025).

ныне Государственное учреждение «Институт минеральных ресурсов», ГУ «ИМР»), находящийся в Узбекистане. В конце 80-х годов прошлого века ведущие специалисты отдела техники и технологии опробования скважин данного института Ю.В. Бескровный, В.И. Черкасов, Ю.П. Тихонов, Н.С. Лазарев и др. разработали, изготовили и испытали несколько разновидностей уникальных в своем роде комплексов для опробования по шламу (КОШ) на основе двойных бурильных колонн (таблица 1).

Из-за множества недостатков в комплексах, они не были доведены до серийного производства, так и остались на стадии апробирования опытных образцов в производственных условиях.

Особое внимание обращают работы, выполненные в 1988 году по бюджетной теме «Разработка комплекса технических средств шламоотбора для бурения вертикальных бескерновых скважин диаметром 76 мм глубиной до 300 м (КОШ-76-300) в сложных геологических условиях» [2]. Все технические документы и полный пакет эскизов, а также чертежей деталей, основных узлов и инструментов комплекса выполнялись собственными силами отдела.

В процессе проведения опытно-конструкторских работ на основные узлы комплекса и на варианты их применения со стороны ведущих специалистов отдела были получены множество авторских свидетельств [3, 4, 5]. В качестве исходного материала для изготовления двойных бурильных труб использовались стандартные бесшовные трубы геолого-разведочного сортамента российского производства.

Главными составными элементами КОШ-76-300 являются: трехшарошечное буровое долото диаметром бурения 76 мм, пакер-калибратор, двойная бурильная колонна, состоящая из отдельных 3-х метровых двойных бурильных труб с наружным диаметром 73 мм (толщина стенки 3,5 мм), вертлюг-сальник и шламоборник. Основные узлы комплекса изготавливались в местных специализированных предприятиях под авторским надзором сотрудников отдела. Резинотехнические изделия, входящие в состав комплекса, производились

кустарным способом в вулканизационных мастерских. Главной отличительной особенностью КОШ-76-300 является то, что конструкция рассчитана для бурения с промывочной жидкостью (вода, малоглинистый буровой раствор и т. п.).

Результаты производственных испытаний и обсуждение

Производственные испытания КОШ-76-300 проводились в различных производственных предприятиях Министерства геологии УзССР. По итогам испытаний выявлены следующие основные недостатки:

1. При бурении влажных и слабообводненных горных пород внутренний канал в призабойной части колонны забивается шламом, что приводит к остановке циркуляции и прекращению бурения.

2. Низкая герметичность в межтрубном пространстве двойной бурильной колонны (ненадежность резиновых втулок внутренних соединений), что снижает подъемную силу во внутреннем канале, и, как следствие, снижается выход шлама.

3. Частая замена резиновых втулок во внутренних соединениях двойной бурильной колонны и регулярный выход из строя подшипников в вертлюг-сальнике, что приводит к постоянным остановкам процесса бурения.

4. Достаточно большой вес двойной бурильной трубы, что требует применения специального манипулятора для работы с тяжелыми буровыми инструментами.

В настоящее время лаборатория техники и технологии геологоразведочных работ ГУ «ИМР» является официальным и полноправным правопреемником большого массива информативных материалов, оставшихся от разработчиков комплексов для опробования по шламу в 80-х годах прошлого века. Ведущие специалисты лаборатории, имея более чем 40-летний опыт создания комплексов и с учетом вышеотмеченных недостатков, постоянно работают над усовершенствованием конструкции двойных бурильных труб.

Таблица 1

Комплексы для опробования по шламу КОШ

Кесте 1

ШАК шлам алынатын кешендер

Table 1

Complexes for obtaining sludge COS

Название разновидности КОШ	Цель создания	Состояние внедрения на производство
КОШ-76-300	Бурение наземных вертикальных и наклонных скважин диаметром 76 мм глубиной до 300 м в сложных условиях, взамен колонковых скважин с низким выходом керна.	На стадии апробирования опытных образцов комплексов (большое количество недостатков).
КОШ-46-50	Бурение опережающих горизонтальных и слабонаклонных скважин диаметром 46 мм глубиной до 50 м из подземных горных выработок для выделения наиболее богатых рудных зон.	
КОШ-46-100	Бурение опережающих горизонтальных и слабонаклонных скважин диаметром 46 мм глубиной до 100 м из подземных горных выработок для выделения наиболее богатых рудных зон.	

В 2014 году ведущим специалистам ГП «Научно-исследовательский институт минеральных ресурсов», ныне ГУ «ИМР» удалось получить патент на изобретение новой конструкции двойной колонны бурильных труб [6]. Конструкция двойной колонны бурильных труб содержит концентрично расположенные наружные и внутренние трубы с узлом их соединения, имеющая ниппель и муфту. Сущность изобретения заключается в том, что ниппель оснащен металлической плашкой-фиксатором, приваренной к нему через отверстие и вставленной в кольцевые проточки муфты, при этом на обоих концах муфты выполнены выступы, входящие в кольцевые выемки, выполненные на концах внутренних труб, с образованием кольцевого замка и ребер жесткости. При этом, в данной конструкции муфта и внутренняя труба выполнены из полимерного материала. Главными недостатками данной конструкции являются:

- сложность конструкции двойной колонны бурильных труб, содержащей множество составных элементов (ниппель, муфта, плашка-фиксатор), обеспечивающих фиксацию внутренней трубы к наружной;

- использование для соединения внутренних труб полимерных материалов.

Процесс изготовления таких сложных конструкций занимает много времени и является недешевым. Из-за агрессивного влияния очистного агента с выбуренной массой горной породы на стенки внутренней трубы и на их соединения на практике сложно добиться надежной герметизации внутренней колонны при использовании полимерных материалов. Также следует отметить, что излишняя гибкость внутренней полимерной трубы может плохо сказаться на процесс обратной циркуляции очистного агента и транспортировке шлама по внутреннему каналу двойной колонны.

Взяв в качестве прототипа вышеотмеченный патент в 2024 году, нами получен очередной патент на изобретение более усовершенствованной конструкции двойной бурильной колонны [7]. Сущность изобретения заключается в том, что двойная бурильная колонна, сформированная из труб, которые состоят из концентрично расположенной наружной и внутренней трубы, закреплены посредством фиксатора. На поверхностях наружной и внутренней труб выполнены поперечно расположенные кольцевые ограничители, которые для концентричного расположения и соединения труб опираются на выполненные из меди верхний и нижний фиксаторы с центраторами в виде выступов. Верхний фиксатор на наружной поверхности имеет резьбу. Внутренняя труба, выполненная из стали, имеет верхнее соединение и нижний посадочный паз в форме усеченного конуса, для герметизации соединений внутренних труб использована сменная резиновая манжета в форме усеченного конуса.

Благодаря использованию соединений наружных и внутренних труб между собой по схеме «труба в трубу» с помощью кольцевых ограничителей и фиксаторов-стабилизаторов упрощается конструкция двойной бурильной колонны до необходимого минимального количества составных элементов. Такая компоновка двойной бурильной колонны сокращает сроки изготовления, приводит к снижению конечной себестоимости и улучшению ее эксплуата-

ционных показателей, а также в целом двойная бурильная труба становится гораздо легче. Верхнее соединение и нижний посадочный паз внутренней трубы в форме усеченного конуса в конструкции двойной бурильной колонны позволяют использовать сменные резиновые манжеты, что, в свою очередь, обеспечивает надежную герметизацию соединений внутренних труб для бурения скважин в сложных геолого-технических условиях. В отличие от прототипа в заявленной конструкции используются детали из стали, что придает дополнительную надежность внутренних труб и более продолжительные сроки их службы.

Ведущие специалисты лаборатории техники и технологии геологоразведочных работ Государственного учреждения «Институт минеральных ресурсов» постоянно работают над усовершенствованием технических средств на основе двойных бурильных колонн. В настоящее время на основе многолетнего опыта, полученных патентов и имеющихся наработок последних лет, они готовы к тесному сотрудничеству с научно-техническими подразделениями ведущих компаний мира для создания современных буровых систем на основе двойных бурильных колонн, отвечающих мировым требованиям.

Выводы

1. Одним из прогрессивных технико-технологических средств бурения и опробования скважин являются различные буровые системы на основе двойных бурильных колонн с получением качественных шламовых проб по их внутренним каналам в сложных геологических условиях.

2. Применение на производстве буровых систем на основе двойных бурильных колонн обеспечивает целый ряд неоспоримых преимуществ.

3. У истоков создания первых прототипов двойных бурильных колонн стояли Европейские и Североамериканские компании.

4. В настоящее время лидерами в разработке современных технических средств на основе двойных бурильных колонн, в основном, являются компании из Северной Америки, Европы и Австралии. Эти современные технические средства условно можно разделить на три группы: 1. RC-бурение с использованием кольцевых пневмоударников; 2. RAB и 3. Air Core.

5. Среднеазиатский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья (САИГИМС), а ныне Государственное учреждение «Институт минеральных ресурсов» в Узбекистане является единственным разработчиком уникальных комплексов для опробования по шламу (КОШ) на основе двойных бурильных колонн в постсоветском пространстве.

6. Особое внимание обращают работы по разработке комплекса технических средств шлагоотбора для бурения вертикальных бескерновых скважин диаметром 76 мм глубиной до 300 м (КОШ-76-300) в сложных геологических условиях.

7. В результате производственных испытаний КОШ-76-300 выявлено множество недостатков, главными из которых являются: при бурении влажных и слабообводненных горных пород внутренний канал в призабойной части колонны забивается шламом, а также низкая

герметичность в межтрубном пространстве двойной буровой колонны (ненадежность резиновых втулок внутренних соединений).

8. Ведущие специалисты лаборатории техники и технологии геологоразведочных работ ГУ «ИМР» постоянно работают над усовершенствованием конструкции двойных буровых труб, и за последние годы в этом направлении им удалось получить несколько патентов на изобретение.

Благодарность

Авторы выражают благодарность сотрудникам соседних геологических подразделений и работникам библиотеки ГУ «ИМР» за оказанное содействие в составлении данной статьи. Выражаем особую признательность работникам редакции журнала «Горный журнал Казахстана» за ценные советы в процессе подготовки текста статьи к публикации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абдумажитов А.А. Принципы выбора способов бурения и опробования скважин: Ташкент: Фан, 1992. 118 с. (на русском языке)
2. Бескровный Ю.В., Черкасов В.И., Тихонов Ю.П., Лазарев Н.С. и др. Разработка комплекса технических средств шламоотбора для бурения вертикальных бескерновых скважин диаметром 76 мм глубиной до 300 м (КОШ-76-300) в сложных геологических условиях: отчет по бюджетной теме 1433359/188, Ташкент, 1988, 9 с. (на русском языке)
3. А.с. СССР 350925, 1972 (на русском языке)
4. А. с. СССР 1229313 «Пакер» (на русском языке)
5. А. с. СССР 1241853 «Пробоотборник» (на русском языке)
6. Пат. UZ №IAP 04919. Двойная колонна буровых труб / Абдумажитов А.А., Насимов Ж.А., Муратов Н.Ж. ГП «Научно-исследовательский институт минеральных ресурсов», 2014 (на русском языке)
7. Пат. UZ №IAP 7669. Двойная буровая колонна / Камалов М.Т. ГУ «Институт минеральных ресурсов», 2024 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Абдумажитов А.А. Ұңғымаларды бұрғылау және сынау әдістерін таңдау принциптері: Ташкент: Фан, 1992. 118 б. (орыс тілінде)
2. Бескровный Ю.В., Черкасов В.И., Тихонов Ю.П., Лазарев Н.С. және т. б. Күрделі геологиялық жағдайларда тереңдігі 300 м (КОШ-76-300) дейінгі 76 мм тік астықсыз ұңғымаларды бұрғылауға арналған шлам іріктеудің техникалық құралдарының кешенін әзірлеу: бюджеттік тақырып бойынша есеп 1433359/188, Ташкент, 1988. 9 б. (орыс тілінде)
3. КСРО а. к. 350925, 1972 (орыс тілінде)
4. КСРО а. к. 1229313 «Пакер» (орыс тілінде)
5. КСРО а. к. 1241853 «Сынама алушы» (орыс тілінде)
6. Өнертабысқа пат. UZ № IAP 04919. Бұрғылау құбырларының қос бағаны / Абдумажитов А.А., Насимов Ж.А., Мұратов Н.Ж. «Минералдық ресурстар ғылыми-зерттеу институты» МК, 2014 (орыс тілінде)
7. Өнертабысқа пат. UZ № IAP 7669. Қос бұрғылау колоннасы / Камалов М.Т. «Минералдық ресурстар институты» ММ, 2024 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Abdumazhitov A.A. Printsipy vybora sposobov bureniya i oprobovaniya skvazhin [Principles of selecting methods of drilling and testing wells], Tashkent: Fan, 1992. 118 p. (in Russian)
2. Beskrovny Yu.V., Cherkasov V.I., Tikhonov Yu.P., Lazarev N.S. etc. Razrabotka kompleksa tekhnicheskikh sredstv shlamootbora dlya bureniya vertikal'nykh beskernovykh skvazhin diametrom 76 mm glubinoi do 300 m (KOSH-76-300) v slozhnykh geologicheskikh usloviyakh: otchet po byudzhethoi teme 1433359/188 [Development of a complex of technical means for slurry collection for drilling vertical coreless wells with a diameter of 76 mm and a depth of up to 300 m (COS-76-300) in complex geological conditions: Report on budget topic 1433359/188], Tashkent, 1988, 9 p. (in Russian)
3. A.s. SSSR 350925 [USSR A. c. 350925], 1972 (in Russian)
4. A. s. SSSR 1229313 [USSR A. c. 1229313] «Packer» (in Russian)
5. A. s. SSSR 1241853 [USSR A. c. 1241853] «Sampler» (in Russian)
6. Pat. UZ №IAP 04919. Dvoynaya kolonna buril'nykh trub [Patent for invention UZ №IAP 04919. Double drill pipe column], Abdumazhitov A.A., Nasimov Zh.A., Muratov N.Zh. GP «Nauchno-issledovatel'skii institut mineral'nykh resursov» [State enterprise «Research Institute of mineral resources»], 2014 (in Russian)
7. Pat. UZ №IAP 7669. Dvoynaya buril'naya kolonna [Patent for invention UZ №IAP 7669. Double drill column], Kamalov M.T. GU «Institut mineral'nykh resursov» [State Institution «Institute of mineral resources»], 2024 (in Russian)

Сведения об авторах:

Камалов М.Т., Ph.D, ведущий научн. сотрудник лаборатории «Техника и технология геолого-разведочных работ» Государственного учреждения «Институт минеральных ресурсов» при Университете геологических наук Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан (г. Ташкент, Узбекистан), kamal719083@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-5694-9405>

Аширов Ф.У., Ph.D, начальник лаборатории «Техника и технология геолого-разведочных работ» Государственного учреждения «Институт минеральных ресурсов» при Университете геологических наук Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан (г. Ташкент, Узбекистан), furkat-2283@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-3156-3282>

Рахимхонов И.И., инженер-технолог лаборатории «Техника и технология геолого-разведочных работ» Государственного учреждения «Институт минеральных ресурсов» при Университете геологических наук Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан (г. Ташкент, Узбекистан), rixtiyorxon@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-6832-3509>

Авторлар туралы мәліметтер:

Камалов М.Т., Ph.D, Ўзбекистан Республикасы Тау-кен өндіру өнеркәсібі және геология министрлігінің Геология ғылымдары университеті жанындағы «Минералдық ресурстар институты» Мемлекеттік мекемесінің «Геологиялық барлау жұмыстарының техникасы және технологиясы» зертханасының жетекші ғылыми қызметкері (Ташкент қ., Өзбекстан)

Аширов Ф.У., Ph.D, Ўзбекистан Республикасы Тау-кен өндіру өнеркәсібі және геология министрлігінің Геология ғылымдары университеті жанындағы «Минералдық ресурстар институты» Мемлекеттік мекемесінің «Геологиялық барлау жұмыстарының техникасы және технологиясы» зертханасының бастығы (Ташкент қ., Өзбекстан)

Рахимхонов И.И., Ўзбекистан Республикасы Тау-кен өндіру өнеркәсібі және геология министрлігінің Геология ғылымдары университеті жанындағы «Минералдық ресурстар институты» Мемлекеттік мекемесінің «Геологиялық барлау жұмыстарының техникасы және технологиясы» зертханасының инженер-технологы (Ташкент қ., Өзбекстан)

Information about the authors:

Kamalov M.T., Ph.D, Leading researcher of the laboratory of «Equipment and technology of geological exploration works» of the State institution «Institute of mineral resources» under the University of geological sciences of the Ministry of mining and geology of the Republic of Uzbekistan (Tashkent, Uzbekistan)

Ashirov F.U., Ph.D, Head of the laboratory of «Equipment and technology of geological exploration works» of the State institution «Institute of mineral resources» at the University of geological sciences of the Ministry of mining and geology of the Republic of Uzbekistan (Tashkent, Uzbekistan)

Rakhimkhonov I.I., Engineer-technologist of the laboratory of «Equipment and technology of geological exploration works» of the State institution «Institute of mineral resources» under the University of geological sciences of the Ministry of mining and geology of the Republic of Uzbekistan (Tashkent, Uzbekistan)



Machine
Building
and Metal Working

XVII

МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

2026

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛООБРАБОТКА

machinery-expo.kz

Организатор:

МБК «Атакент-Экспо»
Республика Казахстан, 050057, г. Алматы,
ул. Тимирязева, 42
Тел.: +7 (727) 275 09 11, Моб.: +7 701 477 84 18
E-mail: venera@atakentexpo.kz
www.machinery-expo.kz

Официальная поддержка:

Министерство индустрии и
инфраструктурного
развития Республики Казахстан



Казахстан, Алматы
ВЦ «Атакент»

12 - 14 МАЯ

Код МРНТИ 53.01.91

А.А. Абілберікова¹, *Е.У. Жумағалиев², Б.Т. Уахитова², Е.Ж. Шабанов²
¹Қарағанды индустриялық университеті (Теміртау қ., Қазақстан),
²ZHUBANOV UNIVERSITY (Ақтөбе қ., Қазақстан)

ФЕРРОХРОМ ҚОЖДАРЫН ҚАЙТА ӨНДЕУ: ДӘСТҮРЛІ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖӘНЕ ЖАҢА БАҒЫТТАР

Аннотация. Мақалада феррохром қождарын қайта өңдеудің дәстүрлі және заманауи технологияларына жүйелі талдау жасалған. Оларға пирометаллургиялық, гидрометаллургиялық, физика-механикалық әдістер, сондай-ақ плазмалық қайта өңдеу, биошаймалау, нанобелсендіру және тұрақты ток пештерін қолдану сияқты инновациялық тәсілдер жатады. Хромның шығымын арттыру, экологиялық жүктемені азайту және қождарды қайталама айналымға енгізу маңыздылығы атап өтілген. Негізгі параметрлер: Cr шығымы, температура, энергия сыйымдылығы және енгізу сатысы бойынша салыстырмалы бағалау жүргізілген. Ақтөбе феррокорытпа зауытында сәтті өнеркәсіптік іске асыру мысалы келтірілген. Нәтижелер ресурсты үнемдейтін және экологиялық тұрғыдан қауіпсіз шешімдерді енгізу қажеттілігін көрсетеді, бұл циркулярлық экономикаға көшу шеңберінде өзекті болып отыр.

Түйінді сөздер: феррохром қождары, қайта өңдеу әдістері, дәстүрлі тәсілдер, инновациялық әдістер, технологияларды салыстырмалы талдау, өнеркәсіптік кейс.

Ferrochrome slag processing: traditional technologies and new directions

Abstract. The article presents a systematic analysis of traditional and modern technologies for processing ferrochrome slags, including pyrometallurgical, hydrometallurgical, and physico-mechanical methods, as well as innovative approaches such as plasma processing, bioleaching, nanoactivation, and the use of DC furnaces. Emphasis is placed on improving chromium recovery, reducing environmental impact, and reintegrating slags into the secondary cycle. A comparative evaluation is provided based on key parameters: Cr recovery, temperature, energy consumption, and implementation stage. An example of successful industrial implementation at the Aktobe Ferroalloy Plant is given. The results highlight the necessity of adopting resource-efficient and environmentally safe solutions in the context of transitioning to a circular economy.

Key words: ferrochrome slags, processing methods, traditional methods, innovative methods, comparative technology analysis, industrial case.

Переработка шлаков феррохрома: традиционные технологии и новые направления

Аннотация. В статье представлен системный анализ традиционных и современных технологий переработки феррохромовых шлаков, включая пирометаллургические, гидрометаллургические, физико-механические методы, а также инновационные подходы, такие как плазменная переработка, биовыщелачивание, наноактивация и использование DC-печей. Подчеркивается важность повышения извлечения хрома, снижения экологической нагрузки и включения шлаков во вторичный оборот. Проведена сравнительная оценка по основным параметрам: извлечение Cr , температура, энергоёмкость и стадия внедрения. Приведен пример успешной промышленной реализации на Актюбинском заводе ферросплавов. Результаты подчеркивают необходимость внедрения ресурсосберегающих и экологически безопасных решений в рамках перехода к циркулярной экономике.

Ключевые слова: феррохромовые шлаки, методы переработки, традиционные методы, инновационные методы, сравнительный анализ технологий, индустриальный кейс.

Кіріспе

Феррохром – тот баспайтын және легіріленген болаттар өндірісінде стратегиялық маңызы бар қорытпа сәналады және оның өндірісі феррохром қождары түрінде айтарлықтай көлемде қатты өндірістік қалдықтардың түзілуімен қатар жүреді [1, 2]. Жоғарыкөміртекті феррохромды балқыту үдерісінде қож бен металдың массалық арақатынасы 1:1-ге дейін жетеді, бұл ретте қож құрамында 4–20% Cr_2O_3 , сондай-ақ айтарлықтай мөлшерде FeO , SiO_2 , Al_2O_3 және басқа да компоненттер қалады [3, 4]. Қождардан бөлек, Cr_2O_3 концентрациясы 40%-ға дейін жететін шанды қалдықтар да көп көлемде түзіледі, бұл қоршаған ортаға техногендік жүктемені арттырады.

Бұл қалдықтар экологиялық тұрғыдан қауіпті ғана емес, сонымен қатар әлеуетті құнды техногендік шикізат болып табылады. Алайда оларды қайта өңдеудің тиімді әрі әмбебап технологияларының болмауы салдарынан миллиондаған тонна қалдықтар үйінділерде жиналып, металл шығындарына және ферроқорытпа зауыттары орналасқан аймақтардағы экологиялық жағдайдың нашарлауына әкеледі.

Соңғы жылдары зерттеушілер мен өнеркәсіптік кәсіпорындардың назары жаңа технологиялық шешімдерді: классикалық пирометаллургиялық және гидрометаллургиялық үдерістерден бастап плазмалық қайта өңдеу, тұрақты ток пештерін (DC-пештер) қолдану, биошаймалау және нанобелсендіру сияқты инновациялық тәсілдерге дейін әзірлеуге бағытталуда [4–7].

Феррохром қождарын кәдеге жаратуға арналған ресурсты үнемдейтін, экологиялық тұрғыдан қауіпсіз және

экономикалық жағынан тиімді әдістерді әзірлеу мен енгізудің өзектілігі тек хром шығындарын азайту қажеттілігімен ғана емес, сонымен қатар айналмалы экономиканың қағидаттарына көшу қажеттілігімен де негізделеді [8]. Бұл қолданыстағы өндірістер жағдайында технологиялардың тиімділігі, тұрақтылығы және ауқымын кеңейту мүмкіндігін ескере отырып, жүйелі тәсілді талап етеді.

Мақалада феррохром қождарын қайта өңдеудің дәстүрлі және қазіргі заманғы технологиялық бағыттарына шолу жасалып, түрлі әдістердің тиімділігіне салыстырмалы талдау, сондай-ақ олардың өнеркәсіптік жетілу деңгейі, экологиялық қауіпсіздігі және экономикалық тиімділігі бойынша бағалау ұсынылады.

1. Феррохром қождарының құрамы мен физика-химиялық қасиеттері. Феррохром қождары – хромды тотықтардан тотықсыздандыру үдерісі кезінде доғалы және рудатермиялық пештерде түзілетін күрделі көпкомпонентті жүйелер. Негізгі компоненттерге Cr_2O_3 , FeO , SiO_2 , CaO , MgO , Al_2O_3 , сондай-ақ хромшпинельдер мен хромферриттер фазалары жатады. Сұйық қождардағы Cr_2O_3 концентрациясы 4–5%-ға дейін, ал шанды қалдықтарда 20–43%-ға дейін жетуі мүмкін [3, 4].

Феррохром қождарының физика-химиялық қасиеттері оларды қайта өңдеу әдістерін таңдауда шешуші рөл атқарады. Қождарға жоғары балку температурасы (1450–1650 °C) тән, бұл құрамында MgO , Cr_2O_3 және Al_2O_3 болуына байланысты [3]. Шамамен 1500 °C температурада қождардың тұтқырлығы негізділік пен тотығу дәрежесіне қарай 0,5–2,5 Па·с болады, ал тұтқырлықтың жоғары болуы металдарды алу тиімділігін төмендетеді [4].

Қождардың орташа тығыздығы – 2,8–3,5 г/см³, бұл гравитациялық сепарация әдістерін тиімді қолдануға мүмкіндік береді [3]. Құрамында SiO_2 көп көбік түзуші қождардың жылу өткізгіштігі төмен (0,5–1,0 Вт/м·К), бұл пеш ішіндегі жылу алмасуды нашарлатады.

Сонымен қатар, қождардың құрамында феррохромның ұсақ дисперсті қосындылары мен бейметалл фазалар бар, олар температуралық және химиялық градиенттер әсерінен салқындау кезінде өздігінен ұсақталуға бейім, бұл металлдарды алуы жеңілдетеді.

Сонымен, феррохром қождары – тек қауіпті техногендік қалдықтар ғана емес, сонымен қатар олардың физика-химиялық қасиеттерін ескере отырып дұрыс өндеу әдісі таңдалған жағдайда, хром, темір және басқа да элементтердің құнды көзі болып табылады.

2. Қайта өңдеудің дәстүрлі әдістері

2.1. *Физика-механикалық әдістер.* Физика-механикалық қайта өндеу ұсақтау (70 мм және ұсақ), классификация, магниттік және гравитациялық сепарация, флотация кезеңдерін қамтиды. Магниттік сепарация төмен және ортакөміртекті феррохром қождарының салқындау кезіндегі өздігінен ұсақталуға бейімділігі арқасында металлды тиімді бөліп алуға мүмкіндік береді [3]. Алдын ала ұсақтау мен магниттік сепарация арқылы, әсіресе ауа классификациясы немесе гравитациялық байыту қолданыласа металл қосындыларындағы хромның 50–60%-ын алуға болады [3, 5]. Алайда, бұл әдіс хромшпинельдер құрамындағы Cr_2O_3 сияқты химиялық тұрақты қосылыстар үшін тиімді емес және толық алу үшін пиро- немесе гидрометаллургиялық әдістер қажет [4]. 1-кестеде әдістің артықшылықтары мен кемшіліктері келтірілген [3, 4, 6].

2.1. *Пирометаллургиялық қайта өндеу.* Феррохром қождарының қайта өңделуінде ең кең таралған әдіс – электрдоғалық, индукциялық және тұрақты ток пештерінде хром мен темірді тотықсыздандыру. Тотықсыздандырғыш ретінде құрамында көміртегі пен кремний бар реагенттер қолданылады. 2-кестеде пирометаллургиялық әдістің артықшылықтары мен кемшіліктері келтірілген [3, 4].

Сондай-ақ, плазмалық газ жағу немесе индукциялық қыздыру мен көміртекті тотықсыздандыруды біріктіретін гибриді технологиялар белсенді зерттелуде. Бұл әдістер тұрақтырақ жылулық режимді қамтамасыз етеді, өндеу уақытын қысқартады [5].

2.3. *Гидрометаллургиялық үдерістер.* Феррохром қождарының гидрометаллургиялық қайта өңделуі алдын ала күйдірілген немесе механикалық белсендірілген материалдардан Cr -ді сілтілік ($NaOH$, Na_2CO_3) немесе қышқылдық (H_2SO_4 , HCl , HNO_3) ерітінділермен шаймалауға негізделген. Негізгі мақсат – хромшпинельдер мен силикаттар құрамындағы Cr (III)-ті ерігіш Cr (VI) түріне көшіру, ол үшін 800–1000 °C температурада тотықтыра күйдіру қажет [5]. Әдістің артықшылықтары мен кемшіліктері 3-кестеде көрсетілген [6].

Шаймалау үдерісі әдетте 60–90 °C температурада және рН 1,5–3,0 (қышқылды ортада) немесе рН > 10 (сілтілі ортада) жүргізіледі. Бірсатылы, тұндырумен қатар жүретін сілтілік және біріктірілген әдістер қолданылады. Ең тиімдісі – термобелсендіру мен қышқылдық шаймалауды біріктіретін екісатылы үдеріс. Қож құрамына, ұнтақтығы-

на, реагенттер концентрациясы мен шаймалау уақытына байланысты Cr алу шығымы 60–85% құрайды. Параметрлерді оңтайландырып, H_2SO_4 -ті H_2O_2 немесе $NaClO_3$ секілді тотықтырғыштармен бірге қолданғанда Cr -ді 80–85% дейін алуға болады [5, 6].

3. Заманауи және перспективті технологиялар

3.1. *Плазмалық қайта өңдеу.* Плазмалық қайта өндеу – бұл қождарды балқыту және металлдарды тотықсыздандыру үшін жоғары температуралы плазманы (3000 °C-қа дейін) пайдалануға негізделген инновациялық әдіс. Бұл әдіс отқа төзімділігі жоғары және қиын ыдырайтын қождарды, соның ішінде Cr_2O_3 пен MgO мөлшері көп құрамдарды өндеуде ерекше тиімді. Бұл мақсатта материалға тұрақты жылулық әсер етуге мүмкіндік беретін графитті немесе суытқышпен салқындатылатын электродтары бар плазмалық доғалы қондырғылар қолданылады. 4-кестеде осы әдістің артықшылықтары мен кемшіліктері [4, 5] деректеріне сүйене отырып келтірілген.

Плазманы қолдану кезінде тотықсыздандырғыш газдарды (мысалы, H_2 немесе CO) қосуға болады, бұл ортадағы тотығу деңгейін төмендетіп, хромды тотықсыздандыру тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді [8].

3.2. *Биотехнологиялар.* Биошаймалау (биоличинг) – бұл металлдарды қатты материалдардан микроорганизмдер көмегімен шығару процесі. Негізінен *Acidithiobacillus ferrooxidans* және *Leptospirillum ferrooxidans* тектес тотығушы бактериялар қолданылады, олар Cr , Fe , Mn және басқа элементтерді еріткіш формаға ауыстыру қабілетіне ие. Бұл микроорганизмдер қышқыл ортада (рН шамамен 2–3) және 25–35 °C температурада тотығу және металлдардың ерігіш түрлерінің түзілуін белсендіреді.

Биошаймалау кезінде хромды алу тиімділігі оның қождағы химиялық түріне байланысты: хромшпинель ($MgCr_2O_4$) құрамындағы Cr нашар ериді, ал аморфты тотықтар мен ұсақ қосындылар түріндегі Cr оңайырақ алынады. [5, 6] деректеріне сәйкес, биошаймалау арқылы Cr -ді алу дәрежесі 30–60% құрайды, ал алдын ала механика-химиялық белсендіру немесе термиялық өндеу бұл көрсеткішті зертханалық жағдайда 70%-ға дейін арттыруы мүмкін. Биошаймалау ұсақталған және белсендірілген қождарға ең тиімді, 25–35 °C температурада және рН ~2–3 жағдайында бірнеше күннен бірнеше аптаға дейін созылады, көбіне бағаналы немесе үйінді қондырғыларда, негізінен зертханалық ауқымда жүргізіледі. 5-кестеде [5] деректеріне негізделген әдістің артықшылықтары және [7, 9] деректеріне сәйкес кемшіліктері көрсетілген.

Биошаймалау саласындағы зерттеулер жалғасуда, әсіресе ауыр металлдарға және экстремалды орта жағдайларына төзімдірек генетикалық түрлендірілген штаммдарға бағытталған.

3.3. *Нанобелсендіру.* Феррохром қождарын қайта өндеуде нанобелсендіру, әсіресе байытуға қиын немесе химиялық бейтарап қождарда Cr бар фазалардың реакциялық қабілетін арттырудың болашағы зор әдісі ретінде қарастырылады. Бұл әдістер хромды кешенді силикатты және хромшпинель қосылыстарынан тиімді алу шарттарын жақсартуға бағытталған.

Нанобелсендіру феррохром қожына нанокұрылымды қоспалар (мысалы, нано- SiO_2 , графен тәрізді құрылымдар,

Физика-механикалық қайта өңдеудің артықшылықтары мен кемшіліктері

Кесме 1

Advantages and disadvantages of physical-mechanical processing

Table 1

Преимущества и недостатки физико-механической переработки

Таблица 1

Артықшылықтары	Кемшіліктері
<ul style="list-style-type: none"> ✓ химиялық реагенттер қолданылмайды, экологиялық таза үдеріс; ✓ металл қосындыларын жылулық өңдеусіз механикалық жолмен бөліп алу; ✓ жоғары өнімділік және желіні ұйымдастырудың қарапайымдылығы; ✓ қождың алдын ала өздігінен ұсақталуы жағдайында тиімділік жоғары. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ химиялық байланысқан Cr-ді толық ала алмау; ✓ магниттелмейтін фазаларда тиімділіктің төмендігі; ✓ жарамсыз фракцияларды кейінгі кәдеге жарату қажеттілігі; ✓ ұсақ дисперсті қосындыларға селективтіліктің төмендігі.

Кесме 2

Пирометаллургиялық қайта өңдеудің артықшылықтары мен кемшіліктері

Table 2

Advantages and disadvantages of pyrometallurgical processing

Таблица 2

Преимущества и недостатки пирометаллургической переработки

Артықшылықтары	Кемшіліктері
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cr және Fe-дің шығымы 90-95%; ✓ берілген химиялық құрамдағы феррокорытпа алу; ✓ қождар мен шанды қайта өңдеу мүмкіндігі – үдерістің әмбебаптығы. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ жоғары температура (1700 °C дейін); ✓ жоғары энергия шығыны (әсіресе дәстүрлі пештерде); ✓ ашық доғалы агрегаттарда зиянды шығарындылардың пайда болуы.

Кесме 3

Гидрометаллургиялық қайта өңдеудің артықшылықтары мен кемшіліктері

Table 3

Advantages and disadvantages of hydrometallurgical processing

Таблица 3

Преимущества и недостатки гидрометаллургической переработки

Артықшылықтары	Кемшіліктері
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cr-ді жоғары селективтілікпен алу; ✓ қождар мен шанды кешенді өңдеу; ✓ қолжетімді жабдықтар мен реагенттер; ✓ Фильтраттарды қалпына келтіру мүмкіндігі. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ бейтараптандыруды қажет ететін ұйтты сұйық қалдықтар; ✓ жоғары температурада күйдіру қажеттілігі; ✓ Cr (VI) тәрізді қауіпті қосылыстардың түзілу қаупі; ✓ үдерістің ұзақтығы және көпсатылығы.

Кесме 4

Плазмалық әдіспен қайта өңдеудің артықшылықтары мен кемшіліктері

Table 4

Advantages and disadvantages of plasma processing

Таблица 4

Преимущества и недостатки плазменной переработки

Артықшылықтары	Кемшіліктері
<ul style="list-style-type: none"> ✓ қиын балқытын қождарды флюссыз балқыту; ✓ Cr мен басқа металлдар шығымы 95%; ✓ қатты қалдықтардың аз мөлшері; ✓ үдерісті тез баптау және басқару; ✓ жергілікті және шағын қондырғыларға бейімделгіш. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ жабдық пен электр энергиясының жоғары құны; ✓ қаптамалау үшін арнайы отқа төзімді материалдардың қажеттілігі; ✓ тәжірибелік деңгейде ғана қолданылуы; ✓ үздіксіз өндірісте масштабтау және пайдаланудағы қиындықтар.

Кесме 5

Биошаймалау әдісімен қайта өңдеудің артықшылықтары мен кемшіліктері

Table 5

Advantages and disadvantages of bioleaching processing

Таблица 5

Преимущества и недостатки переработки методом биовыщелачивания

<i>Артықшылықтары</i>	<i>Кемшіліктері</i>
<ul style="list-style-type: none"> ✓ экологиялық тазалығы: уытты реагенттер қолданылмайды; ✓ жылулық әдістермен салыстырғанда энергия шығыны төмен; ✓ күрделі көп компонентті қалдықтарды қайта өңдеу мүмкіндігі. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ реакцияның баяу жүруі (бірнеше аптаға дейін); ✓ микробтық ортаны сақтау, рН, температура мен аэрацияны бақылау қажеттілігі ✓ Cr(III) концентрациясы жоғары жағдайда тиімділіктің төмендігі – алдын ала белсендіру қажет.

Fe_3O_4 және көміртекті нанотүтікшелер) енгізуді көздейді. Бұл жалпы реакциялық бетті ұлғайтуға, қож құрылымын түрлендіруге, сондай-ақ Cr_2O_3 тотықсыздандыру кезінде жылу беру мен каталитикалық әсерлерді жақсартуға ықпал етеді.

Лазерлік белсендіру хромшпинельдердің кристалдық торын жергілікті қыздыру және бұзу әдісі ретінде зерттелуде, бұл хромды кейінгі селективті тотықсыздандыруды жеңілдетеді.

[5, 6] деректеріне сәйкес, нанокұрылымды активаторларды қолдану хромды алуды дәстүрлі әдістермен салыстырғанда 15–20%-ға арттыруы мүмкін, ал термиялық немесе механика-химиялық белсендірумен үйлестірілгенде бұл көрсеткіш 70–80%-ға дейін жетеді. Бұл технологиялар зертханалық зерттеу кезеңінде болғанымен, байытуға қиын феррохром қождарын кәдеге жаратуда жоғары әлеует көрсетіп отыр. 6-кестеде [5, 6] деректеріне негізделген әдістің артықшылықтары және [6, 7] бойынша кемшіліктері келтірілген.

3.4. *Феррохром қождарын қайта өңдеуге арналған тұрақты ток пештері (DC-пештер)*. Тұрақты ток электр пештері (DC furnaces) феррохром өндірісінің ұсақ дисперсті техногендік қалдықтарын – шаң, ұсақталған қож және флотациялық концентраттарды қайта өңдеуде барған сайын танымал болуда. Дәстүрлі айнымалы ток доғалы пештерінен айырмашылығы, DC-пештер алдын ала агломерациясыз материалды өңдеуге мүмкіндік береді, бұл технологиялық үдерісті едәуір жеңілдетіп, арзандатады [3, 4].

Бұл технологияда ток жоғарғы жағынан графит электрод арқылы беріліп, түбіндегі футеровка арқылы қайтарылатын ток жүйесі қолданылады. Бұл ваннаның тұрақты формасын қамтамасыз етіп, Cr_2O_3 -ті терең тотықсыздандыруға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, жылу режимін шикізат түріне – қож, шаң немесе концентрат – қарай икемді түрде реттеуге болады. 7-кестеде әдістің [3, 7] деректеріне негізделген артықшылықтары және [7] бойынша кемшіліктері келтірілген.

4. *Технологияларды салыстырмалы бағалау: хромды алу басымдығы – тиімділіктің негізгі критерийі*. Феррохром қождарын қайта өңдеудің барлық қарастырылған технологияларында өз артықшылықтары мен елеулі шектеулері бар. Бұл әдістер энергия шығыны, экологиялық қауіпсіздік, технологиялық күрделілік және енгізу

құны бойынша ерекшеленеді. Осы технологиялардың негізгі сипаттамаларын көрнекі түрде салыстыру 8-кестеде берілген, онда олардың артықшылықтары, кемшіліктері және хромды алу деңгейі жинақталған.

5. *Индустриялық кейс: феррохром қождарын кешенді қайта өңдеу – Ақтөбе ферроқорытпа зауыты (ERG Recycling)*. ERG Recycling негізінде Ақтөбе ферроқорытпа зауытында жүзеге асырылған жоба феррохром қождарын кешенді өңдеудің тиімді үлгісін көрсетеді. Бұл тәжірибе механика-физикалық өңдеу, брикеттеу және концентраттарды қайта балқыту арқылы қалдықтарды азайтып, хром концентраттары мен құрылыс материалдарын алуға мүмкіндік берді.

1) *Қож үйінділерін қайта өңдеу* – жылына 50 мың тоннадан басталып, 500 мың тоннаға дейін ұлғайту жоспарланған. Нәтижесінде хром концентраты мен инертті құрылыс материалдары (қиыршық тас, құм) алынады.

2) *Шаң мен қалдықтарды брикеттеу* – газтазалау шаңы мен ұсақ дисперсті қождар негізінде хром брикеттерін өндірудің бірегей технологиясы енгізілді. Бұл брикеттер қайта балқыту үдерісіне қайтарылады.

3) *Қожды пневмосепарациялау (0–5 мм фракция)* – құрғақ байыту технологиясы бірнеше өнім береді: хром концентраты (қайта балқытуға), минералдық ұнтақ және құрылыс материалдары.

4) *Бетон өндірісі* – қождар бетон мен темірбетон бұйымдарына сертификатталған толтырғыш ретінде қолданылады. Комплекс сағатына 30 м³-ке дейін жоғары маркалы бетон өндіреді.

5) *«Қиыршық тас» жобасы* – жыл сайын жол және азаматтық құрылыста қолданылатын 1 млн тоннаға дейін инертті қож сатылады. Өнім сертификатталған және тұрақты зертханалық бақылаудан өтеді [10].

Экономикалық және экологиялық нәтижелер – қож үйінділерінің көлемін айтарлықтай қысқарту, концентраттарды қайта пайдалану арқылы хромды алудың артуы, қалдықтардан сұранысқа ие өнімдер (тауарлық бетон, құрылыс блоктары, минералды ұнтақ) шығару, сондай-ақ табиғи инертті материалдарға тәуелділікті азайту. ERG Recycling жобасы – феррохром қалдықтарын жоғары тиімділікпен және кең өнім ассортиментімен қайта өңдеудің өнеркәсіптік тұрғыда жүзеге асырылатын тұйық

Нанобелсендіру әдісімен қайта өңдеудің артықшылықтары мен кемшіліктері

Кесте 6

Advantages and disadvantages of nanoactivation processing

Table 6

Преимущества и недостатки переработки феррохромовых шлаков

Таблица 6

Артықшылықтары	Кемшіліктері
<ul style="list-style-type: none"> ✓ пассивті <i>Cr</i>-фазаларды белсендіру; ✓ тотықсыздандыру температурасын төмендету; ✓ кождарды өндірістік циклге тиімдірек интеграциялау. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ наноматериалдардың жоғары құны; ✓ дозалар мен режимдерді дәл таңдау қажеттілігі; ✓ өнеркәсіптік сынақтардың болмауы; ✓ масштабтаудағы қиындықтар.

Кесте 7

Плазмалық әдіспен қайта өңдеудің артықшылықтары мен кемшіліктері

Advantages and disadvantages of plasma processing

Table 7

Преимущества и недостатки плазменной переработки

Таблица 7

Артықшылықтары	Кемшіліктері
<ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Cr</i> және <i>Fe</i>-ні 90–95% дейін тиімді алу; ✓ ұсақ фракцияларды алдын ала дайындықсыз қайта өңдеу; ✓ дәстүрлі пештермен салыстырғанда энергия шығыны төмен; ✓ шығарындылардың азаюы, жылуды рекуперациялау; ✓ жаңартылатын энергия көздерінен (мысалы, күн электр станциялары) жұмыс істеу мүмкіндігі; ✓ қайталама кождарды құрылысқа немесе қайта балқытуға пайдалану. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ қондырғы мен инфрақұрылымның жоғары құны; ✓ қолданыстағы өндіріс жүйесіне интеграциялау күрделі; ✓ футеровканың тозуы және оны тұрақты ауыстыру қажеттілігі; ✓ ірі өндірістік орталықтардан тыс шектеулі қолдану.

Кесте 8

Феррохром кождарын қайта өңдеу технологияларының негізгі параметрлері бойынша салыстырмалы сипаттамасы

сипаттамасы

Table 8

Comparative characteristics of ferrochrome slag processing technologies based on key parameters

Таблица 8

Сравнительная характеристика технологий переработки феррохромовых шлаков по основным параметрам

Технологиялар	Хромның шығымы, %	Температура, °C	Энергия сыйымдылығы	Енгізу сатысы
Пирометаллургия	90–95	1300–1700	Высокая	Өнеркәсіптік
Гидрометаллургия	60–85	300–1000	Средняя	Пилоттық
Физика-механикалық әдістер	50–60	RT	Низкая	Өнеркәсіптік
Плазмалық қайта өңдеу	95	2000–3000	Очень высокая	Эксперименттік
Биошаймалау	30–60	25–35	Низкая	Зертханалық
Нанобелсендіру	70–80	до 1000	Средняя	Зертханалық
DC-пештер	90–95	>1600	Средняя	Өнеркәсіптік

циклді моделін көрсетеді. Бұл модель металлургия мен құрылыс саласын қатар қамтиды.

Қорытынды

Феррохром кождарын қайта өңдеудің заманауи және дәстүрлі әдістерін талдау әр технологияның техникалық, экономикалық және экологиялық факторларға байланысты артықшылықтары мен шектеулері бар екенін көрсетті.

Тиімділіктің негізгі критерийі – хромды алу дәрежесі, себебі дәл осы көрсеткіш кожды қайталама шикізат ретінде бағалауға мүмкіндік береді. Салыстыру нәтижесі бойынша ең жоғары тиімділік пирометаллургиялық әдістер мен DC-пештерді қолданатын технологияларға тиесілі, олар *Cr*-ді 95%-ға дейін алуға мүмкіндік береді.

Ақтөбе феррохром қайта өңдеу зауытының (ERG Recycling) тәжірибесі механикалық және физикалық қайта өңдеуді,

брикеттеуді және концентраттарды қайта балқытуға қайтаруды біріктіретін тәсілдің тиімділігін дәлелдеді. Бұл әдіс қалдық көлемін азайтып қана қоймай, сонымен қатар тауарлық өнім – хром концентраттары, құрылыс материалдары және бетон бұйымдарын алуға мүмкіндік берді.

Зерттеулердің перспективаларына біріктірілген сұлбаларды (механикалық белсендіру + гидрометаллургия) дамыту, жаңа технологияларды (плазмалық қайта өңдеу, биошаймалау) ірі ауқымда енгізу, энергия тиімділігін арт-

тыру және автоматтандыру жатады. Циркулярлы экономика жағдайында мұндай шешімдер тұрақты металлургия үшін маңызды.

АЛҒЫС

Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен жүзеге асырылды (грант №BR24992882).

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ахметова С.А., Уразов К.Ш., Муртазина Г.Н. Ферроқорытпа өндірісінің қалдықтарын кәдеге жарату // «Ғылым мен білімнің заманауи мәселелері» атты халықаралық ғылыми-практикалық конференция материалдары, Алматы: ҚазҰТЗУ, 2017. Б. 45–51 (орыс тілінде)
2. Валуев Д.В., Гизатуллин Р.А. Металлургиялық қалдықтарды өңдеу технологиялары: оқу құралы / Д.В. Валуев; Юрга технологиялық институты. Томск: Томск политехникалық университетінің баспасы, 2012. 196 б. (орыс тілінде)
3. Жучков В.И., Садыков Т.О., Кайбышев Р.О. Ферроқорытпа өндірісінің қождары мен шаңдары // Ресей металлургиясы (Металдар). 2020. № 5. Б. 447–453 (ағылшын тілінде)
4. Жіңішке фракциялы феррохром шикізатын тұрақты ток пештерінде балқыту / Отердум Х. [және т.б.] // Металлургиялық және материалтану бойынша зерттеулер В. 2024. Т. 55. Б. 218–231 (ағылшын тілінде)
5. Хром құрамды шлактарды тиімді қайта өңдеу / Чжао Б. [және т.б.] // Metals. 2024. Т. 14. № 2. Б. 246 (ағылшын тілінде)
6. Экструзияның феррохром қождарынан хромның ерігіштігіне әсері / Дас С. [және т.б.] // Тұрақты металлургия журналы. 2022. Т. 8. Б. 1457–1469 (ағылшын тілінде)
7. Хабаши Ф. Экстрактивті металлургиядағы соңғы тенденциялар: Квебек: Квебектің металдарды алу металлургиясы, 2007. 360 б. (ағылшын тілінде)
8. Тот баспайтын болат өндірісінің қождары үшін циркулярлы экономиканың мүмкіндіктеріне шолу / Холалпа Л. [және т.б.] // Тұрақты металлургия журналы. 2021. Т. 7. Б. 1–18 (ағылшын тілінде)
9. Ролингс Д.Е. Металды биологиялық қалпына келтіру және бактериялардың рөлі // Биотехнологиядағы қазіргі пікірлер. 2002. Т. 13. № 3. Б. 255– (ағылшын тілінде)
10. «Ферроқорытпалар өндірісі» ең үздік қолжетімді техникалар жөніндегі анықтамалық» Қазақстан Республикасы Үкіметінің қаулысы, Астана қ., 27.12.2023. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Akhmetova S.A., Urazov K.Sh., Murtazina G.N. Utilizatsiya otkhodov ferrosplavnogo proizvodstva [Utilization of Ferroalloy Production Waste], Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya» [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Modern Problems of Science and Education»], Almaty: KazNITU, 2017. 45–51 pp. (in Russian)
2. Valuev D.V., Gizatullin R.A. Tekhnologii pererabotki metallurgicheskikh otkhodov: uch. posobie [Technologies for the Processing of Metallurgical Waste: A Textbook], D.V. Valuev; Yurginskii tekhnologicheskii institut [Yurga Technological Institute]. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2012. 196 p. (in Russian)
3. Zhuchkov V.I., Sadykov T.O., Kaibyshev R.O. Slags and Dusts of Ferroalloy Production // Russian Metallurgy (Metally). 2020. No. 5. 447–453 pp. (in English)
4. DC Furnace Smelting of Fine Ferrochrome Raw Materials / Oterdoom H. [et al.] // Metallurgical and Materials Transactions B. 2024. V. 55. 218–231 pp. (in English)
5. Valuable Recovery of Chromium-Containing Slags / Zhao B. [et al.] // Metals. 2024. V. 14. No. 2. 246 p. (in English)
6. Effect of Extrusion on the Physical Properties and Leachability of Chromium from Ferrochrome Slag / Das S. [et al.] // Journal of Sustainable Metallurgy. 2022. V. 8. 1457–1469 pp. (in English)
7. Habashi F. Recent Trends in Extractive Metallurgy: Quebec: Metallurgie Extractive Quebec, 2007. 360 p. (in English)
8. A Review of Circular Economy Prospects for Stainless Steelmaking Slags / Holappa L. [et al.] // Journal of Sustainable Metallurgy. 2021. – V. 7. 1–18 pp. (in English)
9. Rawlings D.E. Microbial Mineral Recovery and the Role of Bacteria in Metal Extraction // Current Opinion in Biotechnology. 2002. V. 13. No. 3. 255–261 pp. (in English)

10. *Postanovlenie pravitel'stva Respubliki Kazakhstan «Spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnikam «Proizvodstvo ferrosplavov» [Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan «Handbook of the best available techniques for the production of ferroalloys»], Astana, 12/27/2023. (In Russian)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Ахметова С.А., Уразов К.Ш., Муртазина Г.Н. Утилизация отходов ферросплавного производства // Материалы Международной научно-практической конференции «Современные проблемы науки и образования», Алматы: КазННТУ, 2017. С. 45–51 (на русском языке)*
2. *Валуев Д.В., Гизатуллин Р.А. Технологии переработки металлургических отходов: уч. пособие / Д.В. Валуев; Юргинский технологический институт. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 196 с. (на русском языке)*
3. *Жучков В.И., Садыков Т.О., Кайбышев Р.О. Шлаки и пыли ферросплавного производства // Русская металлургия (Металлы). 2020. № 5. С. 447–453 (на английском языке)*
4. *Выплавка мелкодисперсного феррохрома в печах постоянного тока / Отердум Х. [и др.] // Металлургические и материаловедческие трансакции В. 2024. Т. 55. С. 218–231 (на английском языке)*
5. *Ценное извлечение хрома из феррохромовых шлаков / Чжао Б. [и др.] // Металлы. 2024. Т. 14. № 2. С. 246 (на английском языке)*
6. *Влияние экструзии на физические свойства и выщелачиваемость хрома из феррохромовых шлаков / Дас С. [и др.] // Журнал устойчивой металлургии. 2022. Т. 8. С. 1457–1469 (на английском языке)*
7. *Хабаша Ф. Новейшие тенденции в металлургии: Квебек: Экстрактивная металлургия Квебека, 2007. 360 с. (на английском языке)*
8. *Обзор перспектив циркулярной экономики для шлаков нержавеющей стали / Холаппа Л. [и др.] // Журнал устойчивой металлургии. 2021. Т. 7. С. 1–18 (на английском языке)*
9. *Роллингс Д.Э. Минеральное извлечение с участием микроорганизмов и роль бактерий в экстракции металлов // Современные взгляды на биотехнологию. 2002. Т. 13. № 3. С. 255–261 (на английском языке)*
10. *Постановление правительства Республики Казахстан «Справочник по наилучшим доступным техникам «Производство ферросплавов». г. Астана, 27.12.2023 (на русском языке)*

Авторлар туралы мәліметтер:

Абилберікова А.А., «Қара және түсті металдар металлургиясы» ББ бойынша докторант, «Қарағанды индустриялық университеті» КЕАҚ (Теміртау қ., Қазақстан), a.abilberikova@tttu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-0133-3005>

Жұмағалиев Е.У., техн. ғылым. канд., «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасының меңгерушісі, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті КеАҚ (Ақтөбе қ., Қазақстан), uzhumagaliev@zhubanov.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-2227-0661>

Уахитова Б.Т., Ph.D, «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасының доценті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті КеАҚ (Ақтөбе қ., Қазақстан), Uakhitova_bt@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1156-8809>

Шабанов Е.Ж., Ph.D, «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасының профессоры, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті КеАҚ (Ақтөбе қ., Қазақстан), ushabanov@zhubanov.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-6902-1211>

Information about the authors:

Abilberikova A., doctoral student of the EP «Metallurgy of ferrous and non-ferrous metals», «Karaganda industrial university» NCJSC (Temirtau, Kazakhstan)

Zhumagaliev E.U., Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Metallurgy and Mining, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov NCJSC (Aktobe, Kazakhstan)

Uakhitova B.T., Ph.D, Associate Professor of the Department of Metallurgy and Mining, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov NCJSC (Aktobe, Kazakhstan)

Shabanov E.Zh., Ph.D, Professor of the Department of Metallurgy and Mining, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov NCJSC (Aktobe, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Абилберікова А.А., докторант ОП «Металлургия черных и цветных металлов», НАО «Карагандинский индустриальный университет» (г. Теміртау, Қазақстан)

Жұмағалиев Е.У., канд. техн. наук, заведующий кафедрой «Металлургия и горное дело» НАО Ақтөбінскіе өңірлік университеті им. К. Жұбанов (г. Ақтөбе, Қазақстан)

Уахитова Б.Т., Ph.D, доцент кафедры «Металлургия и горное дело» НАО Ақтөбінскіе өңірлік университеті им. К. Жұбанов (г. Ақтөбе, Қазақстан) Email:

Шабанов Е.Ж., Ph.D, профессор кафедры «Металлургия и горное дело» НАО Ақтөбінскіе өңірлік университеті им. К. Жұбанов (г. Ақтөбе, Қазақстан)

Код МРНТИ 53.37.15

К.К. Мамырбаева¹, *А.Н. Куандыкова¹, Е.С. Меркибаев¹, Б. Мишра²
¹Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),
²Вустерский политехнический институт (г. Вустер, США)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУЛЬФАТИЗИРУЮЩЕГО ОБЖИГА ЛАТЕРИТНОЙ ОКИСЛЕННОЙ НИКЕЛЕВОЙ РУДЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ

Аннотация. В связи с ростом спроса на никель и кобальт для литий-ионных аккумуляторов электротранспорта возрастает интерес к освоению новых источников сырья, включая техногенные отвалы. Объектом исследования являлась латеритная руда месторождения Кемпирсай, в которой никель и кобальт представлены преимущественно в оксидной форме. Цель работы – изучение извлечения металлов с применением комбинированной технологии, включающей сульфатизирующий обжиг и последующее водное выщелачивание. Оптимальные условия обжига: 30 мас. % серной кислоты, температура 500 °С и продолжительность 60 мин. В результате выщелачивания получен продуктивный раствор с содержанием (г/л): *Ni* 2,33; *Co* 0,67; *Fe* 18,5. Для дальнейшей переработки рекомендованы осаждение железа и селективное разделение никеля и кобальта методом экстракции.

Ключевые слова: латеритная руда, никель, кобальт, сульфатизирующий обжиг, серная кислота, выщелачивание.

Латеритті тотыққан никель кенін қайта өңдеудің аралас техноогиясын әзірлеу үшін сульфатты күйдіру процесін зерттеу

Андатпа. Электрқозғалтқыш аккумуляторларын өндіруде никель мен кобальтқа сұраныстың артуына байланысты, соның ішінде техногендік үйінділерді қоса алғанда, жаңа кен көздерін игеруге қызығушылық артты. Зерттеу нысаны Кемпірсай кен орнының латеритті кені болып табылады, онда никель мен кобальт оксидтік түрде кездеседі. Жұмыстың максаты – металдарды біріктірілген әдіспен, яғни сульфаттандырушы күйдіру және кейінгі сулы шаймалау арқылы алу үдерісін зерттеу. Күйдірудің оңтайлы шарттары: күкірт қышқылын 30% (массалық) қосу, температура 500 °С және ұзақтығы 60 минут. Күйдірме өнімін шаймалау нәтижесінде құрамында (г/л): 2,33 *Ni*, 0,67 *Co* және 18,5 *Fe* бар өнімді ерітінді алынды. Ерітіндіні әрі қарай өңдеу үшін темірді химиялық тұндыру және никель мен кобальтты сұйық экстракция әдісімен селективті бөлу ұсынылады.

Түйінді сөздер: латеритті кен, никель, кобальт, сульфатты күйдіру, күкірт қышқылы, шаймалау.

Research on the process of sulfatizing roasting of lateritic oxidized nickel ore for the development of a combined processing technology

Abstract. Due to the increasing demand for nickel and cobalt for lithium-ion batteries used in electric vehicles, interest in the development of new raw material sources, including technogenic dumps, has grown. The object of this study was lateritic ore from the Kempirsai deposit, in which nickel and cobalt are predominantly present in oxide form. The aim of the work was to investigate metal recovery using a combined processing route comprising sulfation roasting followed by water leaching. The optimal roasting conditions were 30 wt. % sulfuric acid addition, a temperature of 500 °C, and a roasting time of 60 min. Leaching resulted in a pregnant solution containing (g/L): 2.33 *Ni*, 0.67 *Co*, and 18.5 *Fe*. For further processing, iron precipitation and selective separation of nickel and cobalt by solvent extraction are recommended.

Key words: lateritic ore, nickel, cobalt, sulfatizing roasting, sulfuric acid, leaching.

Введение

Широкое использование никеля в сталелитейной промышленности, гальванизации сплавов и производстве аккумуляторов, в сочетании с растущим спросом на кобальт в секторе зеленой энергетики, привело к значительному увеличению производства никеля в последние годы [1, 2].

Казахстан обладает достаточными запасами латеритных никелевых руд и входит в двадцатку стран-лидеров по запасам никеля с мировыми запасами 2% (1,5 млн тонн) [3]. Производство никеля из окисленных или латеритных руд набирает популярность, но в настоящее время значительная часть мирового производства по-прежнему приходится на сульфидные никелевые руды.

На практике извлечение никеля из латеритных минералов осуществляется с помощью таких процессов, как: процесс Карона [4], кислотное выщелачивание под высоким давлением (HPAL) [5], кислотное выщелачивание при атмосферном давлении (AAL) [6, 7]. Среди гидрометаллургических методов переработки латеритов процесс HPAL является наиболее эффективным для извлечения никеля и кобальта. Хотя его высокие капитальные и эксплуатационные затраты являются значительным недостатком, важно отметить, что большинство коммерческих установок по переработке латеритов во всем мире являются, по сути,

заводами HPAL. Другие методы, такие как AAL, характеризуются более низкой селективностью и извлечением ценных металлов, что часто сопровождается высоким потреблением реагентов.

В качестве выщелачивающих агентов используются серная, соляная и органические кислоты. Прямое выщелачивание руд имеет серьезные недостатки: большой расход кислоты, длительное время выщелачивания и необходимость удаления примесей, таких как железо, алюминий и хром. Извлечение железа – особенно острая проблема, так как это ведет к потере никеля и магния из-за соосаждения и адсорбции.

Для повышения эффективности процесса применяют различные виды предварительной методов обработки: механическую, микроволновую, ультразвуковую, термическую активацию. Среди всех методов предварительной подготовки высокой эффективностью обладает термическая активация с добавлением различных веществ, таких как серная кислота, сульфатные соли, хлорирование с различными хлорсодержащими веществами.

Переработка латеритов методом «сульфатизирующий обжиг – водное выщелачивание» [8–9] – это один из потенциальных методов переработки упорных, бедных латеритных руд, основанный на термическом преобразовании оксидов и

сульфидов металлов в водорастворимые сульфаты, с дальнейшим водным выщелачиванием. Такой способ переработки позволяет легко извлекать ценные металлы, такие как никель, кобальт, железо, а также других примесных металлов (*Al, Cr, Mn, Mg*) в продуктивный раствор. По сравнению с другими пирометаллургическими процессами, этот метод имеет ряд преимуществ, включая относительно низкую температуру обжига, короткую продолжительность, высокое одновременное извлечение ряда ценных металлов и селективность. Благодаря этим достоинствам, сульфатизирующий обжиг уже широко применяется для переработки руд, содержащих литий, цинк, алюминий и редкоземельные элементы. Проведено множество исследований, посвященных извлечению никеля и кобальта из различных типов латеритных руд. Тем не менее, в доступной научной литературе нет сведений о применении этого метода к казахстанским латеритам, что подчеркивает актуальность и необходимость проведения соответствующих исследований.

Целью настоящей работы является исследование оптимальных условий сульфатизирующего обжига для извлечения никеля и кобальта из латеритной руды месторождения Кемпирсай.

Методика исследований

Методика исследований образцов

Фазовый состав исходной руды и кека (твердых остатков выщелачивания) был исследован методом рентгеновской дифракции (РФА). Измерения проводились на дифрактометре Bruker D8 Advance с использованием *Cu* K α -излучения при напряжении 40 кВ и токе 30 мА.

Микроструктура и морфология остатков выщелачивания

Концентрация целевых металлов (никель (*Ni*), кобальт (*Co*)) и основных примесей, включая железо (*Fe*), алюминий (*Al*) и магний (*Mg*) и др. в водных растворах определяли атомно-абсорбционным спектрометрическим анализом (ААС) с использованием прибора Shimadzu AA-7000.

Морфология поверхности и химический состав выбранных точек на поверхности были изучены с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) JEOL JSM-6490LA.

Методика сульфатизирующего обжига – водного выщелачивания

Исходный рудный материал перемешивали с концентрированной серной кислотой. Полученную смесь подвергали контролируемому обжигу в муфельной печи при заданной температуре и выдерживали в течение определенного времени для достижения полной сульфатизации.

Выщелачивание проводилось в термостате, что позволяло точно поддерживать заданную температуру на протяжении всего эксперимента. Процесс осуществляли при постоянном перемешивании со скоростью 300 об/мин. Эксперименты по выщелачиванию проводились в условиях: температура 85 °С, соотношение твердого к жидкому = 1:6, продолжительность выщелачивания 120 минут. По завершении полученную суспензию разделяли методом вакуумной фильтрации. Полученный твердый остаток был промыт и высушен при 105 °С до постоянной массы.

Результаты и обсуждение

Состав исходной руды

Объектом исследования явилась латеритная руда Кемпирсайского месторождения, расположенного на Западном Казахстане. Физико-химическими анализами были установлены фазовый и химический состав руды (таблица 1, рис. 1).

Результаты РФА показывают, что основные минеральные фазы исследуемого образца руды включают кварц [*SiO₂*], сепиолит [*Mg₄Si₆O₁₅(OH)₂•6H₂O*], клинохлор-Пб-4 [*Mg₃(Mg₂Al)((Si₃Al)O₁₀(OH)₂O₃)*], пирофиллит [*Al₂(Si₄O₁₀O)*], силикат магния и алюминия (*Mg₂Al₄Si₅O₁₈*) и гетит [*FeO(OH)*]. Основным рудоносным минералом является гетит, в кристаллическую структуру которого встроены атомы никеля и кобальта [10].

Прямое извлечение никеля и кобальта из такого вида сырья минеральными кислотами неэффективно из-за высокого расхода реагентов, многокомпонентности продуктивных растворов, использования стойких к коррозии оборудования и др.

Для переработки такого вида латеритов можно применять комбинированный способ переработки, включающий сульфатизирующий обжиг с дальнейшим водным выщелачиванием [8–9].

В данном исследовании первой задачей было исследование оптимальных условий сульфатизирующего обжига с использованием серной кислоты, как эффективного, доступного сульфатизирующего реагента.

Химический анализ руды показал, что содержание никеля и кобальта в руде низкое и составляют 1,1 и 0,1% соответственно, основной примесью является железо и содержится в количестве 21%.

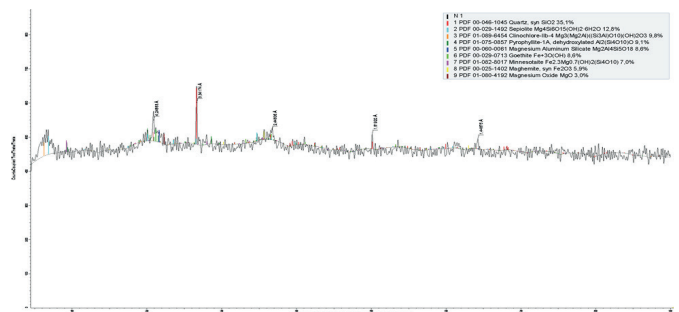


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма латеритной руды.

Сурет 1. Латеритті кеннің рентгендік дифракциялық көрінісі.

Figure 1. X-ray diffraction pattern of the laterite ore.

Таблица 1

Основные химические компоненты руды, %

Кесте 1

Кеннің негізгі химиялық компоненттері, %

Table 1

Main chemical components of ore, %

O	Mg	Al	Si	Fe	Co	Ni	Cr	Mn	Ca	Cl	Na
49.5	1.8	2.2	15.4	21	0.1	1.1	0.6	0.6	0.8	0.3	0.7

Влияние количества сульфатизирующего агента на извлечение металлов

Для исследования влияния одного из ключевых факторов – количества серной кислоты на эффективность сульфатизирования при обжиге руды, была проведена серия экспериментов. Температура (500–550 °С) и продолжительность процесса (60 минут) поддерживались постоянными. В каждой серии экспериментов варьировали массовое соотношение серной кислоты к руде в интервале 10–50% для определения оптимальных условий. Как видно из рис. 2а, степень извлечения *Ni*, *Co*, и *Fe* увеличивалась с увеличением соотношения кислоты к руде. При соотношении серной кислоты к руде от 10 до 30% наблюдалось повышение степени извлечения металлов примерно в 1,5–2 раза и добавка серной кислоты в количестве 30% позволила достичь максимального извлечения никеля (93,8%) и кобальта (92,3%) соответственно. Дальнейшее повышение серной кислоты от 30 до 50% привели к росту степени извлечения металлов всего на 1–2,5%.

Несмотря на высокую степень извлечения металлов, с ростом количества сульфатизирующего агента увеличилась плотность растворов, образовались мелкодисперсные гелеобразные железистые осадки. Повышенная концентрация серной кислоты (30% и выше) приводит к растворению большинства компонентов руды, в том числе упорных минералов пустой породы, содержащих щелочные и щелочноземельные металлы. Это, в свою очередь, привело к повышению pH среды. В результате изменения pH образовывались гелеобразные осадки, которые резко увеличивали время фильтрации и адсорбировали целевые металлы, делая весь процесс неэффективным с технологической точки зрения. Аналогичные процессы были зафиксированы в исследовании [11]. В этой связи для сульфатизации латеритной руды оптимальной концентрацией серной кислоты была выбрана добавка в количестве 30%.

Влияние температуры обжига

Результаты экспериментов по изучению влияния температуры обжига на степень извлечения металлов представлено на рисунке 2б. Эксперименты проводились в интервале температуры 350–750 °С при соотношении кислоты к руде 30% и времени обжига 60 мин. С ростом температу-

ры обжига от 400 до 550 °С извлечение никеля и кобальта увеличилось от 80 до 91,5; от 77,3 до 91% соответственно. При температуре обжига выше 550 °С степень извлечения никеля и кобальта резко снизилась. Значительное падение степени извлечения в раствор *Fe* наблюдалось уже при температуре 550 °С и выше. Это объясняется с началом разложения сульфата железа (450 ~ 480 °С), а также сульфатов никеля и кобальта (740 °С и выше) на их собственные оксиды [12]. Разложение сульфата железа до гематита нежелательно из-за его нерастворимости в воде оксида, так как в его кристаллической структуре могут содержаться остатки никеля и кобальта. В связи с этим оптимальной температурой обжига был выбран диапазон 500–550 °С.

Влияние продолжительности обжига

Полученные результаты представлены на рис. 2. При увеличении времени обжига с 30 до 60 минут степень извлечения никеля и кобальта повысилась почти в два раза: с 45,2 до 92,3% для никеля и с 54,3 до 89% для кобальта. Дальнейшее увеличение продолжительности обжига не оказало существенного влияния на степень извлечения целевых металлов. Извлечение железа при обжиге 60 минут было ниже чем у основных металлов и составило 80,5%. Кроме того, более длительное время обжига способствовало разложению сульфатов железа до оксидов. Полученные данные позволяют заключить, что 60 минут является достаточным временем для достижения максимального извлечения *Ni* и *Co*.

Для получения дополнительной детальной информации об изменении морфологии и химического состава поверхности частиц в процессе «сульфатизирующий обжиг – водное выщелачивание» были проведены и сопоставлены СЭМ и ЭДС-исследования исходной руды и кека выщелачивания.

Как показывает микроструктура поверхности, представленная на рис. 3а, исходная руда характеризуется неупорядоченной, высокопористой структурой, типичной для выветренных почвенных пород. Она состоит из конгломерата частиц различной морфологии и размера, включая как относительно крупные зерна, так и обширную фракцию тонкодисперсных частиц. Наличие значительного межчастичного пространства обуславливает низкую степень цементации и высокую общую пористость. В то же время, результаты СЭМ

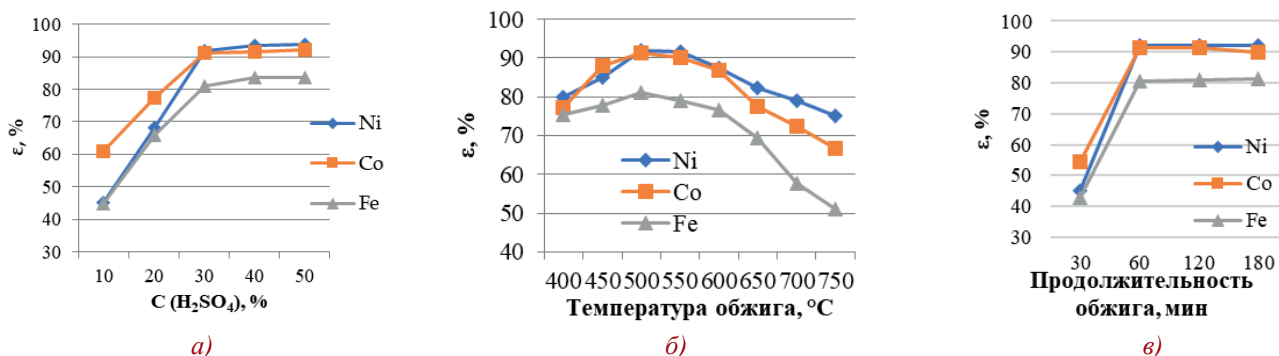


Рис. 2. Влияние параметров обжига: (а) количество серной кислоты, (б) температура обжига и (в) время обжига.

Сурет 2. Күйдіру параметрлерінің әсері: (а) күкірт қышқылының мөлшері, (б) күйдіру температурасы және (в) күйдіру ұзақтығы.

Figure 2. Effect of roasting parameters: (a) amount of sulfuric acid, (b) roasting temperature and (c) roasting duration.

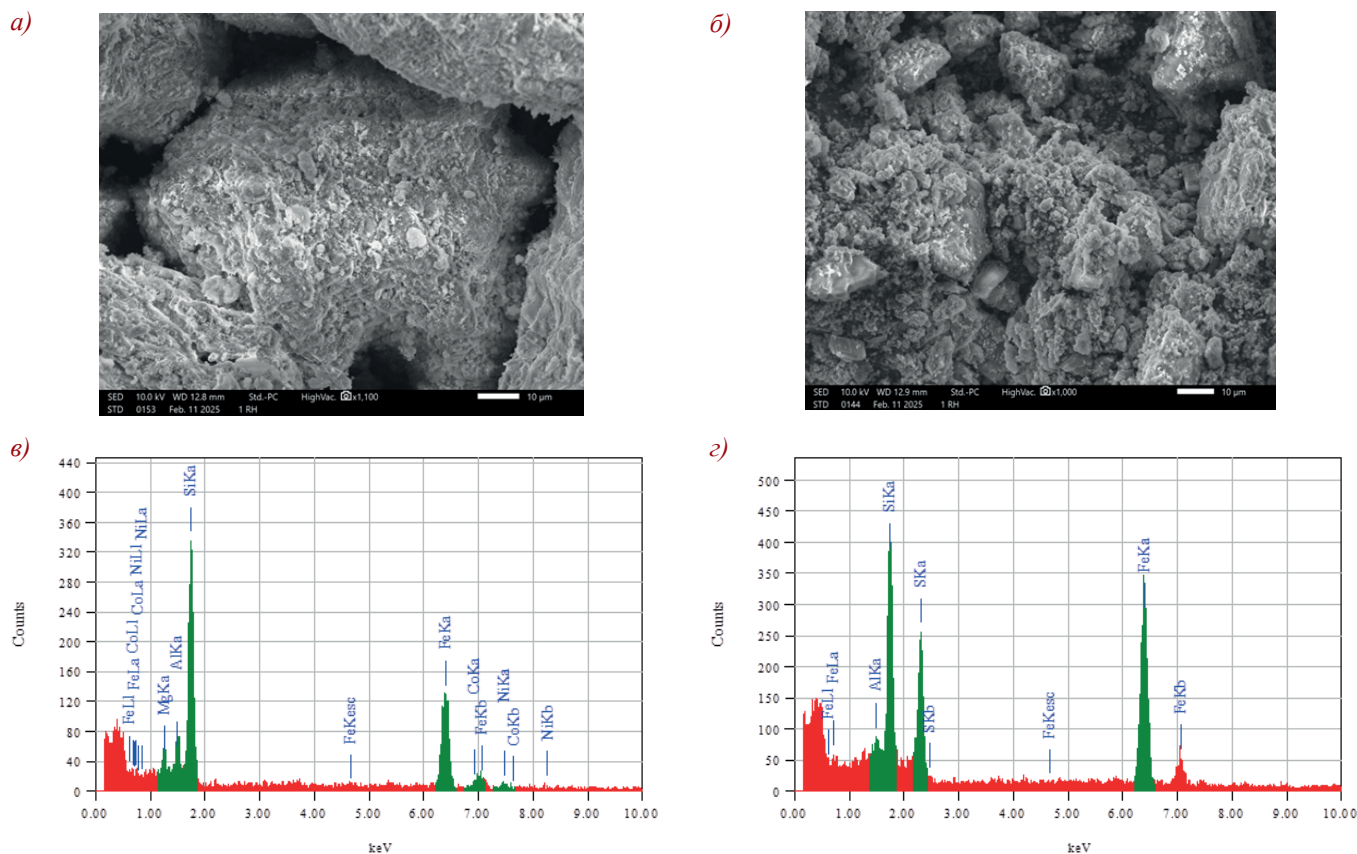


Рис. 3. Снимки СЭМ и спектры энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС) исходной руды (а, с) и кека (б, д) после выщелачивания.

Сурет 3. Кеннің (а, с) және шаймалаудан кейінгі қалдықтардың (б, д) СЭМ түсірілімдері мен ЭДС спектрлері. Figure 3. SEM images and EDS spectra of the raw ore (a, g) and cake (b, d) after leaching.

исследования кека (рис. 3б) демонстрируют кардинальные изменения микроструктуры поверхности после выщелачивания. Вместо отдельных частиц наблюдается формирование плотных, цементированных агрегатов. Происходит дегидратация гидроксидов железа и алюминия, которая способствовала частичному спеканию и образованию более стабильных фаз. В результате наблюдается значительное снижение общей пористости и уплотнение материала.

Сравнение химического анализа составов образцов исходной руды и кека после выщелачивания по ЭДС показывает о полном переходе никеля и кобальта в продуктивный раствор. В кеке зафиксировано наличие железа, что согласуется с результатами выщелачивания – о неполном переходе железа в раствор, степень извлечения в оптимальных условиях составило не более 81%.

При водном выщелачивании огарка, полученного в этих условиях, был получен раствор с содержанием металлов $Ni = 2.33$ г/л, $Co = 0.67$ г/л, $Fe = 18,5$ г/л.

Закключение

Для переработки упорных латеритных руд применим метод «сульфатизирующий обжиг – водное выщелачи-

вание». Основными рудоносными минералами месторождения Кемпирсай являются минералы гетит, клинохлор. Содержание никеля 1.1%, кобальта 0.1%.

Для извлечения никеля, кобальта и железа оптимальными условиями сульфатизирующего обжига латеритов является температура 500 °С, концентрация серной кислоты – 25–30% (по массе) от массы руды, продолжительность обжига 60 минут. Повышение температуры от 500 °С и выше приводит к резкому снижению извлечения всех металлов. Это связано с разложением сульфатов до оксидов металлов, особенно сульфата железа до оксидов, из которых извлечение целевых металлов при водном выщелачивании сильно затрудняется. Сквозное извлечение металлов из латерита методом «сульфатизирующий обжиг – водное выщелачивание» составило $Ni = 90.12\%$, $Co = 89.52\%$, $Fe = 79.5\%$.

Благодарность

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19680477).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Обзор технологий гидрометаллургической переработки латеритных никелевых руд за последние 20 лет в мире / Мамырбаева К.К. [и др.] // Цветные металлы. 2024. С. 13–21 (на английском языке)
2. Мешрам П., Абхилаш Д., Панди Б. Расширенный обзор по извлечению никеля из первичных и вторичных источников // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2019. № 40. С. 157–193 (на английском языке)
3. Исследование возможности получения никельсодержащих ферросплавов из латеритных никелевых руд металлотермическим методом / Абдирашит А. [и др.] // Металлы. 2025. № 15. С. 1–15 (на английском языке)
4. Извлечение никеля и кобальта из латеритной руды с использованием процесса карботермического восстановления с обжигом и аммиачным выщелачиванием / Ильяс С. [и др.] // Технология разделения и очистки. 2020. № 232. С. 115971 (на английском языке)
5. Бана И.С., Ван В., Шен Л. Оптимизация кислотного выщелачивания под высоким давлением для извлечения никеля и кобальта из сверхнизкосортных латеритовых руд // JOM. 2025. № 77. С. 5192–5204 (на английском языке)
6. Извлечение никеля из никелевых латеритов: процессы, ресурсы, окружающая среда и стоимость / Чжан З.Ф. [и др.] // Геология Китая. 2025. № 8. С. 187–213 (на английском языке)
7. Проблемы и перспективы обогащения никелевых латеритных руд: критический обзор / Мвине Л. // Обзор переработки полезных ископаемых и металлургического извлечения. 2024. № 45. С. 539–563 (на английском языке)
8. Переработка окисленных никелевых руд с использованием процессов спекания, обжига и выщелачивания / Иванов Н.С. [и др.] // Горная инженерия. 2022. № 181. С. 1–6 (на английском языке)
9. Двустороннее высвобождение Ni и Co в процессе предварительной обработки для повышения извлечения никеля из низкосортного никелевого латерита / Фебриана Э. [и др.] // Устойчивая горная промышленность. 2024. № 23. С. 285–298 (на английском языке)
10. Угву И.М., Шерман Д.М. Растворимость гетита со структурно включенными никелем и кобальтом: применение для латеритов // Химическая геология. 2019. № 518. С. 1–8 (на английском языке)
11. Бастуркчу Х., Ачаркан, Н. Разделение никеля и железа из латеритовой руды с использованием процесса выщелачивания-обжига-выщелачивания-осаждения // Физико-химические проблемы обогащения полезных ископаемых. 2016. № 52. С. 564–574 (на английском языке)
12. Мамырбаева К.К., Куандыкова А., Чепуштанова Т.А. Термодинамический анализ сульфатизирующего обжига залегающих никель-кобальтсодержащих отходов действующих предприятий // «Международная междисциплинарная научная геоконференция «Геодезия, геология и экология горного дела», SGEM», Вена, 2024. № 24. С. 151–158 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Әлемдегі соңғы 20 жылдағы латеритті никель кендерін гидрометаллургиялық өңдеу технологияларына шолу / Мамырбаева К.К. [және т. б.] // Түсті металдар. 2024. Б. 13–21 (ағылшын тілінде)
2. Мешрам П., Абхилаш Д., Пандей В. Бастапқы және қайталама көздерден никельді алу бойынша кеңейтілген шолу // Минералды өңдеу және өндіруші металлургия шолуы. 2019. № 40. Б. 157–193 (ағылшын тілінде)
3. Латериттік никель кендерінен металлотермиялық әдіспен құрамында никель бар ферроқорытпаларды алу мүмкіндігін зерттеу / Әбдірашит А. [және т. б.] // Металдар. 2025. № 15. Б. 1–15 (ағылшын тілінде)
4. Латеритті кеннен никель мен кобальтты күйдіру және аммиакты шаймалау арқылы карботермиялық тотықсыздандыру процесін қолдану арқылы алу / Ильяс С. [және т. б.] // Бөлу және тазарту технологиясы. 2020. № 232. Б. 115971 (ағылшын тілінде)
5. Бана И.С., Ванг В., Шен Л. Ультра төмен сұрыпты латерит кендерінен никель мен кобальтты қалпына келтіру үшін жоғары қысымды қышқылды сілтілеуді оңтайландыру // JOM. 2025. № 77. Б. 5192–5204 (ағылшын тілінде)
6. Никельді латериттерден никельді қалпына келтіру: процесстер, ресурстар, қоршаған орта және шығындар / Чжан З.Ф. [және т. б.] // Қытай геологиясы. 2025. № 8. Б. 187–213 (ағылшын тілінде)
7. Никель-латерит кендерін байыту мәселелері мен перспективалары: сыни шолу / Мвине Л. // Минералды өңдеу және металлургиялық қалпына келтіруге шолу. 2024. № 45. Б. 539–563 (ағылшын тілінде)
8. Агломерация, күйдіру және шаймалау процесстерін қолданып тотыққан никель кендерін өңдеу / Иванов Н.С. [және т. б.] // Тау-кен инженериясы. 2022. № 181. Б. 1–6 (ағылшын тілінде)
9. Төмен сортты никель латеритінен никельді алуды жақсарту үшін алдын ала өңдеу кезінде Ni және Co екі жақты босату / Фебриана Е. [және т. б.] // Тұрақты тау-кен өндіру. 2024. № 23. Б. 285–298 (ағылшын тілінде)
10. Угву И.М., Шерман Д.М. Никель мен кобальттың құрылымдық қосындылары бар гетиттің ерігіштігі: латериттерге қолдану // Химиялық геология. 2019. № 518. Б. 1–8 (ағылшын тілінде)
11. Бастуркчу Х., Ашаркан Н. Латерит кенінен никель мен темірді сілтілеу-күйдіру-сілтілеу-тұндыру процесі арқылы бөлу // Минералды өңдеудің физика-химиялық мәселелері. 2016. № 52. Б. 564–574 (ағылшын тілінде)

12. Мамырбаева К.К., Куандыкова А., Чепуштанова Т.А. Жұмыс істеп тұрған кәсіпорындардың құрамында никель-кобальт бар қалдықтарды сульфаттау күйінде термодинамикалық талдау // «Маркшейдерлік геология және тау-кен экологиясын басқару, SGEM халықаралық көпсалалы ғылыми геоконференция», Вена, 2024. № 24. Б. 151–158 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Review of Technology for Hydrometallurgical Processing of Lateritic Nickel Ores over the Past 20 Years in the World / Mamyrbayeva K.K. [et al.] // *Nonferrous metals* 2024. 13–21 pp. (in English)
2. Meshram P., Abhilash D., Pandey B. Advanced Review on Extraction of Nickel from Primary and Secondary Sources // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2019. No. 40. 157–193 pp. (in English)
3. Investigation of the Possibility of Obtaining Nickel-Containing Ferroalloys from Lateritic Nickel Ores by a Metallothermic Method / Abdirashit A. [et al.] // *Metals*. 2025. No. 15. 1–15 pp. (in English)
4. Extraction of nickel and cobalt from laterite ore using a carbothermic reduction process with roasting and ammonia leaching / Ilyas S. [et al.] // *Separation and Purification Technology*. 2020. No. 232. 115971 p. (in English)
5. Bana I.S., Wang W., Shen L. Optimization of high-pressure acid leaching for nickel and cobalt extraction from ultra-low-grade laterite ores // *JOM*. 2025. No. 77. 5192–5204 pp. (in English)
6. Nickel Extraction from Nickel Laterites: Processes, Resources, Environment and Cost / Zhang, Z.F. [et al.] // *China Geology*. 2025. No. 8. 187–213 pp. (in English)
7. Challenges and Future in Ni Laterite Ore Enrichment: A Critical Review / Mweene L. [et al.] // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2024. No. 45. 539–563 pp. (in English)
8. Processing of Oxidized Nickel Ores Using Sintering, Roasting and Leaching Processes / Ivanov N.S. [et al.] // *Minerals Engineering*. 2022. No. 181. 107498 pp. (in English)
9. Double Acting Liberation of Ni and Co in the Pre-Treatment Process to Increase Recovery of Nickel from Low-Grade Nickel Laterite / Febriana E. [et al.] // *Journal of Sustainable Mining* 2024. No. 23. 285–298 pp. (in English)
10. Ugwu I.M., Sherman D.M. The Solubility of Goethite with Structurally Incorporated Nickel and Cobalt: Implication for Laterites // *Chemical Geology*. 2019. No. 518. 1–8 pp. (in English)
11. Basturkcü H., Acarkan N. Separation of Nickel and Iron from Lateritic Ore Using a Digestion – Roasting – Leaching – Precipitation Process // *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. 2016. No. 52. 564–574 pp. (in English)
12. Mamyrbayeva K.K., Kuandykova A., Chepushtanova T.A. Thermodynamic analysis sulfatizing roasting of stale nickel-cobalt-containing wastes from operating plants // «International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM», Vienna, 2024. No. 24. 151–158 pp. (in English)

Сведения об авторах:

Мамырбаева К.К., Ph.D, асоц. профессор, кафедра «МиОПИ», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), k.mamyrbayeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-1094-5345>

Куандыкова А.Н., м. т. н., ст. преподаватель, кафедра «МиОПИ», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), a.kuandykova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-7810-7500>

Меркібаев Е.С., Ph.D, ст. преподаватель, кафедра «МиОПИ», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), e.merkibayev@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-3869-6835>

Бражендра М., профессор, директор Института обработки металлов, Вустерский политехнический институт (г. Вустер, США), bmishra@wpi.edu; <https://orcid.org/0000-0001-7897-1817>

Авторлар туралы мәліметтер:

Мамырбаева Қ.К., Ph.D, қауымдастырылған профессор, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Куандыкова А.Н., т. ғ. м., аға оқытушы, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Меркібаев Е.С., Ph.D, аға оқытушы, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Бражендра М., профессор, Металл өңдеу институтының директоры, Вустер политехникалық институты (Вустер қ., АҚШ)

Information about the authors:

Mamyrbayeva K.K., Ph.D, Associate Professor, Department of Metallurgy and Mineral Processing, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Kuandykova A.N., m. s., Senior Lecturer, Department of Metallurgy and Mineral Processing, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Merkibayev Y.S., Ph.D, Senior Lecturer, Department of Metallurgy and Mineral Processing, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Brajendra M., Professor, Director of the Metal Processing Institute, Worcester Polytechnic Institute (Worcester, USA)

Код МРНТИ 52.47.29

Д.М. Жантасова, *К.Т. Жантасов, Р.Р. Якубова, Р.А. Исаева
М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті (Шымкент қ., Қазақстан)

МАҚСАТТЫ ӨНІМ АЛУ ҮШІН ТАБИҒИ-ТЕХНОГЕНДІК ШИКІЗАТ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ЭЛЕМЕНТТІК ЖӘНЕ ОКСИДТІК ҚҰРАМДАРЫН ЗЕРТТЕУ

Аннотация. 2024 жылғы 01 шілдедегі №648/24-EKL шартына сәйкес «Қазфосфат» ЖШС мен «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ арасында фосфогипсті табиғи фосфориттерді байыту процесінің қалдықтарына жатқызу бойынша ғылыми-зерттеу жұмыстары жүргізілді. Экстракциялық фосфор қышқылын алу кезінде минералогиялық және гранулометриялық сипаттамалары және алюминий өндірісінің қалдықтары бойынша мәліметтер берілген. Мұның бәрі мақсатты өнімдерді – түсті металдарды, бейорганикалық тұздарды және табиғи ресурстарды кәдеге жаратудың инновациялық технологияларын әзірлеуге бағытталған. Күкірт қышқылын алу жолымен, сондай-ақ алюминий өндірісінің қалдықтары Алматы қ. «Цельсим» ЖШС-де және «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ-те алу жүргізілді.

Түйінді сөздер: шикізат, химиялық құрам, техногендік қалдықтар, кәдеге жарату, қайта өңдеу, металдар, нысаналы өнімдер, экология, құрылыс материалдары.

Study of elemental and oxide compositions of natural and man-made raw materials resources to obtain target products

Abstract. In accordance with the agreement No. 648/24-ECL dated July 01, 2024, research work was carried out between Kazphosphate LLP and Non-profit limited Company «South Kazakhstan University named after M. Auezov» on the attribution of phosphogypsum to the waste of the enrichment process of natural phosphorites. Data on mineralogical and granulometric characteristics and waste from aluminum production are given in the extraction of phosphoric acid by extraction. All this is aimed at the development of innovative technologies for the disposal of Target products – non-ferrous metals, inorganic salts and Natural Resources. Extraction of sulfuric acid, as well as waste from aluminum production, was carried out in LLP «Celsim» in Almaty and Non-profit limited Company «South Kazakhstan University named after M. Auezov».

Key words: raw materials, chemical composition, man-made waste, disposal, processing, metals, target products, ecology, building materials.

Исследование элементных и оксидных составов природно-техногенных сырьевых ресурсов для получения целевой продукции

Аннотация. В соответствии с договором №648/24-EKL от 01 июля 2024 года между ТОО «Казфосфат» и НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова» проведены научно-исследовательские работы по отнесению фосфогипса к остаткам процесса обогащения природных фосфоритов. Приведены сведения по минералогическим и гранулометрическим характеристикам и остаткам производства алюминия при экстракционной фосфорной кислоте. Все это направлено на разработку инновационных технологий утилизации целевых продуктов – цветных металлов, неорганических солей и природных ресурсов. Получение серной кислоты, а также отходов алюминиевого производства произведено в ТОО «Цельсим» г. Алматы и НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова».

Ключевые слова: сырье, химический состав, техногенные отходы, утилизация, переработка, металлы, целевые продукты, экология, строительные материалы.

Кіріспе

Адам мен әлемдік қауымдастықтың әл-ауқаты қоршаған ортаның фаунасы мен флорасына зиян келтіретін көптеген факторлар мен экологиялық аспектілерге байланысты.

Қазіргі заман жағдайында әлемдік кеңістіктің барлық тенденциялары табиғи және қайталама техногендік ресурстарды кешенді және қалдықсыз қайта өңдеу қажеттілігімен тығыз байланысты. Бұл көп тонналық өнеркәсіптік қалдықтарды инновациялық технологиялар бойынша экологиялық таза өнімдерге кәдеге жаратуға және қайта өңдеуге әкеп соғады.

Қайталама техногендік қалдықтарды кәдеге жарату мен қайта өңдеудің геоэкологиялық проблемалары Қоршаған ортаны қорғаумен ғана емес, өнеркәсіптік өңірлердің тікелей экономикалық дамуымен де байланысты. Сонымен қатар, өндірістің техногендік қалдықтарының пайда болуы табиғи ресурстарды ұтымсыз пайдаланудың көрсеткіші болып табылады, олардың көптеген қорлары сарқылу алдында тұр.

Осыған байланысты өнеркәсіптік қалдықтарды оңалту тек табиғи-ресурстық қана емес, сонымен қатар табиғатты қорғау, геоэкологиялық және экономикалық міндет ретінде де өзекті болып табылады. Сондықтан қалдықтарды уақтылы кәдеге жарату және қайта өңдеу өндіріс тиімділігін арттыру және қайталама техногендік шикізатқа ұқыпты қарау құралы болып табылады, сонымен қатар биосферадағы тепе-теңдікті қалпына келтірудің табиғи және міндетті шарты болып табылады.

Қазақстан Республикасында түрлі өңірлік және Мемлекеттік бағдарламалар жұмыс істейді, олардың негізгі

мақсаты елдің тұрақты даму жағдайларын қамтамасыз ету болып табылады. Нормативтік, жаратылыстану және технологиялық базаны құру экономиканың барлық деңгейлерінде қалдықтармен жұмыс істеу саласындағы мемлекеттік саясатты қамтамасыз етеді. Бұл техногендік қалдықтармен қоршаған ортаның ластануын азайтуға және жоюға, экожүйеге жүктемені азайтуға, олардың экологиялық-экономикалық тұрақтылығын арттыруға, сондай-ақ техногендік қайталама шикізат ресурстарын шаруашылық айналымға барынша тарту есебінен табиғи ресурстарды үнемдеуге мүмкіндік береді.

Материалдар мен әдістер

Инновациялық процестің перспективалық бағыттарының бірі Өңірлік өнеркәсіптік кешендер жағдайында техногендік қалдықтарды толық өңдеу болып табылады. Ол қалдықтардан тапшы құрылыс материалдарын, таза оксидтер түріндегі металдарды, асыл, түсті және сирек металдарды, радиоактивті заттарды және жоғары пайдалану қасиеттері бар басқа элементтерді қалпына келтіруді және алуды қамтиды. Бұл стратегияны іске асыру техногендік қалдықтардың едәуір миллиондаған көлемдері жинақталған елдің шикізат қауіпсіздігі мәселесін бір мезгілде шеше отырып, бастапқы табиғи ресурстарды тұтынуды 30%-ға дейін төмендетуге мүмкіндік береді.

Мысалы, Қаратау бассейнінің әртүрлі кен орындарындағы фосфориттердің минералогиялық және химиялық құрамдарының ерекшеліктері оларды минералды тыңайтқыштар немесе техникалық тұздар алына-

тын фосфор қышқылына өңдеу тәсілдерін алдын ала анықтайды [1–3].

Іс жүзінде фосфориттегі P_2O_5 құрамына байланысты фосфориттерді өңдеудің екі әдісі бар – химиялық және электротермиялық.

Экстракциялық фосфор қышқылын алудың химиялық әдісімен құрамында кемінде 24,5% P_2O_5 және шамамен 2% MgO бар кенді ұсақ ұнтақталған фосфорит кенін күкірт қышқылымен шаймалау арқылы ұсынылған жиынтық реакциядан төмен өңдеу жүргізіледі:



Каратау бассейнінің фосфориттерінде кальций фосфатынан басқа күкірт қышқылымен оңай ыдырайтын кварцит, алюмосиликат және глауконит дәндері бар.

Фосфорит ұнының элементтік құрамы 1-кестеде келтірілген.

Фосфорит ұнының химиялық құрамы бойынша жүргізілген зерттеулерге сәйкес, рентген-флуоресцентті талдауға сәйкес, ол толығымен дерлік сао, P_2O_5 , SiO_2 -ден тұрады, аз мөлшерде Fe_2O_3 , MgO , F , Al_2O_3 , SO_3 және K_2O қоспалар түрінде ұсынылған.

Сонымен қатар, фосфорит рудасында карбонаттар мен кремнийде магний карбонаттарының болуы күкірт қышқылының шығынын арттырады.

Шаймалау процесінде түзілетін магний сульфаты мен фосфаты фосфор қышқылының ерітіндісін айтарлықтай ластайды және оның белсенділігін төмендетеді. Сонымен қатар, магний фосфогипстің кристалдану процесіне айтарлықтай әсер етеді және бөлінетін кальций сульфаты кристалдарының мөлшерінің азаюына әкеледі [2].

Газ фазасына шығатын газдармен тасымалданатын фтор қосылыстары сумен сіңіп, H_2SiF_6 түзеді:



Фосфор қышқылының ерітіндісінде бар бір жарым темір мен алюминий оксидтері экстракция процесіне де әсер етеді, күкірт қышқылының шығынын арттырады және фосфор қышқылының сұйық фазаға шығуын азайтады. Алынған фосфор қышқылының құрамында 32% дейін P_2O_5 .

«Минералды тыңайтқыштар зауыты» ЖШС-нің 50 жылдан астам жұмысында өнеркәсіптік аймақтың экологиялық жағдайын бұзатын миллиондаған тонна фосфогипс жинақталған. Олардың құрамында әртүрлі түсті және сілтілі жер металдары, сондай-ақ өсімдіктердегі метоболизация процесіне өте қажет микроэлементтер бар.

2-кестеде фосфогипстің оксидтік, ал 3-кестеде фосфогипстің элементтік құрамы көрсетілген.

Фосфорит ұнының элементтік құрамы

Elemental composition of phosphorite flour

Элементный состав фосфоритовой муки

Кесте 1

Table 1

Таблица 1

Сынаманың атауы	Сынаманың құрамындағы элементтердің атауы (%)									
	<i>O</i>	<i>Ca</i>	<i>P</i>	<i>Si</i>	<i>Al</i>	<i>S</i>	<i>Fe</i>	<i>Mg</i>	<i>F</i>	<i>K</i>
Фосфорит ұны	41,87	29,67	12,29	8,80	1,14	0,33	1,29	1,82	2,09	0,71

Фосфогипстің оксидтік құрамы

Oxide composition of phosphogypsum

Оксидный состав фосфогипса

Кесте 2

Table 2

Таблица 2

Сынаманың атауы	Сынаманың құрамындағы элементтердің атауы (%)									
	<i>SG₃</i>	<i>CaO</i>	<i>SiO₂</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>MgO</i>	<i>K₂O</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>TiO₂</i>	<i>F</i>
Фосфогипс	47,32	31,92	17,6	0,24	0,19	0,23	0,77	0,75	0,21	0,75

Фосфогипстің элементтік құрамы

Elemental composition of phosphogypsum

Элементный состав фосфогипса

Кесте 3

Table 3

Таблица 3

Сынаманың атауы	Сынаманың құрамындағы элементтердің атауы (%)										
	<i>θ</i>	<i>Si</i>	<i>Fe</i>	<i>P</i>	<i>Al</i>	<i>S</i>	<i>Ti</i>	<i>Mg</i>	<i>Ca</i>	<i>K</i>	<i>F</i>
Фосфогипс	51,03	0,79	0,18	0,32	0,38	17,82	0,12	0,11	21,37	18	0,72

Нәтижелер және талқылау

Фосфогипсті физика-химиялық зерттеу нәтижесінде гипс түзетін негізгі оксидтер SO_3 (47,32%) және CaO (31,92%) екендігі анықталды. Кремний диоксиді, SiO_2 (17,6%) және Fe_2O_3 , MgO , K_2O , P_2O_5 , Al_2O_3 , TiO_2 қосылыстары қоспа оксидтері мен микроэлементтер болып табылады.

Сондықтан тұтқыр заттарды өндіруде әртүрлі салалардағы арзан техногендік қалдықтарды ұтымды пайдалану мәселесі көптеген ғалымдар мен практиктердің назарын көптен бері аударып келеді.

Ұзақ уақыт бойы тұтқыр материалдарды алу үшін классикалық табиғи шикізат пен шлак, әртүрлі өндірістердің жанама өнімі қолданылды.

XXI ғасырдың басталуымен материалтану ғалымдарының көпшілігі көптеген тоннажды техногендік шлак қалдықтарына назар аударды. Бұл жағдай жаңа құрылыс материалдарын шығаруды кеңейтуге және олардың құнын едәуір төмендетуге ықпал етеді.

Шламдар мен жартылай құрғақ ұнтақ өнімдері химия өнеркәсібінің фосфор қосалқы өнеркәсібіндегі және алюминий өндірісіндегі көптеген өндірістік процестердің ажырамас бөлігі болып табылады.

Шламның химиялық құрамы шығу көзіне байланысты әр түрлі болуы мүмкін.

Шламдардың пайда болуының негізгі көздеріне тау-кен өнеркәсібі, мұнай өндіру және мұнай өңдеу, металлургия, химия өнеркәсібі, сондай-ақ энергетика жатады. Бұл салаларда шикізатты өндіру, тасымалдау және өңдеу процестері жүреді, нәтижесінде шламдар пайда болады [4–7].

Фосфориттерді электротермиялық әдіспен өңдеудің екінші әдісі құрамында 20–23% P_2O_5 бар фосфориттерді өңдеуге жарамды, элементтік сары фосфор алынады және оның негізінде таза, қоспасыз термиялық фосфор қышқылы бар [3–5].

Электротермиялық әдіспен алынған электротермофосфор шлактары цемент өндірісінде толығымен дерлік сатылады кремний және кальций құрамында қоспа бар [3].

Алюминий өндірісінде қызыл шлам пайда болады – Байер және Байер-агломерация әдістерімен алюминий тотығын өндіру кезінде қалдық ретінде жиналатын жұқа дисперсті, сұйық пластикалық материал. Бокситтерді Байер әдісімен гидрохимиялық өңдеудің қызыл шламдарында галлий, титан, цирконий және скандий сияқты сирек кездесетін элементтер бар [5–11].

Мазмұны бастапқы массаның 5%-на дейін жететін сирек жер элементтері (RSE) және қалдық сілтілер ($NaOH$, KOH) өндіріске қатысуы мүмкін. Сондықтан, қызыл шламнан РЗЭ карбонатты шаймалаудың ұсынылған әдісі оны өңдеу процесінде және ресурстарды тиімді үнемдеу үшін сілтілі ерітіндіні карбонизациялау процесінде. Мұндай карбонатты шаймалау және карбонизация процесінің қосымша артықшылығы-негізінен көмірқышқыл газымен ұсынылған қалдық газдарды пайдалану. Қызыл шламды карбонатты шаймалау кезінде титанның 30%-на дейін және цирконийдің 50%-на дейін, сондай-ақ жеке концентраттарға бөлініп, өтімді өнімдерге өңделетін бірқатар бағалы металдарды алуға болады [5, 10–11].

Өнеркәсіптік сапа алюминий құрамында кендер олардың құрамындағы глинозем мөлшері, сипаты және қоспалар жиынтығы бойынша бағаланады.

Металдың негізгі көзі-боксит жоғары отқа төзімді өнімдерді өндіруге кетеді, мысалы, жасанды корунд. Шөгінді тау жыныстарында глинозем гидраттары (35–70%), кремний, безді және басқа оксидтер араласады.

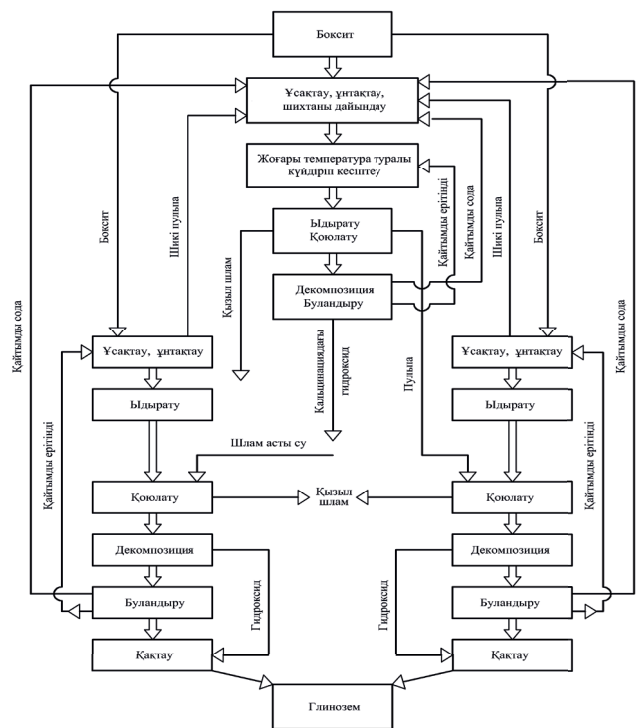
Алюминийдің өнеркәсіптік өндірісінде боксит кені шикі түрінде қолданылады. Әлемдік нарықта олар боксит пен алюминий тотығымен сауда жасайды.

ТМД елдерінде боксит кен орындары бар аумақтардың таралуы біркелкі емес. Орал кен орындары айтарлықтай таралу көлеміне ие, Батыс Қазақстан мен ТМД-ның еуропалық аймағы боксит кендерінің кен орындарының сәл аз аудандарына ие.

Алюминий өнеркәсібі боксит кенін өндіру, алюминий тотығын өндіру және алюминийді балқыту объектілерінің аумақтық қашықтығымен сипатталады.

Ресейде бокситтер 10 маркаға бөлінеді, олар глинозем құрамы мен кремний Модулінің көлемімен (зиянды қоспа) ерекшеленеді.

Өнеркәсіптік өндірісте қолданылатын алюминий тотығын алу әдістері 3 бағытқа бөлінеді: қышқыл, электротермиялық және сілтілі, олардың ішінде сілтілік әдіс ең көп қолданылады [5, 10].



Сурет 1. Павлодар алюминий комбинатының Айт бокситтерінен алюминий тотығын өндірудің технологиялық схемасы.

Figure 1. Technological scheme for the production of alumina from Ayet bauxites of Pavlodar aluminum combine.

Рис. 1. Технологическая схема производства оксида алюминия из бокситов Айт Павлодарского алюминиевого комбината.

Алюминий тотығын өндірудің кейбір әдістері бокситті 1000 °С дейін қыздырғанда сусыздандыруды, салқындатуды, шар диірменінде ұнтақтауды, сода мен бормен араластыруды, сондай-ақ агломерацияны қамтиды. Натрий алюминатын алу үшін масса ұсақталады, сумен шайылады және натрий алюминатының ерітіндісі алынады.

Басқа сілтілі әдістермен бокситтен алынған глинозем сулы ерітінді алу үшін кенді сілтімен өңдеу арқылы байланысады [5, 10–12].

Алынған сулы ерітінді тұндырғыштағы қоспалардан бөлінеді және келесі кезеңде натрий алюминаты, берілген қысым мен температурада қосылады. Содан кейін сұйықтық кремнийден тазартылады және кристалды алюминий гидроксиді түскенге дейін көмірқышқыл газымен өңделеді. Тұнба жуылады, кептіріледі және қыздырылады, содан кейін 1-суретте көрсетілген технологиялық схемаға сәйкес алюминий тотығы алынады.

4 және 5-кестеде алюминий комбинатының мамандары ұсынған бокситтердің, күл қожының және көміртек-тің безді құмарының гранулометриялық және химиялық құрамы туралы мәліметтер келтірілген. Олардың құрамы М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің зертханасында жүргізілген.

Без құмарындағы глинозем гиббист, каолинит түрінде кездеседі және ішінара құрамында темір бар қосылыстарда – гетит, гематит және сидеритте таралады.

Бокситтегі темір қосылыстарының фазалық құрамы гематит, сидерит және ішінара гетитпен ұсынылған 6-кесте.

7, 8 және 9-кестелерде «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университетінде» өткізілген темір бокситті шлам, күл қожы және көміртек сынамаларының элементтік және салмақтық құрамдарының талдаулары көрсетілген.

4–7 кестелерде көрсетілген мәліметтерді талдау нәтижесінде өндірістік аймақтардың экологиясын жақсарту және адам тіршілігінің қауіпсіздігін жоғарлату мақсатында қалдықтардан сирек кездесетін түрлі түсті элементтерді өңдеп алу мүмкіндігі бар екендігі анықталды. Бұл – ғылыми зерттеу нәтижелерін алуға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Алдын ала зерттеу нәтижесінде мыналар анықталды:

1. Фосфорит ұнындағы элементтік фосфордың мөлшері шамамен 12,3%, ал фосфогипстегі қалдық фосфор 0,32% құрайды.

Кесте 4

Безді құмардың гранулометриялық және химиялық құрамы

Table 4

Granulometric and chemical composition of glandular sands

Таблица 4

Гранулометрический и химический состав железистых песков

Атауы	Гранулометриялық құрамы (%)						
	(+5) мм	(-5+3) мм	(-3+1) мм	(-1+0,63) мм	(-0,63+0,25) мм	(-0,25+0,15) мм	(-0,15) мм
Безді құмар	0,2–1,0	0,8–2,3	12–20	13–20	27–35	8–12	30–35
	Химиялық құрамы (%)						
	<i>Na₂O</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>SiO₂</i>	<i>CaO</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>SO₃</i>	<i>CO₂</i>
	0,3–0,7	15–17	6,5–7	4,5–5,5	53–60	2–3	6,5–10,5

Кесте 5

Фракциялар бойынша безді құмардың химиялық құрамы

Table 5

Chemical composition of glandular sands by fractions

Таблица 5

Химический состав железистых песков по фракциям

Фракция, мм	Фракцияның құрамы, %	Құрамы (%)							
		<i>Na₂O</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>SiO₂</i>	<i>CaO</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>SO₃</i>	<i>CO₂</i>	<i>FeO</i>
(+5)	0,26	1,1	31,6	8,5	5,1	25,1	-	4,0	3,8
(-5+3)	3,05	0,76	33,0	6,4	5,2	26,2	1,64	7,21	6,6
(-3+1)	23,98	0,74	28,6	6,8	5,3	34,2	2,23	9,03	9,0
(-1+0,63)	17,43	0,91	22,1	7,1	5,7	41,3	2,22	10,29	10,6
(-0,63+0,25)	29,1	1,12	15,3	7,9	5,6	49,6	2,0	10,10	10,6
(0,25+0,15)	10,95	1,06	11,8	9,3	4,1	58,0	1,80	5,25	6,3
(-0,15)	14,25	0,79	10,0	6,5	2,6	67,9	2,0	2,48	3,2

Кесте 6

Безді құмдардың фазалық құрамы

Table 6

Phase composition of glandular sands

Таблица 6

Фазовый состав железистых песков

Құмның құрамына кіретін минералдар (%)							
Каолинит	Гиббсит	Гетит	Анатаз	Кварц	Сидерит	Гематит	Кальцит
9–14	13–18	2,7–3,4	2,3–2,7	1,3–2,2	10–15	39–47	3–5

Кесте 7

Темір боксит шламының химиялық құрамы

Table 7

Chemical composition of iron bauxite sludge

Таблица 7

Химический состав шлама железного боксита

Сынаманың атауы	Сынаманың құрамындағы элементтердің атауы (%)								
	C	O	Na	Al	Si	S	Ca	Ti	Fe
Темір боксит шламы	7,54	43,55	1,80	2,30	5,28	0,27	21,01	1,05	17,21

Кесте 8

Күл қожының химиялық құрамы

Table 8

Chemical composition of fly ash

Таблица 8

Химический состав летучей золы

Сынаманың атауы	Сынаманың құрамындағы элементтердің атауы (%)										
	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Fe
Күл қожы	21,02	45,47	0,41	0,16	10,19	17,71	0,22	0,41	0,64	0,64	3,14

Кесте 9

Көміртектің химиялық құрамы

Таблица 9

Химический состав углерода

Table 9

Chemical composition of carbon

Сынаманың атауы	Сынаманың құрамындағы элементтердің атауы (%)									
	C	O	F	Na	Al	S	K	Ca	Fe	Na
Көмір	71,83	5,27	13,85	2,74	2,15	1,50	0,19	0,72	0,89	0,85

2. Фосфогипстің құрамында металдар мен сілтілі жер металдары және олардың оксидтері бар: кремний, темір, алюминий, кальций, магний, титан, калий – минералды немесе органоминералды тыңайтқыштардың құрамында қолдануға болатын микроэлементтер. Фосфогипстеги Фтор тазартуды қажет етеді.

3. Фосфогипс, оның құрамында алюминий силикаттары мен кальций силикат қоспаларының едәуір болуына байланысты, құрылыс индустриясында тұтқыр материалдарды өндіруде қолданыла алады.

4. Қызыл шламның, атап айтқанда, боксит құмының темірінің химиялық құрамын талдау нәтижелері бойынша минералды тыңайтқыштар өндірісінде немесе құрылыс индустриясында тұтқыр ретінде қолдануға болатын фосфогипс сияқты элементтердің болуы анықталды.

5. Электрондық микроскоп ерітіндісінде жүргізілген боксит құмының, күл қожының және көміртектің элементтік талдауы алюминий өндірісінің бұл қалдықтарын органико-минералды тыңайтқыштарды алу кезінде

қолдануға болатындығын анықтауға мүмкіндік береді. фосфорит ұнымен, фосфогиппен және қызыл шламмен белгілі бір қатынас. Негізгі компоненттен басқа тыңайтқыштардың құрамындағы микроэлементтер, натрий,

калий және құрамында көміртегі бар заттар сулы ортада егіс алқаптарын суару кезінде сілтілі металдармен химиялық реакцияларға түседі және өсімдіктерді метобилизациялау үшін өте қажет гуматтарды шығарады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Қаратау фосфориттерін қайта өңдеу. Позина М.Е., Кобылева Б.А., Белова В.Н., Ершова В.А. редакциямен. Л.: Химия, 1975. 272 б. (орыс тілінде)
2. Б.А. Кобылев. Фосфор қышқылын алу технологиясы. 2-ші басылым. Қайта өңдеу: Л.: Химия, 1981. 224 б. (орыс тілінде)
3. Жантасов К.Т., Айбалаева К.Д., Франгулиди Л.Х. және т.б. Сары фосфор өндірісінің технологиялық жабдықталуы: Оқулық, басылым: Алматы: Эверо, 2014. 444 б. (орыс тілінде)
4. «Қазфосфат» ЖШС мен «Фосфогипсті табиғи фосфориттерді байыту процесінің қалдықтарына жатқызу бойынша теориялық-талдамалық және эксперименттік зерттеулер» ФЗЖ туралы есебі, УДК: 661.632.1., 541.1:661.2/.6:631.8 (07). Тақырыптың жетекшісі т.ғ.д., профессор Жантасов К.Т., Шымкент, 2024. 83 б. (орыс тілінде)
5. Юкай З., Ченглонг З. Амфотерлі металдардың қауіпті қалдықтары және мырыш пен қорғасынның гидрometаллургиялық процестері. Кітапта: Ластануды бақылау және амфотерлі металдардың қауіпті қалдықтарының сілтілі гидрometаллургиясы үшін ресурстарды қайта пайдалану. 2017. Шығ. 18. Б. 1–11 (ағылшын тілінде)
6. Дилуэй К. Азаматтық құрылыста геотехникалық материал ретінде пайдалану үшін Қызыл шламның сипаттамалық қасиеттерін бағалау // Халықаралық инженерлік және технологиялық жетістіктер журналы. 2014. Т. 7. № 3. Б. 1053–1059 (ағылшын тілінде)
7. Абрамов А.А. Қатты пайдалы қазбаларды өңдеу байыту және кешенді пайдалану: оқу. 2 т. М.: ММТУ, 2004 (орыс тілінде)
8. Эсетлили Б.Ч., Япрак Г., Анач Д. Тыңайтқыштардың табиғи радиоактивтілігі Түркияның Эге аймағының ауылшаруашылық жерлерінде кеңінен қолданылады // Фресениус Экологиялық Бюллетені. 2015. Шығ. 24. Б. 2837–2842 (ағылшын тілінде)
9. Сабирзянов Н.А., Яценко С.П. Бокситтерді кешенді өңдеудің гидрохимиялық әдістері: Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 386 б. (орыс тілінде)
10. Антрекович Дж., Штайнлехнер С. Құрамында мырыш, қорғасын және мыс бар жанана өнімдерді тиімді пайдалану. Кітапта: Минералдар, металдар және материалдар сериясы: Чам: Спрингер, 2019. Б. 243–249 (ағылшын тілінде)
11. Тамақ қалдықтарынан түзілетін органикалық қышқылды сұйықтықты пайдаланып ластанған топырақтан ауыр металдарды қалпына келтіру: Cd, Cu және Zn жою және топырақ құнарлығын арттыру / Дай С. [және т. б.] // Қоршаған ортаға әсері. 2017. Т. 18. Шығ. 24. Б. 15260–15269 (ағылшын тілінде)
12. Скандий концентратын алу арқылы глинозем өндірісінің үйінді шламын өңдеу / Пягай И.Н. [және т. б.] // Тау-кен институтының жазбалары. 2016. Т. 218. Б. 225 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Pererabotka fosforitov Karatau. Pod red. Pozina M.E., Konyleva B.A., Belova V.N., Ershova V.A. [Processing of Karatau phosphorites. Edited by Pozina M.E., Konyleva B.A., Belova V.N., Yershova V.A.]. Leningrad: Khimiya, 1975. 272 p. (in Russian)
2. B.A. Kopylev. Tekhnologiya ekstraktsionnyi fosfornoj kisloty. 2-e izd. pererab. [Phosphoric acid extraction technology. 2nd ed. Reprint]. Leningrad: Khimiya, 1981. 224 p. (in Russian)
3. Zhantsov K.T., Aybalayeva K.D., Frangulidi L.H. et al. Tekhnologicheskoe osnashchenie proizvodstva zheltogo fosfora: ucheb. [Technological equipment for the production of yellow phosphorus: textbook]. Almaty: Evero, 2014. 444 p. (in Russian)
4. Otchet o NIR «Teoreticheski-analiticheskie i eksperimental'nye issledovaniya po otneseniyu fosfogipsa k otkhodu protsessa obogashcheniya prirodnikh fosforitov s polucheniem tselevoi produktsii» s TOO «Kazfosfat» [Research report «Theoretical, analytical and experimental studies on the attribution of phosphogypsum to the waste of the process of enriching natural phosphorites to obtain target products» from Kazphosphate LLP], UDC: 661.632.1., 541.1:661.2/.6:631.8 (07). Head of the topic, Doctor of Technical Sciences, Professor K.T. Zhantsov, Shymkent, 2024. 83 p. (in Russian)
5. Yukai Z., Chenglong Z. Hazardous waste of amphoteric metals and hydrometallurgical processes of zinc and lead processing. In book: Pollution control and reuse of resources for alkaline hydrometallurgy of hazardous waste of amphoteric metals, 2017. Vol. 18. 1–11 pp. (in English)

6. Dilway K. Assessment of the characteristic properties of red sludge for possible use as a geotechnical material in civil engineering // *International Journal of Engineering and Technology Achievements*. 2014. V. 7. No. 3. 1053–1059 pp. (in English)
7. Abramov A.A. *Pererabotka obogashchenie i kompleksnoe ispol'zovanie tverdykh poleznykh iskopaemykh: ucheb. v 2 t. [Processing, enrichment and integrated use of solid minerals: textbook: in 2 volumes]*. Moscow: MGTU, 2004 (in Russian)
8. Esetlili B.Ch., Yaprak G., Anach D. Natural radioactivity of fertilizers widely used on agricultural lands of the Ege region in Turkey // *Fresenius Environmental Bulletin*. 2015. Vol. 9. Issue 24. 2837–2842 pp. (in English)
9. Sabirzyanov N.A., Yatsenko S.P. *Gidrokhimicheskie sposoby kompleksnoi pererabotki boksitov [Hydrochemical methods of complex bauxite processing]*. Yekaterinburg: UrO RAN, 2006. 386 p. (in Russian)
10. Antrekowitsch J., Steinlechner S. Efficient utilization of zinc-, lead- and coppercontaining by-products. In book: *The Minerals, Metals & Materials Series: Cham: Springer, 2019. 243–249 pp. (in English)*
11. Reclamation of heavy metals from contaminated soil using organic acid liquid generated from food waste: Removal of Cd, Cu, and Zn, and soil fertility improvement / Dai S. [et al.] // *Environ sci pllut Res Int*. 2017. V. 24. Issue 18. 15260–15269 pp. (in English)
12. *Pererabotka otval'nogo shlama gliozemnogo proizvodstva s izvlecheniem skandievogo kontsentrata [Processing of alumina production sludge with the extraction of scandium concentrate]*, / Pyagai I.N. [et al.], *Zapiski Gornogo instituta [Notes of the Mining Institute]*. 2016. V. 218. 225 p. (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Переработка фосфоритов Каратау. Под ред. Позина М.Е., Копылева Б.А., Белова В.Н., Ершова В.А. Л.: Химия, 1975. 272 с. (на русском языке)*
2. *Копылев Б.А. Технология экстракционный фосфорной кислоты. 2-е изд. перераб.: Л.: Химия, 1981. 224 с. (на русском языке)*
3. *Жантасов К.Т., Айбалаева К.Д., Франгулиди Л.Х. и др. Технологическое оснащение производства желтого фосфора: учеб.: Алматы, Эверо, 2014. 444 с. (на русском языке)*
4. *Отчет о НИР «Теоретически-аналитические и экспериментальные исследования по отнесению фосфогипса к отходу процесса обогащения природных фосфоритов с получением целевой продукции» с ТОО «Казфосфат», УДК:661.632.1., 541.1:661.2/.6:631.8 (07). Рук. темы д.т.н., профессор Жантасов К.Т., Шымкент, 2024, 83 с. (на русском языке)*
5. *Юкай З., Ченглонг З. Опасные отходы амфотерных металлов и гидрометаллургические процессы переработки цинка и свинца. В кн.: Контроль загрязнения и повторное использование ресурсов для щелочной гидрометаллургии опасных отходов амфотерных металлов, 2017. Т. 18. С. 1–11 (на английском языке)*
6. *Дилуэй К. Оценка характерных свойств красного шлама для возможного использования в качестве геотехнического материала в гражданском строительстве // Международный журнал достижений инженерии и технологий. 2014. Т. 7. № 3. С. 1053–1059 (на английском языке)*
7. *Абрамов А.А. Переработка обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых: учеб. в 2 т. М.: МГТУ, 2004 (на русском языке)*
8. *Эсетлили Б.Ч., Япрак Г., Анач Д. Естественная радиоактивность удобрений, широко используемых на сельскохозяйственных землях региона Эге в Турции // Экологический бюллетень Фрезениуса. 2015. Т. 9. Вып. 24. С. 2837–2842 (на английском языке)*
9. *Сабирзянов Н.А., Яценко С.П. Гидрохимические способы комплексной переработки бокситов: Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 386 с. (на русском языке)*
10. *Антрекович Дж., Штайнлехнер С. Эффективное использование побочных продуктов, содержащих цинк, свинец и медь. В кн.: Серия минералы, металлы и материалы: Cham: Спрингер, 2019. С. 243–249 (на английском языке)*
11. *Извлечение тяжелых металлов из загрязненной почвы с использованием органической кислотной жидкости, полученной из пищевых отходов: удаление Cd, Cu и Zn и улучшение плодородия почвы / Дай С. [и др.] // Воздействие на окружающую среду. 2017. Т. 24. Вып. 18. С. 15260–15269 (на английском языке)*
12. *Переработка отвального шлама глиноземного производства с извлечением скандиевого концентрата / Пягай И.Н. [и др.] // Записки Горного института. 2016. Т. 218. С. 225 (на русском языке)*

Авторлар туралы мәліметтер:

Жантасов К.Т., т.ғ.д., профессор, ғылыми-зерттеу зертханасының меңгерушісі, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті КеАҚ (Шымкент қ., Қазақстан), k_zhantasov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2600-1610>

Жантасова Д.М., «Экология» кафедрасының Ph.D докторанты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті КеАҚ (Шымкент қ., Қазақстан), dina_mj74@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2041-5812>

Якубова Р.Р., т.ғ.к., доцент, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті КеАҚ (Шымкент қ., Қазақстан), yarr-57@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1813-1933>

Исаева Р.А., т.ғ.к., «Экология» кафедрасының профессоры, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті КеАҚ (Шымкент қ., Қазақстан), razia_68@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3752-9103>

Information about the authors:

Zhantsov K.T., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory Non-profit joint-stock company «M. Auezov South Kazakhstan University» (Shymkent, Kazakhstan)

Zhantsova D.M., Doctoral student of the Department of Ecology, Non-profit joint-stock company «M. Auezov South Kazakhstan University» (Shymkent, Kazakhstan)

Yakubova R.R., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Non-profit joint-stock company «M. Auezov South Kazakhstan University» (Shymkent, Kazakhstan)

Isayeva R.A., Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Ecology, Non-profit joint-stock company «M. Auezov South Kazakhstan University» (Shymkent, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Жантасов К.Т., д.т.н., профессор, заведующий научно-исследовательской лаборатории, НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова» (г. Шымкент, Казахстан)

Жантасова Д.М., Ph.D докторант кафедры «Экология», НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова» (г. Шымкент, Казахстан)

Якубова Р.Р., к.т.н., доцент, НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова» (г. Шымкент, Казахстан)

Исаева Р.А., к.т.н., профессор кафедры «Экология», НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова» (г. Шымкент, Казахстан)



СПТО КРАНЫ
WWW.CRANE-EXPO.RU

17-19 июня 2026
г. Москва, ВДНХ,
57 павильон

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

СПТО КРАНЫ

СПЕЦТЕХНИКА И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

К 80-ЛЕТИЮ ЛИ ЭРЫ МЕНГУКОВНЫ

5 января 2026 года лауреат премии имени академика Е.А. Букетова Академии минеральных ресурсов Республики Казахстан Ли Эра Менгуковна отмечает свой 80-летний юбилей.

Эра Менгуковна родилась в селе Ленинский путь Каратальского района Талдыкорганской (ныне Алматинской) области. В 1970 году она успешно окончила Северо-Кавказский горно-металлургический институт по специальности «Обогащение полезных ископаемых» и по распределению была направлена в Научно-исследовательский и проектный институт по обогащению руд цветных металлов «Казмеханобр». С тех пор вся ее профессиональная жизнь неразрывно связана с этим коллективом: в трудовой книжке Эры Менгуковны и поныне значится единственная запись.

Придя в Казмеханобр молодым специалистом, она с большим интересом погрузилась в специфику обогащения минерального сырья, выбрав эту сферу делом всей жизни. За долгие годы плодотворной работы Эра Менгуковна прошла путь от инженера до начальника отдела обогащения минерального сырья и полупромышленных испытаний – одного из ключевых подразделений объединения. Ли Э.М. зарекомендовала себя как вдумчивый и инициативный инженер-исследователь, постоянно работающий над повышением своего научно-технического уровня. Она активно участвует не только в научно-производственной, но и в общественной жизни института, вносит значимый вклад в развитие коллектива.

Эра Менгуковна обладает уникальным, накопленным десятилетиями опытом по разработке, совершенствованию и внедрению технологий переработки самого разнообразного минерального сырья: полиметаллических, барит-полиметаллических, свинцово-цинковых, золото-содержащих, золото-медных, медно-цинковых, баритовых, марганцевых, хромовых, медно-молибденовых, титано-циркониевых, никелевых руд, а также техногенных образований.

В последние годы под ее руководством и при личном участии выполнен ряд важных научно-технологических исследований, по результатам которых разработаны инновационные технологии переработки руд месторождений Кундызды, Хаджиконган, Акжар Сарытумское, Шокпар, Гагаринское, а также подготовлены технологические регламенты на проектирование целого ряда обогатительных фабрик Республики Казахстан.

Высокие результаты научно-организационной деятельности Э.М. Ли неоднократно отмечались на государственном уровне. Особое место среди наград занимают нагруд-



ные знаки «Еңбек даңқы III степени», «Еңбек даңқы II степени» и «Еңбек ардагері» Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан. За разработку инновационных подходов к комплексной переработке медных руд месторождений Казахстана, содержащих благородные металлы, Эра Менгуковна удостоена премии имени академика Е.А. Букетова.

На протяжении многих лет Эра Менгуковна уделяет большое внимание стабильной работе отдела обогащения минерального сырья и полупромышленных испытаний Казмеханобра, активно занимается наставничеством, щедро делится с молодыми специалистами своим опытом и знаниями. Результаты ее научно-практической деятельности регулярно публикуются в профильных изданиях, она выступает с докладами на республиканских и международных конференциях.

Неиссякаемая работоспособность, высокий профессионализм, открытость, доброжелательность и уважительное отношение к коллегам позволили Эре Менгуковне добиться значительных успехов в области обогащения минерального сырья и завоевать искреннее признание и глубокое уважение научного и производственного сообщества.

От всей души поздравляем Эру Менгуковну с 80-летним юбилеем и желаем ей крепкого здоровья, благополучия, душевного тепла, новых идей и дальнейших творческих свершений во имя развития минерально-сырьевой базы Казахстана!

Коллектив ГНПОПЭ «Казмеханобр»

СТАТЬИ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В 2025 ГОДУ

БУРЕНИЕ СКВАЖИН

№ 12 2025

*М.Т. Камалов, Ф.У. Аширов, И.И. Рахимхонов

О технических средствах на основе двойных бурильных колонн и многолетнем опыте создания уникальных комплексов в Узбекистане

ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

№ 2 2025

*А.С. Турдалиева, Б.Р. Ракишев, Р.В. Гаврилко

Разработка и применение низкоплотных взрывчатых веществ

ГЕОДЕЗИЯ

№ 2 2025

Г. Рахимов, *М.Б. Игемберлина, Ж. Алданыш, Ж.Қ. Қадыр

PHOTOMOD сандық фотограмметриялық жүйесінде 1:2000 масштабты сандық ортофотопландарды құру

М.Б. Нурпеисова, *Б. Мынжасаров, Д.М. Киргизбаева, Т.Б. Нурпеисова

Актуальность стадии подготовки GNSS наблюдений при выполнении прикладных задач

№ 3 2025

А.Е. Ормамбекова, Р. Шульц, *Д.М. Киргизбаева, Т.Б. Нурпеисова

Оценка эффективности автоматической системы наблюдения для высотных конструкций с включением измерений ГНСС

А.С. Эбен, Х. Дай, *Ы. Жакыпбек, Б.Б. Күмісханова

Электр желі тректерін қалпына келтірудегі LiDAR деректерін геодезиялық есептеу

*А.К. Сатбергенова, А.К. Зекен, Ф.К. Низаметдинов, Н.Ф. Низаметдинов

Дифференциалды интерферометрия әдісі арқылы жер бетінің қозғалысын бақылау нәтижелері

№ 4 2025

Г. Рахимов, А.Ж. Жанибек, *М.Б. Игемберлина, Ж.М. Батыршаева

Мониторинг изменения площади озера Балхаш с помощью геопространственной платформы Google Earth Engine

№ 5 2025

*М.Б. Игемберлина, Г.Е. Жунусова, А.С. Туякбай, А.Б. Жаксыбаева

Применение беспилотных летательных аппаратов при разработке месторождений полезных ископаемых

№ 6 2025

*М.А. Alpyrbay, А.В. Umirbaeva, Zh. Kozhaev, N. Mussakhan

Multispectral analysis of ASTER data for remote sensing of porphyry copper deposits

Х.М. Касымканова, А.А. Кенбаев, *Р.А. Ахметов, А. Ибраимова

Перспективы применения спутникового нивелирования в условиях Республики Казахстан

Ф.А. Илиуф, *Т.С. Садыкова, А.Т. Камза, С.Ж. Бейсенбаева

Сравнение цифровых моделей рельефа на примере склона международного комплекса лыжных трамплинов «Сункар»

*А. Ильясова, Д.Э. Урманова, Э.Б. Серикбаева, С.В. Турсбеков

Оценка точности математических методов картирования геологических объектов

К.А. Жанакулова, *Р.Ж. Мелс, Н.Т. Кемербаев, Р.С. Абдыкалыкова

Определение вертикального градиента силы тяжести

А. Ержанқызы, *С. Нурақынов, А. Бермуханова, М. Қожахметов

Построение базы данных гравиметрической информации для модели геоида Казахстана

А. Kenesbayeva, *E.I. Kuldeev, E.O. Shalenov, T.B. Nurpeissova

Application of the kriging method for gravity data interpolation

№ 8 2025

*Ы. Жакыпбек, А. Айдарқызы, Е.Е. Бегимжанова, С.Н. Мустапаева

Қашықтықтан зондтау деректері негізінде Теміртау қаласындағы қалдық үйінділерінің көлемінің өзгеруін және қоршаған ортаның ластануын бағалау

№ 11 2025

Н.Н. Мусахан, *Ы. Жакыпбек, С.В. Турсбеков, С.Н. Мустапаева

Жердің шөлейттенуін спутниктік геодезия негізінде мониторингтеу

*М.Б. Игемберлина, Г.Е. Жунусова, Ә.С. Тұяқбай, С.Б. Асланова

Цифрлық технологияларды қолдана отырып, өнеркәсіптік алаңда геодезиялық негіздеме жобасын әзірлеу

ГЕОЛОГИЯ

№ 4 2025

A. Duisebekova, A. Ubaydullaeva, A. Seytmetova, A. Yerimova*

Study of geological processes in Southern Kazakhstan under the influence of climate change

№ 5 2025

*С.С. Айтбаева, Ж.А. Шаяхметова, М.А. Мизерная

Қалба-Нарым аймағының қалба кешенінің I фазасының гранитоидтарының кенділігі

№ 6 2025

*Э.О. Орынбасарова, *Б. Адебиет, О. Байтурбай, М.К. Закария*

Ақтоғай мыс-порфирлі кен орнының мысалында гидротермиялық өзгерген аймақтарды жіктеу үшін машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану

*А.А. Бекботаева, К. Фурлонг, *Д.Н. Талгарбаева, Т.Л. Абдуллаева*

Медно-порфировые месторождения Кордильерского (США) и Центрально-Казахстанского рудных поясов: влияние тектонических условий на рудообразование

№ 9 2025

*Е.Т. Бекшиев, *М.Е. Рахымбердина, Е. Левин, А.К. Капасов*

Қалба-Нарым кен белдеуінің сирек кездесетін металл кен орындарының дерекқорын құру

*Д.Н. Талгарбаева, Э.Б. Серикбаева, Э.О. Орынбасарова

Линейменттік талдауды қолдану арқылы Ақтоғай кенорнында мысты порфир рудасының орналасу заңдылықтарын анықтау

*А. Жумагазиев, *С. Қурбаниязов, Т. Шоймуротов, М. Мамадияров*

Глауконитоносность палеогеновых отложений Южного Казахстана

№ 10 2025

*С.Е. Раус, Н.Т. Пак, *М.К. Кембаев, А. Қ. Амантаев*

Геология гранитов Жельтауского интрузивного массива и перспективы их применения в строительной индустрии

*А.А. Рагданова, И.Е. Матайбаева, Г.Б. Оразбекова, А. Долгополова

Уточнение геолого-структурных особенностей и перспективы обнаружения медно-молибденового оруденения юго-восточного участка Каргоба

*D.M. Baklagin, M.V. Lepuyavko, M.V. Ponomareva, *Ye.V. Ponomareva*

Study of the tectonics of the paleozoic strata of the Bidaik ore field

ГЕОМЕХАНИКА

№ 1 2025

*V.F. Demin, D.R. Akhmaturov, *R.A. Mussin, N.M. Zamaliyev*

Technology of geomechanical process control to increase the stability of the contour massif around workings

*А.Қ. Матаев, *Ж.М. Асанова, А.М. Хамзе, А.А. Рахимберлина*

Исследование физико-механических свойств горных пород рудных месторождений с оценкой естественного напряженного состояния массива

№ 2 2025

*Э.Р. Халикова, *А.Е. Жумабекова, Д.С. Сыздықбаева, М.Г. Мустафин*

Тау жыныстарының әлсіреген аймағын нығайту жөніндегі технологиялық схемаларды әзірлеу

№ 3 2025

*А.А. Алтаева, Б.Б. Садыков, А.Б. Даркенбаева, А. Таскара

Инструментальные наблюдения за деформационными процессами земной поверхности Орловского месторождения

№ 4 2025

*Д.М. Қырғызбаева, *Т.Б. Нұрпейісова, Ж.Т. Кожаяев, Д.С. Мұханбеткәрім*

Жыланды кенішіндегі геомеханикалық үдерістерді зерттеу

№ 5 2025

*V.V. Zhurov, *R.A. Mussin, N.M. Zamaliyev, D.R. Akhmaturov*

Computer modeling of the stress-strain state of the near-contour rock mass

№ 7 2025

*Д. Таханов, *А. Рымкулова, Б. Рахметов, М. Балпанова***Комплексное применение методов LEM и FEM для оценки геомеханических рисков***А.Ж. Имашев, *А.А. Мусин, Г.Т. Нуриайыкова, М. Рабатұлы***Применение кинематического анализа для оценки устойчивости откосов техногенных образований**

№ 9 2025

*А.М. Суимбаева, *А.Қ. Матаев, А.Ж. Ауелбекова, Ж. Шлатаев***Анализ международного опыта по снижению потерь и разубоживанию руд при разработке маломощных рудных залежей**

№ 10 2025

*А.М. Суимбаева, *А.Ж. Имашев, Г.Ж. Жунусбекова, А.А. Мусин***Оценка устойчивости горных выработок в зонах влияния отработанных пространств**

№ 12 2025

*N.M. Zamaliyev, D.R. Akhmaturov, R.A. Musin, V.F. Demin***Prospects for the application of foreign experience in the conditions of domestic coal deposits****ГЕОТЕХНОЛОГИЯ**

№ 1 2025

*A. Zhumabekova, *E. Khalikova, D. Meiram, D. Syzdykbayeva***Scientific-technical achievements analysis and industrial experience in strengthening excavation workings***А.Қ. Матаев, *Ж.М. Асанова, А.М. Хамзе, А.А. Рахимберлина***Исследование физико-механических свойств горных пород рудных месторождений с оценкой естественного напряженного состояния массива**

№ 2 2025

*D.R. Akhmaturov, *N.M. Zamaliyev, V.F. Demin, N.Y. Ganyukov***Modeling the stability of mining excavations***Б.Р. Ракишев, *А.А. Орынбай, Т.С. Ибырханов***Добыча руд без эксплуатационных потерь из сложноструктурных блоков уступов**

№ 4 2025

*Б. Хусан, А.Ж. Имашев, *Д.Т. Ивадлинова, Р.Ж. Искаков***Кенорындарды жерасты қазуға көшкенде кенде өздігінен құлату жүйесінің әлемдік тәжірибенің талдауы**

№ 5 2025

*С.Н. Шапошник, Л.А. Крупник, *Ю.Н. Шапошник, В.А. Портола***Пригодность инертных заполнителей для приготовления сухой или бутобетонной закладки***Б. Хусан, Ж.Б. *Ныгыметов, Ж.А. Азимбаева, Е. Бекболат***Эффективность применения цифровых технологий на открытых горных работах**

№ 7 2025

*Б. Хусан, *Ж.Б. Ныгыметов, А.Ю. Кишенова, С.Т. Асаинов***Оптимизация процессов горных работ с использованием методов цифровизации**

№ 8 2025

С.К. Молдабаев, Г.Н. Асылханова, А.С. Молдабаев, С.А. Асылханова*Секторальное моделирование открытых горных выработок в программе RS3 компании Rocscience***T. Aldubay, B. Khussan, *M. Rabatuly***Methods of hardening the laying array and acoustic control of its stability during underground mining**

№ 9 2025

А.З. Букаева, В.В. Поветкин*Теоретические основы применения огнеструйной технологии для разрушения горных пород***B. Khussan, B. Tolovkhan, L. Abdiyeva, *M. Rabatuly***Development of recommendations for determining the location of the mouths of geotechnical wells**

№ 11 2025

*Р.А. Мусин, В.Ф. Демин, *Д.Р. Ахматнуров, И.М. Шмидт-Федотова***Пучение вмещающих пород под влиянием горного давления: численное моделирование и анализ параметров**

№ 12 2025

*А.А. Бояндинова, *Ж.А. Адилханова*

Подход к проектным управленческим решениям для геотехнологических комплексов карьеров с автотранспортом

*Д. Таханов, *А. Жиенбаев, М. Балпанова, Д. Нурекин*

Обоснование параметров новой технологии разработки с применением массивных и барьерных целиков на руднике Жомарт

ГЕОХИМИЯ

№ 11 2025

*A. Zhumagaziev, *S. Kurbaniyazov, A. Damenova, A. Beskempirova*

Stratigraphy and geochemistry of sulfate formations in the Shert gypsum deposit

ГЕОЭКОЛОГИЯ

№ 1 2025

*E.I. Kuldeyev, A.A. Ashimova, E.A. Bek, *M.B. Nurpeisova*

High lag for the «Green Kazakhstan» project

№ 2 2025

*K.T. Abdraitova, *G.B. Toychibekova, G.S. Shalabaeva, A.M. Seymetova*

Mechanical composition, dynamics of physical properties of soil contaminated with polymetallic combine waste

№ 3 2025

*G. Shalabaeva, *G. Toychibekova, S. Kurbaniyazov, A. Damenova*

Study of the impact of limestone mining and processing on ecosystems

*К.Т. Абдраимова, *Г.Ж. Турметова, Э.К. Ибрагимова, Д.К. Сунакбаева*

Фосфор қосылыстарының негізінде техногенді ластанған топырақтарды мелиорациялау

№ 4 2025

**Д.К. Сунакбаева, Д.Х. Юлдашбек, К.У. Айтекова, Ж.Т. Уйсимбаева*

Геоэкологическая оценка влияния природных минералов на состав почвы

*G. Shalabayeva, *N. Abdimalip, L. Baikeyeva, E. Zhorabekov*

Geological characteristics of sands and the impact of their production processes on the environment

№ 5 2025

*A. Anarbayev, *N. Abdimalip, G. Shalabayeva, A. Beskempirova*

The ecological importance of processing phosphate raw materials to produce finished products

*Д. Джармуханбетова, Е. Тулегенов, Л. Байкеева, *К. Баешова*

Климаттық өзгерістерге байланысты Түркістан облысының қалалық аумақтарындағы геофизикалық өзгерістерді зерттеу

№ 7 2025

*A. Abulgaziev, A. Zhumagaziev, *S. Kurbaniyazov, N. Saburova*

Geomorphological analysis of river systems in the Sauran district under the arid climate conditions

№ 8 2025

**А.М. Сариева, Н.Р. Тауова, М. Бержанова, А. Сакпарова*

Исследование пространственного распределения H₂S в атмосферном воздухе Атырау в условиях зимнего сезона

№ 10 2025

**Д.К. Сунакбаева, Д.Х. Юлдашбек, К.У. Айтекова*

Физико-химические характеристики бентонитовых глин Урангайского и Ибатинского месторождений и их применение в экологических технологиях

*Г.Д. Кенжалиева, *Л.М. Оралбекова, А.С. Наукенова, А.Д. Байботаева*

Топырақ пен жер асты суларына әсерін анықтау үшін қалдықтардың морфологиялық компоненттерінің химиялық құрамын зерттеу

*Н. Әбдімүтәліп, Ә. Құралбай, *Г. Тойчибекова, А. Еримова*

Антропогендік және климаттық факторлардың әсерінен Түркістан қаласының топырақ-жер жамылғысының геологиялық-геоморфологиялық өзгерістері

№ 11 2025

**А.А. Исмаилова, Н. Жалғасулы, Н. Уайсулы*

Обезвреживание подземных вод при добыче полезных ископаемых

**Д.К. Сунакбаева, Д.Х. Юлдашбек*

Геоэкологическая оценка засоления почв в горно-долинных районах Туркестанской области (на примере долин Урангай и Ащысай)

№ 12 2025

*Д.М. Жантасова, *К.Т. Жантасов, Р.Р. Якубова, Р.А. Исаева***Мақсатты өнім алу үшін табиғи-техногендік шикізат ресурстарының элементтік және оксидтік құрамдарын зерттеу****ГОРНЫЕ МАШИНЫ**

№ 7 2025

О. Kurbonov, L. Atakulov, G. Akanova, D. Kramsakov*Investigation of velocity modes of liquid flows around electric motors of submersible pumps***Ж.К. Тамаева, К.К. Елемесов, *Д.Д. Басканбаева, Л.Б. Сабирова***Газ айдау станциясының бұрандалы компрессорының электр жетегін оңтайландыру**

№ 11 2025

А.З. Букаева, В.В. Поветкин*Исследование воздействия высокоскоростной газовой струи терминструмента при добыче гранитных блоков****КРЕПЛЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

№ 10 2025

*Е.Е. Искаков, Д.Б. Аманжолов, *Ж.Г. Кенесов, А.Қ. Алип***Орнықсыз тау-кен сілемдерін химиялық әдіспен бекітудегі реагенттердің сіңу заңдылықтарын анықтау****МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО**

№ 7 2025

*Г.С. Мадимарова, *Т.Б. Нурпеисова, А.Е. Ормамбекова, Ш.А. Жантуева***Исследование маркшейдерско-геодезических и геотехнических данных бассейна Каратау****МЕТАЛЛУРГИЯ**

№ 1 2025

*Н.К. Нургабыл, *К.К. Мамырбаева***Исследование сорбции золота активированным углем в присутствии металлов примесей***А.А. Абілберікова, *Б.Т. Уахитова, М.М. Тайжигитова, Қ.Т. Есқалина***Феррокорытпа өндірісін эко-бағдарланған дамыту: Ақтөбе облысының тәжірибесі**

№ 2 2025

*С.С. Коньратбекова, *Ж. Шопанбек, С.Б. Нуржанова, С.А. Семенов***Адсорбционная очистка промышленных вод от катионов тяжелых металлов модифицированными цеолитами**

№ 3 2025

Т.Ш. Тусупбекова, Б.С. Баимбетов, Л.М. Каримова, С.В. Мамяченко*Анализ способов переработки молибденовых руд и концентратов**

№ 8 2025

*Е.Е. Жолдасбай, М.Б. Курмансейтов, А.А. Аргын, *Н.К. Досмухамедов***Оценка экономической эффективности хлорирующей технологии для переработки Е-лома****Т.К. Сарсембеков, Т.А. Чепуштанова, Е.С. Меркибаев, Т. Янко***Исследование минерализации редких и редкоземельных элементов в ильменитовом концентрате Сатпаевского месторождения Восточно-Казахстанской области**

№ 9 2025

Ж.К. Саулебек, А.М. Абдирашит, Р.Т. Толеукадыр, Н.Ю. Лу*Исследования процессов получения молибден- и вольфрамсодержащих тугоплавких лигатур с использованием ферроалюмосиликокальция**

№ 11 2025

*Ж.А. Юсупова, Н.К. Досмухамедов, В.А. Каплан, *Е.Е. Жолдасбай***Влияние параметров цианирования на извлечение золота из флотоконцентратов упорных руд Центрального Казахстана**

№ 12 2025

*А.А. Абілберікова, *Е.У. Жумағалиев, Б.Т. Уахитова, Е.Ж. Шабанов***Феррохром қождарын қайта өңдеу: дәстүрлі технологиялар және жаңа бағыттар***К.К. Мамырбаева, *А.Н. Қуандықова, Е.С. Меркибаев, Б. Мишра***Исследование процесса сульфатизирующего обжига латеритной окисленной никелевой руды для разработки комбинированной технологии переработки**

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ

№ 5 2025

*К.Н. Трубецкой, Ю.П. Галченко, Г.В. Калабин, *М.Ж. Битимбаев*

Природоподобные горные технологии – как новое научное направление при комплексном освоении недр земли

№ 8 2025

*А. Жумагазиев, Р. Кенжебай, *С. Курбаниязов, Т. Шоймуратов*

Состояние сырьевой базы и возможности использования глауконита в промышленности Узбекистана

**А.С. Серикканов, Т.С. Турмагамбетов, М.Ф. Тамендаров, Д.О. Кантарбаева*

Алдын ала шлактық тазартудан өткен металлургиялық кремнийді химиялық тазарту әдістері

№ 9 2025

*Э.Ю. Сейтмуратова, *Д.О. Даутбеков, С. Бакдаuletқызы, А. Даuletұлы*

К эффеkтивности использования металлограмм при анализе рудоносности регионов (на примере Шынгыс-Тарбагатая)

*Г.Ж. Жолтаев, Г.Ж. Нуржанов, *К.С. Тогизов, Д.Б. Муратханов*

Перспективы восполнения запасов и освоения редких и редкоземельных металлов в Казахстане

№ 10 2025

*А. Zhumagaziev, *S. Kurbaniyazov, M. Altynbekova, A. Damenova*

Mineralogical and technological foundations for the use of natural gypsum in the production of binding materials

№ 11 2025

*А. Амангелдіқызы, А.Н. Копобаева, *Н.С. Асқарова, Ә. Бақыт*

Изучение благородных металлов в углях Карагандинского угольного бассейна

НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО

№ 3 2025

*А.Н. Есендосова, *А.К. Абдуллина, Н.С. Малыбаев*

Исследование процессов заводнения месторождения Жетыбай

№ 4 2025

*К.С. Затыбеков, *М.К. Жантасов, Г.Х. Меликов, С.Е. Байботаева*

Күш өрістерін пайдалану арқылы жоғары эмульсиялы мұнайды деэмульсациялау

*М.С. Молдабеков, *М.С. Бөкенова, М. Биржанов*

Нұралы мұнай-газ кен орнының ұңғымаларында плунжерлі лифтіні қолдану тәжірибесін талдау

№ 5 2025

**Ж.Н. Алишева, О.С. Қурманбаев, А. Құмар*

Некоторые особенности компьютерного моделирования при решении научно-прикладных задач

*М.С. Молдабеков, *М.С. Бөкенова, Р.Д. Сүлей*

Құбырөткізгіштер мен ұңғымаларда гидрат пайда болуының алдын алу мен гидрат тығындарын жою әдістеріне талдау

№ 7 2025

**Ж.С. Сарқұлова, Р. Изимова, Р.Е. Байеділ, А.Т. Нұрғали*

Тұрақты энергияға көшу контекстіндегі теңіздегі бұрғылаудың болашағы

№ 8 2025

*А.Р. Кембаев, *Г.Ж. Бимбетова, Н.Ш. Отарбаев, Р.М. Бекенов*

Шегендеу бағаналарын бекіту үшін тампонаждық қоспалардың жаңа құрамын алу

№ 10 2025

**Ә.С. Хадиева, Г.И. Джалалов*

Жоғары тұтқырлы мұнай қабат моделіне полимер ерітіндісін айдау тәжірибесінің нәтижелері

**К.С. Заурбеков, С.А. Заурбеков, Р.К. Мукатов, И.С. Белан*

Применение технологии парогравитационного дренажа на месторождении Каражанбас

№ 11 2025

*Р.Р. Ташменов, А.К. Орынбасаров, А.С. Садырбаева, *М.К. Жантасов*

Бейорганикалық реагенттердің бұрғылау ерітінділерінің ингибирлеуші қасиеттеріне әсері

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

№ 7 2025

*А.Р. Мамбеталиева, *С. Сагатбек, А.О. Мугинов, Б. Жәкен*

Құрамында көмірі бар қалдықтарды реагент-депрессорды қолдану арқылы флотациялық байыту технологиясын зерттеу

№ 10 2025

М.Б. Барменишинова, И.Ю. Мотовилов, М.Ә. Іңкәр, Р.С. Омар*Ақтөбе кен орнындағы қиын байытылатын алтын шикізатын байыту және кешенді өңдеу технологиясын әзірлеу****ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ОПЫТ**

№ 3 2025

А. Доберсек, А. Кирнарский*Технологическое совершенство процессов обогащения железной руды****ОТКРЫТЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ**

№ 1 2025

Д. Қрамсақов, И. Столповских, С. Құзьмин, С. Мелентьев*Обоснование применения контейнерной технологии при перегрузке горных пород в карьерах****ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

№ 4 2025

*Т.И. Ирғибаев, Е.Ю. Русский, С. Жунисбеков, *Н.Б. Имансақипова***Анализ вынужденных колебаний лопатки с учетом внутреннего трения в материале***М.М. Тайжигитова, *Б.Т. Уахитова, А.С. Сериков, Ж.Н. Юсупова***Қазақстан Республикасы металлургия саласының экологиялық проблемаларының негізгі көздері және оларды шешудің мүмкін жолда**

№ 9 2025

*А.В. Садчиков, Д.Р. Ахматнуров, *Н.М. Замалиев, Н.Е. Исина***Исследование эндогенных пожаров и методы их предотвращения****Т.С. Қаппарова, Л.И. Раматуллаева, Б.Т. Уахитова, І.А. Аманжол***Кен байыту саласында өндірістік үрдістердегі кәсіби қауіп мәселесінің өзектілігі****ПЕРЕРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

№ 1 2025

*М.Р. Шаутинов, *Н.Т. Аққазина, Ю.П. Морозов***Исследование обогатимости редкоземельной руды коры выветривания**

№ 4 2025

*М.Р. Шаутинов, *Н.Т. Аққазина, Т.М. Алменов, Р.К. Жанақова***Сирек жер кендерінің гравитациялық байытылуын фракциялық талдау негізінде зерттеу****РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД**

№ 1 2025

К.Т. Атагелдиев, Н.Б. Бахтыбаев, О.А. Абиль*Динамическое разрушение горных пород: экспериментальные и численные методы**

№ 7 2025

*М.К. Татыбаев, О.О. Дүйсенбекова, В.В. Поветкин, *А.А. Кенбай***Установление энергоемкости разрушения гранита по параметрам ударной системы экспериментальным методом**

№ 11 2025

*В. Khusan, S.T. Kakim, *D.T. Iyadilina, A.S. Turdaliyeva***Analysis of research on blasting operations in the preparation of water-filled overburden blocks in open-cut mines**

№ 12 2025

*Б.Р. Рақишев, *А.А. Орынбай, А.Е. Алібаев, Т.С. Ибырханов***Аналитика для цифрового управления качеством дробления пород в подземных выработках****С.Е. Сүйінтаева, О.А. Әбіл, К.Т. Атагелдиев, Д.Р. Махмудов***Исследования причин искривления веерных скважин на руднике Восход**

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/?p1=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;
 - 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 подрисовочном тексте. 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.