

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 №290 от 26.06.2022 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, Москва –
ИРИНА ЯРОПОЛКОВНА ШВЕЦ
shvetsirina@yandex.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 30.01.2025 г.

Отпечатано:
 «Print House Geronа»
 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:

Fathi Habashi (Canada), Dr. techn. [Vienna], Dr.h.c. [St. Petersburg],
 Dr.h.c. [National Tech Univ, Lima], Dr.h.c. [San Marcos Univ, Lima]

Fidelis Tawiah Suorineni, PhD, Professor of Mining Engineering

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

Бекботаева А.А., PhD, ассоц. профессор

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

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

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

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

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

Демин В.Ф., д-р техн. наук, профессор

Едильбаев А.И., д-р техн. наук

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

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

Каримов Ш.В., PhD (Узбекистан)

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

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

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

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

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

Ольшанский Е.Н., член-корреспондент МАИН

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

Ратов Б.Т., д-р техн. наук, профессор

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

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

Тамбиев П.Г., канд. техн. наук

Туробов Ш.Н., PhD, доцент

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

Хамидов Р.А., PhD, доцент

Шодиев А.Н., д-р техн. наук, доцент

Чепуштанова Т.А., PhD

® – статья на правах рекламы

ⓘ – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

- 3 Колонка главного редактора
- Геотехнология**
- 4 *A. Zhumabekova, *E. Khalikova, D. Meiram, D. Syzdykbayeva*
Scientific-technical achievements analysis and industrial experience in strengthening excavation workings
- Разрушение горных пород**
- 12 **К.Т. Атагелдиев, Н.Б. Бахтыбаев, О.А. Абиль*
Динамическое разрушение горных пород: экспериментальные и численные методы
- Открытые горные работы**
- 18 **Д. Крамсаков, И. Столповских, С. Кузьмин, С. Меленъев*
Обоснование применения контейнерной технологии при перегрузке горных пород в карьерах
- Геомеханика**
- 26 *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
- 34 *А.К. Матаев, *Ж.М. Асанова, А.М. Хамзе, А.А. Рахимберлина*
Исследование физико-механических свойств горных пород рудных месторождений с оценкой естественного напряженного состояния массива
- Переработка полезных ископаемых**
- 42 *М.Р. Шаутинов, *Н.Т. Акказина, Ю.П. Морозов*
Исследование обогатимости редкоземельной руды коры выветривания
- Металлургия**
- 51 *Н.К. Нургабыл, *К.К. Мамырбаева*
Исследование сорбции золота активированным углем в присутствии металлов примесей
- 60 *А.А. Абілберікова, *Б.Т. Уахитова, М.М. Тайжигитова, Қ.Т. Есқалина*
Феррокорытпа өндірісін эко-бағдарланған дамыту: Ақтөбе облысының тәжірибесі
- Геоэкология**
- 65 *E.I. Kuldeyev, A.A. Ashimova, E.A. Bek, *M.B. Nurpeisova*
High lag for the «Green Kazakhstan» project
- 72 Требования к оформлению и условия предоставления статей

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат
Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

*Дорогие коллеги!
Уважаемая редколлегия!*

Наступил Новый, 2025-ый год, с которым мы связываем наши надежды и ждем от него судьбоносности, избавления человечества от части техногенных, созданных руками самого человека, проблем, которые сводят на «нет» ожидаемый эффект в результате нашего труда.

Мы продолжаем выполнять свою миссию перед мировой цивилизацией, обеспечивая ее сырьем, которое состоит из металлов, продукции для химической, топливно-энергетической и аграрной отраслей, общераспространенных полезных ископаемых. Нарастившая объемы и улучшая качественные показатели производства сырья, мы продолжаем увеличивать объемы разрушения природной среды, загрязнения атмосферы, почвы, водных стоков, флоры и фауны выбросами, твердыми и жидкими отходами.

Предлагаемый учеными и производственниками многих стран, в т.ч. Казахстана, принцип «созидательного освоения недр», определяет сущность взаимодействия геологической среды и техногенных систем для удовлетворения нужд в природном сырье недр форматом «ресурсовоспроизводства и ресурсосбережения» в условиях сохранения качественной природной среды.

Характер и содержание этого принципа реализуются применением физико-технических и физико-химических геотехнологий (ФТГТ и ФХГТ), действующих при добыче и переработке без потерь и с минимальным разубоживанием.

Отличительной чертой современного этапа развития горнодобывающей промышленности является обязательность совместного эффективного и управляемого решения двух, казалось бы, противоречащих друг другу задач.

Если ресурсосбережение как понятие может быть соотнесено с прежней парадигмой понятия «комплексное освоение недр», то «ресурсовоспроизводство» представляет собой новый специфический техногенный тип обмена веществ с природой. Такой тип производства создает новые виды ресурсов или переводит потенциальные ресурсы в недрах, учитываемые в традиционном месторождении, что теоретически может привести к состоянию производства металлов, когда потребности в них будут удовлетворяться, а ресурсы в недрах при этом могут увеличиваться, в таком содержании «ресурсовоспроизводство» как технология и функция производства характеризуется философским «принципом соответствия», когда смена одной естественнонаучной теории в отношении к освоению недр другой не обнаруживает различия и противоречия, но способствует преемственности между ними, которая может быть выражена математически и объяснена внутренним единством качественно различных уровней материи.

«Созидательное освоение недр» развивается на фундаменте освоения недр, сохраняющем качество природной среды, которая взаимодействует с техногенными процессами воздействия на нее, соблюдая как обязательные постулаты декарбонизацию и применение (с возможным созданием собственного производства) возобновляемых источников энергии.

Таковым должен быть сегодняшний облик горного производства, включающего добычу и минералургию, так как переработке полезных ископаемых и соответственно обогащению переделу в создаваемой идеологии горных наук отводится особая роль. Если традиционно на стадии переработки, в частности, твердого минерального сырья, все внимание направлено на рациональное повышение извлечения и качества товарных продуктов, то в аспекте сохранения недр такое управление переработкой оказывается недостаточным. Отходы переработки должны рассматриваться уже как новые ресурсы для изменения сохранения недр в целях их последующего использования (в качестве закладки подземных пустот, для регулирования фильтрационных, компрессионных и иных свойств горных пород на определенных участках литосферы; для создания техногенных ресурсов обедненного по тому или иному полезному компоненту минерального сырья). Поэтому управление отходами предполагает придание им необходимого качества по многим параметрам: объемным, вещественным, механическим, физико-химическим, санитарно-гигиеническим, экологическим и другим – в зависимости от технологии освоения и сохранения недр.

Из этого следует, что стадия переработки, и соответственно обогащательный цикл горных наук ответственны за решение двух взаимосвязанных проблем – получение товарных продуктов для удовлетворения общественного спроса на них, с одной стороны, и производство новых ресурсов в указанном смысле – с другой.

Таким образом, сформулировав цель, определив задачу, в свою очередь, задачи в области деятельности человека по освоению недр, мировое сообщество государств должно:

- создать на основе содержания недр, техногенных систем воздействия на них и установления явлений, свойств и законов материального мира недр (объектов), ранее не установленных и доступных проверке, в том числе таких составляющих материального мира, которые уже однажды стали товарным продуктом в результате освоения недр и теперь могут участвовать в повторном техногенном воздействии, новые источники производства металлов, могущие действовать в течение жизненного пути человека, продолжаясь в историческом масштабе времени;

- учитывая все проблемы на пути научно-технического прогресса, организующего выполнение цели по 4-х-членной форме «наука-технология-техника-продукт», определить приоритеты в развитии «большой системы» «созидательного освоения недр» как управляемой совокупности взаимосвязанных управляемых подсистем, объединенных общей целью функционирования.

Благие пожелания становятся явью в современной истории развития горно-металлургического комплекса Казахстана. Пример технологических революций, одна из которых произошла и совершила переворот в привычном контуре горно-обогащательного производства, а вторая только начинает свой жизненный путь, намеченный до 2052 года, создает уверенность в правильности решений руководителей этих предприятий. Речь идет об Актогайском и Бозшакольском горно-обогащательных комплексах и о новом руднике по добыче хромовой руды Болашак на Донском ГОКе.

Мы уверены, что в 2025-м году вслед за этими «звездами» мирового уровня на небосклоне казахстанских геологов, горняков, обогащателей, металлургов, шахтостроителей зажгутся новые, создающие облик предприятий, оснащенных технологиями XXI века.

Код МРНТИ 52.13.23

A. Zhumabekova, *E. Khalikova, D. Meiram, D. Syzdykbayeva
 Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

SCIENTIFIC-TECHNICAL ACHIEVEMENTS ANALYSIS AND INDUSTRIAL EXPERIENCE IN STRENGTHENING EXCAVATION WORKINGS

Abstract. The experience of coal and mining enterprises, the development of underground mines shows that it is an important task of industrial activity to ensure the reduction of defects in mine contours. With the «supportless» technology and the frame structure of excavations, there are intractable problems of safety and complexity of work in the areas of long preparation works, including high-performance, where they come into contact with cleaning surfaces. In this case, the initial section of the grooves adjacent to the cleaning surfaces is usually 14-16 m², and the second section – 9-10 m². This not only makes predictions of gas-dynamic phenomena, ventilation systems and layer accumulation of methane in difficult ventilated working areas but also complicates the placement of modern large-sized equipment with high unit power, its transportation to a new location, worsens the situation. Exchange of jobs of people and organization of their delivery, transportation of materials create a constant high-risk situation.

Key words: zone of manifestation of increased rock pressure, fastening, support pressure, unit power, technology, methane, minerals, transportation of materials, large equipment.

Қазба жұмыстарында тау жыныстарын нығайтудағы ғылыми-техникалық жетістіктер мен өндірістік тәжірибені талдау

Аннотация. Көмір және тау-кен өндіру кәсіпорындарын, жер асты қазбаларын игеру тәжірибесі кен қазбаларының контурларының ақаулығын азайтуды қамтамасыз ету өндірістік қызметтің маңызды міндеті болып табылатынын көрсетеді. «Тірексіз» технологиямен және қазбалардың рамалық құрылымымен дайындық жұмыстарының ұзын, оның ішінде жоғары өнімді, тазалау беттерімен түйісетін аймақтарында шешілмейтін қауіпсіздік және жұмыстың күрделілігі мәселелері туындайды. Бұл жағдайда тазарту беттеріне іргелес жатқан ойықтардың бастапқы қимасы, әдетте, 14-16 м², ал екінші секция – 9-10 м² аспайды. Бұл қиын желдетілетін жұмыс аймақтарында газ-динамикалық құбылыстардың, желдету жүйелерінің және метанның қабат жинақталуының болжамдарын жасап қана қоймайды, сонымен қатар бірлік қуаты жоғары заманауи үлкен өлшемді жабдықты орналастыруды, оны жаңа жерге тасымалдауды қиындатады, жағдайды нашарлатады. Адамдардың жұмыс орнын айырбастау және оларды жеткізуді ұйымдастыру, материалдарды тасымалдау – бұл тұрақты жоғары қауіптілік жағдайын туындайды.

Түйінді сөздер: тау жыныстарының қысымының жоғарылауының көріну аймағы, бекіту, қолдау қысымы, бірлік қуат, технология, метан, пайдалы қазбалар, материалдарды тасымалдау, ірі жабдықтар.

Анализ научно-технических достижений и производственного опыта при упрочнении в выемочных выработках

Аннотация. Опыт разработки угольных и горнорудных добывающих предприятий, полезных ископаемых, отработываемых подземным способом, показывает, что обеспечение снижения дефектности контуров горных выработок является важной горно-технической задачей производственной деятельности. При бесцеликовой технологии и рамном сооружении выработок возникают неразрешимые проблемы безопасности и трудоемкости работ в зонах сопряжения подготовительных выработок с длинными, в том числе высокопроизводительными, очистными забоями. При этом первичное сечение выработок, примыкающих к очистным забоям, как правило, не превышает 14-16 м², а вторичное сечение – 9-10 м². Возникает проблема не только газодинамических явлений, систем проветривания и слоёвых скоплений метана в труднопроветриваемых зонах выработок, появляются затруднения в размещении современного крупногабаритного оборудования большой единичной мощности, его передислокации, ухудшаются условия для перемещения людей и организации их доставки, транспортировки материалов, что создаёт ситуацию постоянной повышенной опасности.

Ключевые слова: зона проявления повышенного горного давления, крепление, опорное давление, единичная мощность, технология, метан, полезные ископаемые, транспортировка материалов, крупногабаритное оборудование.

Introduction

Implementation of the task of improving the establishment and maintenance of production facilities is an important factor in increasing the efficiency of mineral production in mining. The need to carry out these works is connected with the unsatisfactory working conditions of more than 50 percent of the Karaganda coal basin.

The weakest point in solving the problems of increasing the efficiency of the use of roof bolting is the insufficient study of geomechanical processes in the vicinity of mineral deposits. Anchors perform the main functions of tying weaker rocks in the overburden to stronger rocks, connecting layered rocks into a single support structure with high bending resistance, increasing friction between rock layers, and absorbing tensile stresses in the overburden. However, the effective use of anchor technology depends on the conditions of its use, which are determined by mining geological and mining technical factors.

It was found that the methods of calculating the parameters of mining pillars cannot always ensure the reliable preservation of mining excavations in the area of influence of cleaning operations. To determine the parameters of the anchor base and to make reasonable technological decisions to ensure its effective operation, a geomechanical forecast of the stress-deformation state of rocks is required, which forms the main massif of mining production.

Therefore, the development of technological means and systems for effective approval of preparatory work is an important task in the field of mining.

Full-scale experimental and analytical studies were carried out, technological schemes of strengthening mines with roof bolting were formed taking into account the development of deformation processes to reduce the costs of conducting and maintaining underground mines and to achieve the minimum failure of working circuits during the operation of mining enterprises.

To achieve this goal, the following tasks were solved in the monograph: mining inspections were carried out on the condition of the excavation works, which passed near the geological faults of the Kostenko mine, and were fixed with an anchor support; the shift of the rock chain near the ore deposits of the Saranskaya mine of the CD «Qarmet» JSC was studied; the effect of main stresses on the stability of mineral deposits was determined; models for calculating the stability of ores based on anchoring parameters were determined; the results of studies on the improvement of technological schemes of industrial testing of technical solutions developed in the case of mines of the CD «Qarmet» JSC were included; production experiments were carried out in the Kostenko mine of the CD «Qarmet» JSC; technological developments were implemented in the mining and geological conditions of the mines of the CD «Qarmet» JSC; progressive tools were created and fixing

parameters were determined during work in areas of geological disturbances, in areas of high rock pressure, at the same time, work was carried out to determine the parameters of protection of works in the areas affected by mining operations and carry out technical and economic evaluation of technological solutions.

Materials and Methods

Fulfillment of the research objectives is the use of full-scale experiments and numerical modeling data evaluation methods to form a two-level technology of mineral fixation in the case of underground deposits; the analytical modeling of stress-strain states; the feasibility assessment of technological developments carried out by conducting industrial experiments in mining conditions.

Currently, three types of anchors are used in the mining industry: mechanical anchors, anchors fixed with cement along their entire length, and anchors fixed with polymer, among them, anchors fixed with polymer along their entire length are widely used in the mines of the Karaganda basin. Mechanical anchors, especially lock anchors, are not used in coal mines because over time their anchorage weakens as the roof sags downward. The use of polymer-reinforced anchors in the mining industry is limited by the high cost of the resin. The feasibility of their use is determined by the quick drying time and the preservation of newly covered roof rocks, especially weak and flooded rocks. Full-length cemented anchors are inexpensive and technically suitable for use in coal mines [1].

Anchors ensure uniform loading of the support plate, at angles the anchor deviates from normal to the roof by 200, and their initial tension during anchor mounting is 45-55 kN, which prevents overlapping of the anchored roof.

The roof bolting should be used in the following mining and geological conditions [2]: in layered rocks with weak connections between layers (in this case, anchors attach several layers to a strong slab, where the process of crack formation is much weaker than individual separated layers); if there are excavations of weak rocks with a thickness of 1.5-2.0 m directly on the roof, a thick layer of strong rocks lies on top of it (in this case, a weak roof is fixed on top of the main roof). When located in a thick, weakly fractured massif of homogeneous rocks, an anchorage is used. In this case, the anchor support strengthens the attraction of rocks to each other, increases their strength and stability and prevents the development of a collapse arc; in the presence of weak, cracked rock, anchors are mounted with holders and stiffeners. The supports are made of metal strip, channels, special profile or welded from round rods. In the short life of the work, as well as wooden anchors, wooden supports made of beams, boards and saws are also used.

Active roof control systems can be achieved by combining different types of roof fixings. Thus, an anchor tube (1) and ampoules with a quick-setting mixture are mounted in the drilled hole, and the anchor iron tube is fixed with a quick-setting mixture (2) along a length of 1.0-1.2 m, and a high-strength metal pin (4) is attached to the monolithic mass, which a supporting plate (5) is placed on it from below and pressed against the roof rocks with a nut (6) (Figure 1).

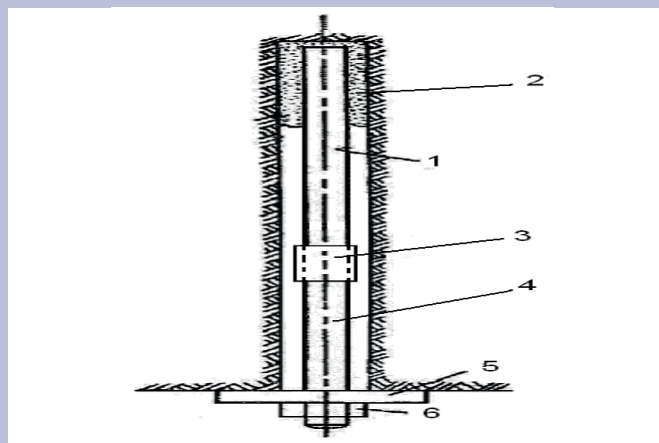


Figure 1. Flexible anchor: 1 – anchor iron pipe; 2 – quick-solid mixture; 3 – clutch; 4 – metal bolt; 5 – support plate; 6 – nut.

Сурет 1. Икемді анкер: 1 – анкерлік темір түтік; 2 – тез қататын қоспа; 3 – муфта; 4 – металдан жасалған болт; 5 – тіреуіш плита; 6 – гайка.

Рис. 1. Податливый анкер: 1 – анкерный стержень; 2 – быстротвердеющая смесь; 3 – муфта; 4 – металлический болт; 5 – опорная плита; 6 – гайка.

This action results in a better fit of the rock with the reaction curve. Shifts, bending and sliding may occur in the mechanical bolt area, but the stability of the production is not compromised. Therefore, in mines and quarries, they try to mount the anchor post in the mine as soon as possible so that the anchor iron tube is loaded when the rock is moved.

A passive full-contact anchor support is as follows: the anchor core is fixed along the entire length of the hole. The anchor iron tube is attached to the opening by means of ampoules with a quick-setting mixture or by injecting a quick-setting solution (mixture).

Steel-polymer anchors fixed along the entire length of the hole by the ampoule method of supplying the hardening mixture have a high load-bearing capacity (120 kN and more) [3-7]. Such polymer-sized additives are often used despite their high consumption and cost. To reduce the consumption of the polymer mixture, the diameter of the hole is reduced to 25-32 mm. The characteristics of the anchor are rigid, so attempts are made to equip it with elements of flexibility [8, 9].

Results

There is a real possibility that steel-polymer anchors, which use an effective method of injecting a chemical mixture into the hole, are technically more advanced than ampoules, because the injection of the chemical mixture allows increasing its permeability to the hole rock. The strength of the anchorage is the effect of chemical strengthening of rocks by filling cracks around the rock massif, and in this case, the probability of leakage of the chemical mixture is reduced [10-12]. However, it is necessary to use a special set of equipment to inject the chemical mixture into the hole where the anchor iron tube is mounted. The use of this set of equipment is technologically complicated by the presence of a contact zone between the chemical components (in the area of the mixer) during the

transition from hole to hole (mounting of the chemical mixture, cleaning of the nozzle in the mixer) and the difficulty of mounting a seal at the mouth of the hole with limited dimensions of the latter (simultaneous placement of the anchor, delivery pipe and elasticity).

Reinforced concrete anchors are attractive for the type of composite materials used and provide the best possible load-bearing capacity, and are widely popular in certain fields of application in the mining industry and construction. The anchor is made of reinforcement (a rod, usually with a periodic profile, parts of ropes are used, a pipe with a diameter of 6-12 mm, a wire twisted into a thread), inserted into a well or a hole; sand cement solution to water or liquid glass with hardening accelerators and mass expansion additives or phosphogypsum or magnesium solution; sealing ring; a gathering and fastening device in the form of a nut on a screw or bent loop, a rod in a wire or cable hook. Reinforced concrete anchors are divided into ampoules and injection during solution injection after mounting the fittings in the well [10]. The main disadvantages that prevent the widespread use of anchors with mineral binder in coal mines and mines are the problem of long-term increase in strength and the efficiency of mounting technology with a limited batch of anchors mounted in one anchor cycle. It is clear that the greatest effect of reinforced concrete anchors in coal mines is achieved when supporting the excavation soil (to combat uplift), when mounting large batches of anchors from the surface (outside the surface space) (the area where a set of mining equipment is located, closely related to cyclic mining operations). In the latter case, we mass-produce a fixed batch of anchors: the requirements for the rate of increase in strength are reduced, and defective anchors do not significantly affect the performance of the technology.

Reinforced concrete anchors are characterized by very high fixing strength. They are able to create a solid «rock-support» system and absorb large compressive and tensile loads [10-12].

Reinforced concrete anchors include anchors that consist of a rod and fixing cement or sand-cement mortar. They can be unstressed or prestressed. During the mounting of reinforced concrete anchors, cement solution is pumped into the hole by means of a pump [10]. The liquid is filled from the bottom of the pit to its mouth mounted manually or with a hydraulic or pneumatic hammer. This action creates a problem when mounting an anchor on the roof of the excavation, because it is necessary to wait up to 8 hours for the poured liquid to dry.

The hardening time of the cement solution can be significantly reduced. When the rod is inserted into the hole as shown in Figure 2 a, b, the cartridge bursts in the water capsule and the cement gets wet. Wet cement mortar fills the entire gap and is quickly fixed in a few seconds and has the required density within 5 minutes.

In paper [11], a mineral-based composition is recommended for fixing the anchor rods, which ensures a strong fixing of the anchor for 10 minutes. The authors conducted research to determine the technological parameters of mineral-based ampoules of ACD and checking their productivity in the mines of the Karaganda basin. The industrial introduction of ACD ampoules made it possible to increase work safety during mining operations.

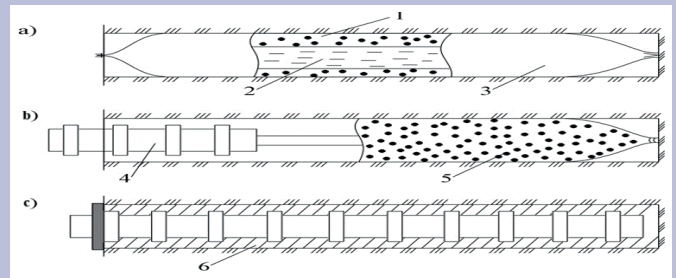


Figure 2. Mounting a reinforced concrete anchor on the basis of a cement mixture: a) – cement cartridge in a spur, b) – inserting an anchor rod into the chuck, c) – construction of the anchor; 1 – cement, 2 – aqueous capsule, 3 – cartridge outer shell, 4 – anchor rod, 5 – mixing the mixture, 6 – solid cement mixture.

Сурет 2. Цемент қоспасы негізінде темірбетонды анкерді орнату: а) – шпурдағы цементті патрон, б) – патронға анкерлік штанганы енгізу, в) – анкердің құрылысы; 1 – цемент, 2 – сулы капсула, 3 – патронның сыртқы қабығы, 4 – анкерлік штанга, 5 – қоспаны араластыру, 6 – қатқыл күйдегі цемент қоспасы.

Рис. 2. Установка железобетонного анкера на основе цементного раствора: а) – цементный патрон в шпуре, б) – введение в патрон анкерной штанги, в) – конструкция анкера; 1 – цемент, 2 – водяная капсула, 3 – оболочка патрона, 4 – анкерная штанга, 5 – перемешивание раствора, 6 – затвердевший цементный раствор.

Steel-polymer anchors have been widely used in the practice of fixing ores. The principle of operation of these anchors is mounting a cartridge with artificial resin and hardener on the spur (see Figure 3).

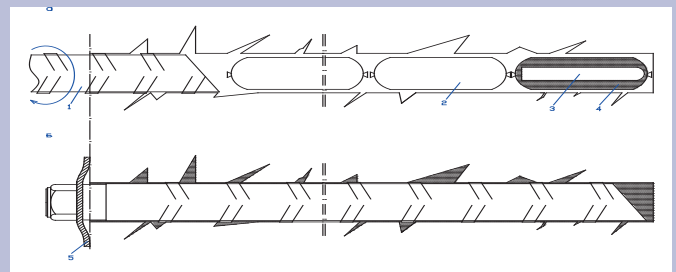


Figure 3. Start and finish diagram.
Сурет 3. Бастау және аяқтау схемасы.
Рис. 3. Схема начала и завершения.

Reinforced concrete anchors have achieved particular success when strengthening rocks, where the anchor depth is 10-20 m and more, the length of the concrete locking part is 3-4 m, the diameter of the wells is 100-120 mm, the pretension of the ropes (rope bundles) is 400-1400 kN.

Discussion

The main disadvantage of fixing reinforced concrete is that the anchor does not work until the cement mixture hardens. This can be eliminated if a lock is added to the anchor structure, which is initially able to hold the anchor rod in the well

with its end. Full-length cemented anchors have the following advantages:

- high concentration of stresses in the anchor holes is not allowed, thus allowing the use of this type of anchors in weak rocks;
- the anchor is effective against the movement of rocks both in the direction of the pit axis and perpendicular to it;
- the resistance of anchors to shear loads is greater than that of anchors fixed with the end part.

But they are not very flexible, and even if the support plate is nailed firmly to the roof rock with a nut, only the plate and the part of the anchor rod adjacent to the plate are active. This design prevents settlement of the roof rock so that stresses are concentrated at the rock contact. When the stresses exceed the strength characteristics of the rock in contact, the latter collapses and spills, and the anchor iron tube is exposed between the slab and the roof.

The passive type is the screw anchor, because it receives the axial load only after the roof rocks have shifted.

Screw anchors are mounted in pre-drilled holes, and the diameter of these holes is smaller than the outer diameter of the screw. Wells are drilled with cutters with a diameter of 26-27 mm, so when the screw anchor is inserted into the well, it is inserted into the rock as an engraving.

During the testing of screw anchors, certain shortcomings were revealed [12], that is, screw anchors were not suitable for mounting in such rocks as carvings.

The twisting of the anchors is limited by the intersection of solid inclusions found in the rocks, because the amount of resistance of the screw anchors increases significantly when such twisting occurs.

Screw anchors are used in potash mines with plastic rocks. Due to the difficulty of mounting in hard rock, they are rarely used in coal mines. They are not used in mines where the rock strength in the roof exceeds 120 MPa.

The «Swellex» and «Split-Set» friction anchors are of special interest. «Swellex» is a deformable tube that is expanded to the shape of the hole by water pressure and forces to fix the unit length of the hole. It takes effect immediately after mounting. Their mounting causes a reduction in the length of the rod, which contributes to the pressing of the base plate against the roof rocks in the mine. The loading of the Swellex array with an anchor has its own form (Figure 4, a) and this form is very similar to an anchor of the end type and cemented along the length of the spur. But compared to the latter, it has an indisputable advantage: «Swellex» can slide along the hole without losing its load-bearing capacity under high mountain pressure, that is, «Swellex» is a flexible anchor. But during long-term use of this anchor, problems with corrosion of the metal pipe arise. «Swellex» anchors are used only where the service life is not long.

«Split-Set» friction stabilizer anchor is widely used in the US mining industry. As the split core is forced into the hole, the spring action of the compressed pipe exerts a radial force on the rock and creates a frictional resistance to the sliding of the rock on the metal. It loads axially and radially along the entire length of the joint contact (Figure 2 b). The radial directions of the forces on the walls of the pit are estimated to be 3.5 kg/cm².

Such active loading of the rock with the «Split-Set» stabilizer creates a peculiar pear-shaped load distribution in the mass of the roof [12]. The lower part of the pressure «pear» is located directly under the slab, and along the entire length of the anchor's contact with the rock, a cylindrical column of rock compression is formed. Due to the triaxial load in this area, the strength of the rock and its stability increase significantly.

When mounting a stud, the rod slides into the hole without being loaded to the point of failure. Then, as the rock compressive forces (displacement) appear, the anchorage increases with time and tends to match the rock compressive load response curve with the adjustment of internal stresses.

Integrated or specialized anchors allow efficient controlling the roof. By combining different types of supports, active roof control systems can be achieved, as the mechanical bolt of the combined support is not connected to the stone by the quick-setting mixture, which reduces the stiffness modulus of the system and allows the stone to move around the rock and to some degree «breathe».

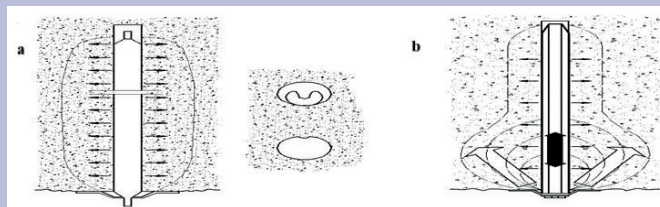


Figure 4. «Swellex» (a) and loading diagram of «Split-Set» systems (b).

Сурет 4. «Свеллекс» (а) және «Сплит-Сет» жүйелерінің жүктеу диаграммасы (б).

Рис. 4. Эпюра нагружения систем «Свеллекс» (а) и «Сплит-Сет» (б).

This allows the bolt hole to place more stress on the base plate and to cause uplift stress within the rock massif. In this case, the load on the base plate should not exceed 50% of the yield strength of the bolt steel. Excessive initial load on the base plate can cause dangerous situations, for example: sudden rupture of the anchor rod or separation of the rocks adjacent to the bearing plate, because in such anchoring there is practically no anchor sliding. To prevent this, on the one hand, it is necessary to use high-quality materials such as high-strength steels and large-diameter rods, and on the other hand, to introduce flexible elements into the anchor structure. The problem is that the support system is too stiff and the support stresses in the mass are not developed.

In the coal industry of Great Britain, Australia and the United States, the construction and anchoring of workings with a rectangular cross-section is a common technology. In Germany, rock bolts are also widely used in the mining industry. For example, in the Augusta Victoria Mine, roof bolts were used in excavations with a rectangular cross-section (Figure 5).

Initially, the anchor was stressed with the force of 1300-1700 kN, then the force decreased to 1100-1400 kN. This measure was carried out in order to prevent future excessive stresses caused by rock deformations during arch stabilization.

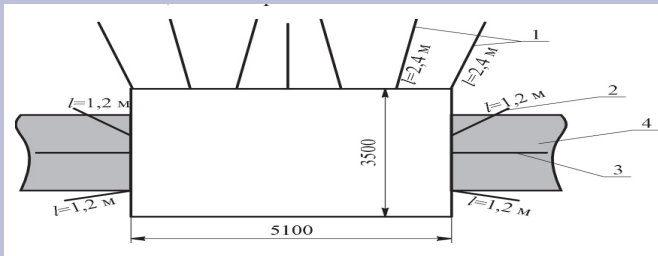


Figure 5. The diagram of the anchor arrangement:
 1 – 2.4 m long anchors on the excavation roof; 2 – 1.2 m long anchors on the sides; 3 – 2.4 m long anchors in the coal seam; 4 – coal layer.

Сурет 5. Анкерлердің орналасу схемасы:

1 – қазба төбесіндегі ұзындығы 2,4 м анкерлер;
 2 – бүйірлерінде ұзындығы 1,2 м анкерлер;
 3 – көмір қабатындағы ұзындығы 2,4 м анкерлер;
 4 – көмір қабаты.

Рис. 5. Схема расположения анкеров:

1 – анкеры длиной 2,4 м в кровле выработки; 2 – анкеры длиной 1,2 м в боках; 3 – анкеры длиной 2,4 м в угольном пласте; 4 – угольный пласт.

To ensure the ability to monitor the structure during operation, the control anchors in the wells along their entire length were not sealed with cement mortar. This made it possible to work with tension during operation.

The following anchor constructions are used in foreign and domestic practice: intermediate type metal anchors, reinforced concrete anchors, steel-polymer anchors with cores made of polymer materials, flexible anchors, movable anchors and rope anchors.

Three main types of intermediate anchors are used: wedge holes with an intermediate sleeve and two wedges. These an-

chors are always used pre-stressed. Intermediate anchors used in domestic practice have a number of significant disadvantages. Additional devices are required to attach these anchors to the well, which requires additional time and labor costs to mount them.

Conclusion

In the coal mines of the USA, Great Britain and the other countries, anchor rods with intermediate locks of various designs are common. In these anchors, the lock consists of two halves equipped with guides, between which a steel wedge is inserted and fastened to the threaded part of the anchor. Both are equipped with protrusions of different shapes on the outside, which are designed to eliminate vertical sliding during anchor operation and prevent rotation of the lock in the well when the anchor is attached. When mounting the anchor, both halves of the lock are held by a steel clamp, which temporarily fixes them with a wedge. A spiral spring serves to create a certain distance of the lock when mounting an anchor in a well, without using the mounting pipe for these purposes.

This article presents the results of scientific-applied research of production processes, the technology of conducting preparatory work in complex mining technical conditions of production of coal layers. The desire to secure anchor posts more reliably in weak rock has led to the development of foreign anchor post structures with extended locks or double locks to have a larger contact area between the anchor lock and the well walls. These anchors are very difficult and expensive to make, so they have not been widely used.

Acknowledgments

This research has been/was/is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR24992803).

REFERENCES

1. Karenov R.S. Gorno-metallurgicheskaya otrasl' Kazakhstana: sovremennoe sostoyanie problem, strategicheskie priority razvitiya. / R.S. Karenov, Yu.D. Orynbasarova, Yu.B. Romanko T.B., Kazbekov. // *Mezhdunarodnyi elektronnyi zhurnal matematicheskogo obrazovaniya*. 2016. №11 (7). S. 2239-2254 [Karenov R.S. The mining and metallurgical industry of Kazakhstan: Current state of problems, and strategic development priorities. / R.S. Karenov, Y.D. Orynbassarova, Y.B. Romanko T.B. Kazbekov. // *International Electronic Journal of Mathematics Education*. 2016. №11 (7). P. 2239-2254] (in Russian)
2. Batyrkhanova A.T. Razrabotka tekhnologicheskikh skhem zabivnykh vyrabotok s upravlyаемым soprotivleniem konturov. / A.T. Batyrkhanova, A.N. Tomilov, A.Yu. Zhumabekova, U.E. Abekov. // *Nauchnyi vestnik natsional'nogo gornogo universiteta*. 2019. №3. S. 22-28 [Batyrkhanova A.T., Tomilov A.N., Zhumabekova A.Y., Abekov U.E. Developing technological schemes of driving workings with controlled resistance of contours. // *Scientific Bulletin of the National Mining University*. 2019. №3. P. 22-28] (in Russian)
3. Demin V.F. Otsenka effektivnosti tekhnologicheskikh skhem vyrabotok dlya povysheniya ustoichivosti ikh konturov. / V.F. Demin, T.V. Demina, A.S. Kainazarov, A.S. Kainazarova. // *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii*. 2018. №10 (4). S. 606-616 [Demin V.F. Evaluation of the workings technological schemes effectiveness to increase the stability of their contours. / V.F. Demin, T.V. Demina, A.S. Kaynazarov, A.S. Kaynazarova. // *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018. №10 (4). P. 606-616] (in Russian)
4. Toderas M. Brief review of mining pressure and its manifestation regime in underground mining works. // *Annals of the University of Petrosani Mining Engineering*. 2022. №23. P. 13-30 (in English)

5. Kudryavtsev S.S. The development of a risk management system in the field of industrial safety in the Republic of Kazakhstan. / Kudryavtsev S.S., Yemelin P.V., Yemelina N.K. // *Safety and Health at Work*. 2018. №9 (1). P. 30-41 (in English)
6. Xie H. Experimental study on rock mechanical behavior retaining the in situ geological conditions at different depths. / Xie H., Li C., He Z., Li C., Lu Y., Zhang R., Gao F. // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2021. №38. P. 104548 (in English)
7. Sultanov M.G. Development of the choice of types of support parameters and technologies for their construction at the Voskhod field. / Sultanov M.G., Mataev A.K., Kaumetova D.S., Abdrashev R.M., Kuantay A.S., Orynbayev B.M. // *Coal*. 2020. №10. P. 17-21 (in English)
8. Nemova N.A. Technological solutions development for mining adjacent rock mass and pit reserves taking into account geomechanical assessment of the deposit. / Nemova N.A., Tahanov D., Hussan B., Zhumabekova A. // *Scientific Bulletin of the National Mining University*. 2020. №2. P. 17-24 (in English)
9. Moldagozhina M.K. The system is «roof bolting-mountain». / Moldagozhina M.K., Krupnik L., Koptileuovich Y.K., Mukhtar E., Roza A. // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016. №11 (21). P. 10454-10457 (in English)
10. Małkowski P. A comprehensive geomechanical method for the assessment of rockburst hazards in underground mining. / P. Małkowski, Z. Niedbalski. // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020. №30 (3). P. 345-355 (in English)
11. Zeitinova S. Numerical modeling the rock mass stress-strain state near vertical excavations in combined mining. / Zeitinova S., Imashev A., Bakhtybayev N., Matayev A., Mussin A., Yeskenova G. // *Civil Engineering Journal*. 2024. №10 (9). P. 2919-2934 (in English)
12. Demin V.F. Studying stress-strain state of border carbon massif around mine working with roof bolting. / Demin V.F., Portnov V.S., Demina T.V., Zhumabekova A.Ye. // *Coal*. 2019. №7. P. 72-77 (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Каренов Р.С. Қазақстанның тау-кен металлургия өнеркәсібі: Проблемалардың қазіргі жай-күйі және дамудың стратегиялық басымдықтары. / Р.С. Каренов, Ж.Д. Орынбассарова, Ж.Б. Романко Т.Б. Қазбеков. // *Математика білімінің халықаралық электрондық журналы*. 2016. №11 (7). Б. 2239-2254 (орыс тілінде)
2. А.Т. Батырханова, А.Н. Томилов, А.Ж. Жумабекова, Ө.Е. Аббеков Контурлардың бақыланатын кедергісі бар жүргізу жұмысының технологиялық схемаларын әзірлеу. // *Ұлттық тау-кен университетінің ғылыми хабаршысы*. 2019. №3. Б. 22-28 (орыс тілінде)
3. Демин В.Ф. Контурлардың тұрақтылығын арттыру үшін технологиялық схемалардың жұмыс тиімділігін бағалау. / В.Ф. Демин, Т.В. Демина, А.С. Қайназаров, А.С. Қайназарова. // *Таулы аумақтарды орнықты дамыту*. 2018. №10 (4). Б. 606-616 (орыс тілінде)
4. Тодераш М. Тау-кен қысымына қысқаша шолу және жер асты тау-кен жұмыстарында оның көріну режимі. // *Петрозани тау-кен инжиниринг университетінің жылнамалары*. 2022. №23. Б. 13-30 (ағылшын тілінде)
5. Кудрявцев С.С. Қазақстан Республикасында өнеркәсіптік қауіпсіздік саласындағы тәуекелдерді басқару жүйесін дамыту. / С.С. Кудрявцев, П.В. Емелин, Н.К. Емелина. // *Еңбек қауіпсіздігі және еңбекті қорғау*. 2018. №9 (1). Б. 30-41 (ағылшын тілінде)
6. Си Х. Әр түрлі тереңдіктегі ситикалық геологиялық жағдайларды сақтай отырып, тау жыныстарының механикалық мінез-құлқын эксперименттік зерттеу. / Х. Си, Ч. Ли, З. Хэ, Ч. Ли, Я. Лу, Р. Чжан, Ф. Гао. // *Рок-механика және тау-кен ғылымдарының халықаралық журналы*. 2021. №38. Б. 104548 (ағылшын тілінде)
7. Сұлтанов М.Ф. Восход кен орнында тірек параметрлерінің түрлерін және оларды салу технологияларын таңдауды әзірлеу. / М.Ф. Сұлтанов, А.Қ. Матаев, Д.С. Кауметова, Р.М. Абдрашев, А.С. Қуантай, Б.М. Орынбаев. // *Көмір*. 2020. №10. Б. 17-21 (ағылшын тілінде)
8. Немова Н.А. Кен орнының геомеханикалық бағасын ескере отырып, тау жынысы массасы мен шұңқыр қорларын өндіру бойынша технологиялық шешімдер әзірлеу. / Н.А. Немова, Д. Таханов, Б. Хусан, А. Жумабекова. // *Ұлттық тау-кен университетінің ғылыми хабаршысы*. 2020. №2. Б. 17-24 (ағылшын тілінде)
9. Молдагожина М.Қ. «Шатырлы болт-тау» жүйесі. / М.К. Молдагожина, Л. Крупник, Ж.К. Коптилеуович, Е. Мұхтар, А. Роза. // *Қолданбалы инженерлік зерттеулердің халықаралық журналы*. 2016. №11 (21). Б. 10454-10457 (ағылшын тілінде)
10. Мажковский П. Жер асты тау-кен қазбаларында тау жыныстарының қауіптіліктерін бағалаудың кешенді геомеханикалық әдісі. / Р. Мажковский, З. Нидбалски. // *Тау-кен ғылымы мен технологиясының халықаралық журналы*. 2020. №30 (3). Б. 345-355 (ағылшын тілінде)

11. Зейтинова С. Аралас тау-кен қазбаларында тік қазба жұмыстарының жанында жыныс массасының стресс-штамм жағдайын сандық модельдеу. / С. Зейтинова, А. Имашев, Н. Бақтыбаев, А. Матаев, А. Мусин, Г. Ескенова. // Азаматтық инженерия журналы. 2024. №10(9). Б. 2919-2934 (ағылшын тілінде)
12. Демин В.Ф. Шатырды бұрандамен жұмыс істейтін шахта айналасындағы шекаралық көміртекті массивтің стресс-штаммдық жай-күйін зерттеу. / В.Ф. Демин, В.С. Портнов, Т.В. Демина, А.Е. Жумабекова. // Уголь. 2019. №7. Б. 72-77 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Каренов Р.С. Горно-металлургическая отрасль Казахстана: современное состояние проблем, стратегические приоритеты развития. / Р.С. Каренов, Ю.Д. Орынбасарова, Ю.Б. Романко Т.Б., Казбеков. // Международный электронный журнал математического образования. 2016. №11 (7). С. 2239-2254 (на русском языке)
2. Батырханова А.Т. Разработка технологических схем забивных выработок с управляемым сопротивлением контуров. / А.Т. Батырханова, А.Н. Томилов, А.Ю. Жумабекова, У.Е. Абеков. // Научный вестник национального горного университета. 2019. №3. С. 22-28 (на русском языке)
3. Демин В.Ф. Оценка эффективности технологических схем выработок для повышения устойчивости их контуров. / В.Ф. Демин, Т.В. Демина, А.С. Кайназаров, А.С. Кайназарова. // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. №10 (4). С. 606-616 (на русском языке)
4. Тодераш М. Краткий обзор горного давления и режима его проявления при подземных горных работах. // Летопись Университета горного дела Петросани. 2022. №23. С. 13-30 (на английском языке)
5. Кудрявцев С.С. Развитие системы управления рисками в области промышленной безопасности в Республике Казахстан. / С.С. Кудрявцев, В. Емелин, Н.К. Емелина. // Безопасность и гигиена труда. 2018. №9 (1). С. 30-41 (на английском языке)
6. Се Х. Экспериментальное исследование механического поведения горных пород при сохранении геологических условий в недрах на различных глубинах. / Х. Се, С. Ли, З. Хэ, С. Ли, Ю. Лу, Р. Чжан, Ф. Гао. // Международный журнал механики горных пород и горных наук. 2021. №38. С. 104548 (на английском языке)
7. Султанов М.Г. Разработка выбора типов параметров крепи и технологий их строительства на месторождении Восход. / М.Г. Султанов, А.К. Матаев, Д.С. Кауметова, Р.М. Абдрашев, А.С. Куантай, Б.М. Орынбаев // Уголь. 2020. №10. С. 17-21 (на английском языке)
8. Немова Н.А. Разработка технологических решений по отработке прилегающей горной массы и карьерных запасов с учетом геомеханической оценки месторождения. / Н.А. Немова, Д. Таханов, Б. Хусан, А. Жумабекова. // Научный вестник национального горного университета. 2020. №2. С. 17-24 (на английском языке)
9. Молдагожина М.К. Система представляет собой «кровельное крепление-гора». / М.К. Молдагожина, Л. Крупник, Ю.К. Коптилеувич, Е. Мухтар, А. Роза. // Международный журнал прикладных инженерных исследований. 2016. №11 (21). С. 10454-10457 (на английском языке)
10. Малковский С. Комплексный геомеханический метод оценки опасности горных взрывов при подземных горных работах. / С. Малковский, З. Недбальский. // Международный журнал горной науки и техники. 2020. №30 (3). С. 345-355 (на английском языке)
11. Зейтинова С. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород вблизи вертикальных выработок в комбинированных горных работах. / С. Зейтинова, А. Имашев, Н. Бақтыбаев, А. Матаев, А. Мусин, Г. Ескенова. // Журнал гражданского строительства. 2024. №10 (9). С. 2919-2934 (на английском языке)
12. Демин В.Ф. Изучение напряженно-деформированного состояния граничного углеродного массива вокруг шахтной работы с анкерной крепью. / В.Ф. Демин, В.С. Портнов, Т.В. Демина, А.Е. Жумабекова. // Уголь. 2019. №7. С. 72-77 (на английском языке)

Information about the authors:

Zhumabekova A.Ye., Ph.D, acting docent of the Department «Development of Mineral Deposits», NJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan), aila1980@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1501-5382>

Khalikova E.R., acting docent of the Department «Development of Mineral Deposits», NJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan), salyahova_e@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1501-8492>

Meiram D.D., Ph.D doctoral student of the department «Development of mineral deposits» NJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan), diana_mairam@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-6092-4790>

Syzdykbayeva D.S., Ph.D student of the department «Development of mineral deposits» NJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan), dikow-1290@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0673-0384>

Авторлар туралы мәліметтер:

Жумабекова А.Е., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының доцент м.а. (Қарағанды қ., Қазақстан)

Халикова Э.Р., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының доцент м.а. (Қарағанды қ., Қазақстан)

Мейрам Д.Д., «Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» АҚ «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының Ph.D студенті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Сыздықбаева Д.С., «Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» АҚ «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының Ph.D докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

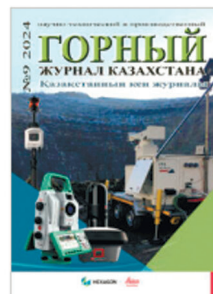
Жумабекова А.Е., и.о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Халикова Э.Р., и.о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Мейрам Д.Д., докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Сыздықбаева Д.С., докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА



ПОДПИСКА' 2025 РЕКЛАМНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОТРУДНИЧЕСТВО

POST-DTS@YANDEX.KZ / +7 747 343 15 02 / MINMAG.KZ

Код МРНТИ 52.13.21

*К.Т. Атагелдиев¹, Н.Б. Бахтыбаев², О.А. Абиль²¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылжаса Сагинова»

(г. Караганда, Казахстан),

²ТОО «Mining Research Group» (г. Караганда, Казахстан)

ДИНАМИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

Аннотация. В данной обзорной статье рассматриваются современные методы и подходы к исследованию динамического разрушения горных пород. Основное внимание уделяется анализу существующих исследований, сосредоточенных на численном моделировании, экспериментальным методам и применению машинного обучения для предсказания поведения горных пород под воздействием взрывных нагрузок. Обсуждаются результаты, полученные с использованием различных конфигураций взрывов, временных задержек и расстояний между шпурами, а также влияние этих факторов на эффективность дробления и уровень вибрации. Выводы подчеркивают необходимость дальнейших исследований в области динамического разрушения и оптимизации взрывных технологий для повышения их эффективности. Статья направлена на предоставление комплексного анализа текущего состояния знаний и выявление направлений для будущих исследований в данной области.

Ключевые слова: динамическое разрушение, взрывные работы, численное моделирование, экспериментальные методы, машинное обучение, трещинообразование, эффективность дробления, вибрация, горнодобывающая отрасль.

Тау жыныстарының динамикалық бұзылуы: эксперименттік және сандық әдістер

Андатпа. Бұл шолу мақаласы тау жыныстарының динамикалық бұзылуын зерттеудің заманауи әдістері мен тәсілдерін қарастырады. Сандық модельдеуге, эксперименттік әдістерге және жарылғыш жүктемелердің әсерінен тау жыныстарының жағдайын болжау үшін машиналық оқытуды қолдануға бағытталған қолданыстағы зерттеулерді талдауға баса назар аударылады. Өртүрлі жарылыс конфигурациялары, уақыттың кешігуі және шпулар арасындағы қашықтық және осы факторлардың ұсақтау тиімділігі мен діріл деңгейіне әсері арқылы алынған нәтижелер талқыланады. Нәтижелер динамикалық бұзылу және олардың тиімділігін арттыру үшін жарылғыш технологияларды онтайландыру бойынша қосымша зерттеулер жүргізу қажеттілігін көрсетеді. Мақала білімнің ағымдағы жағдайына кешенді талдау жасауға және осы саладағы болашақ зерттеулердің бағыттарын анықтауға бағытталған.

Түйінді сөздер: динамикалық бұзылу, жарылыс, сандық модельдеу, эксперименттік әдістер, машиналық оқыту, жарықтар, ұсақтау тиімділігі, діріл, тау-кен өнеркәсібі.

Dynamic destruction of rocks: experimental and numerical methods

Abstract. This review article discusses modern methods and approaches to the study of dynamic rock destruction. The main focus is on analyzing existing research focused on numerical modeling, experimental methods, and the use of machine learning to predict the behavior of rocks under the influence of explosive loads. The results obtained using various explosion configurations, time delays, and hole spacing are discussed, as well as the impact of these factors on crushing efficiency and vibration levels. The findings emphasize the need for further research in the field of dynamic destruction and optimization of explosive technologies to increase their effectiveness. The article aims to provide a comprehensive analysis of the current state of knowledge and identify areas for future research in this field.

Key words: dynamic destruction, blasting, numerical modeling, experimental methods, machine learning, cracking, crushing efficiency, vibration, mining industry.

Введение

В последние десятилетия исследования в области динамического разрушения горных пород приобрели особую актуальность, обусловленную ростом потребности в эффективных и безопасных методах ведения горных работ. Взрывные технологии, используемые для дробления и перемещения горных масс, требуют глубокого понимания механических свойств пород и их поведения под воздействием различных нагрузок. Современные методы численного моделирования и экспериментальные исследования позволяют не только анализировать процессы разрушения, но и оптимизировать параметры взрывных работ, что в свою очередь способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду и повышению безопасности [1, 2].

В данной обзорной статье рассматриваются ключевые исследования, направленные на разработку новых методов для анализа и прогнозирования поведения горных массивов при взрывных воздействиях. Особое внимание уделяется влиянию таких факторов, как время задержки между взрывами, расстояние между шпурами и конфигурация зарядов, на эффективность дробления и уровень вибрации. Также обсуждаются новейшие подходы, включая применение машинного обучения для анализа сигналов трещинообразования, что открывает новые горизонты в области предсказания разрушений и оптимизации взрывных работ [3-5].

Цель данной обзорной статьи – обобщить существующие знания и достижения в области динамического раз-

рушения горных пород, выявить основные тенденции и направления будущих исследований, а также предложить рекомендации для практического применения полученных результатов в горнодобывающей отрасли [6].

Методология

В данной обзорной статье использован систематический подход к анализу существующих исследований в области динамического разрушения горных пород. Методология включает несколько ключевых этапов, которые обеспечивают комплексное и структурированное представление о текущем состоянии знаний в данной области. На первом этапе была сформулирована основная цель статьи – обобщение и анализ существующих данных о динамическом разрушении горных пород, а также выявление ключевых факторов, влияющих на эффективность взрывных работ. Для составления обзорной статьи был проведен поиск научных публикаций, опубликованных в рецензируемых журналах. Использовались базы данных, такие как Scopus, Web of Science с ключевыми словами, связанными с динамическим разрушением, взрывными работами и численным моделированием. В отборе литературы учитывались только те исследования, которые содержали эмпирические данные или результаты численного моделирования. Публикации, не соответствующие этим критериям, были исключены из анализа. На следующем этапе была проведена систематизация собранной информации. Исследования были классифицированы по методам, используемым

для анализа динамического разрушения, а также по основным выводам. Это позволило выявить общие тенденции и различия в подходах к исследованию. Важным этапом методологии стал систематический обзор представленных данных, которые позволяют собрать и обобщить данные из различных источников, обеспечивая высокую степень надежности и воспроизводимости результатов [7-9]. На основе проведенного анализа были сформулированы основные выводы, которые подчеркивают значимость полученных результатов для горнодобывающей отрасли и необходимость дальнейшего изучения динамического разрушения горных пород.

На основе литературного обзора была создана ментальная карта в MindMap 2.0 (рис. 1), отражающая структуру исследований в области динамического разрушения горных пород.

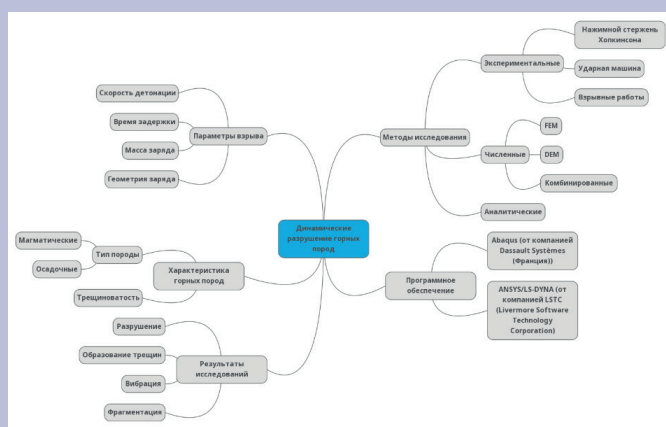


Рис. 1. Динамическое разрушение горных пород. Сурет 1. Тау жыныстарының динамикалық бұзылуы. Figure 1. Dynamic destruction of rocks.

Анализ этой карты позволяет выявить разнообразие исследований в области динамического разрушения горных пород, охватывающих методов и параметров. Подробное описание приведено ниже:

- экспериментальные методы разрушения горных пород проводятся с использованием нажимного стержня Хопкинсона и ударных машин, а также путем проведения взрывных работ, которые позволяют симулировать условия, возникающие при реальных взрывах;

- численные методы, такие как метод конечных элементов (FEM) и метод дискретных элементов (DEM), позволяют детально моделировать деформации и разрушения горных пород, а также комбинировать преимущества обоих подходов для более точного анализа. Для численного моделирования широко используются программные комплексы ABAQUS и LS-DYNA. Они позволяют детально моделировать процессы деформирования и разрушения горных пород при взрывах;

- аналитические методы, основанные на математических моделях, позволяют выявить общие закономерности поведения пород при взрыве;

- влияние параметров взрыва и свойств пород (скорость детонации, время задержки между взрывами, масса и геометрия заряда). Эти параметры существенно

вливают на характер распространения взрывной волны и масштаб разрушений;

- характеристики горных пород, такие как тип породы (магматические, осадочные, метаморфические) и наличие трещин, также играют ключевую роль в процессе разрушения. Разные типы пород обладают различной прочностью и сопротивляемостью взрывным нагрузкам.

Сгруппировав разнообразие исследований в области динамического разрушения горных пород, необходимо обобщить полученные результаты по каждой группе и выделить ключевые выводы, наиболее значимые для нашего исследования [10, 11]. Сравнение экспериментальных, численных и аналитических методов исследования взрывных работ приведен в таблице 1.

Результаты и обсуждения

Основные параметры взрывных работ, такие как скорость детонации, время задержки между взрывами, масса заряда и геометрия шпуров, оказывают значительное влияние на характер распространения взрывной волны и степень разрушения горных пород. Оптимизация этих параметров позволяет повысить эффективность взрывных работ и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

Использование экспериментальных методов, таких как испытания на одноосное сжатие и лазерное сканирование, в сочетании с численными методами, такими как метод конечных элементов (FEM) и дискретных элементов (DEM), позволяет всесторонне изучить процессы динамического разрушения пород. Численное моделирование, реализованное в таких программах, как ABAQUS и LS-DYNA, эффективно симулирует процессы деформирования и разрушения [12].

Методы машинного обучения, применяемые для анализа сигналов трещинообразования, позволяют значительно улучшить интерпретацию данных и автоматизировать процесс прогнозирования разрушений. Это открывает новые перспективы для повышения точности и эффективности взрывных работ.

Полученные результаты имеют важное значение для повышения безопасности и эффективности взрывных работ, что особенно важно для горнодобывающей отрасли. Применение численных методов и оптимизация параметров взрывов способствует снижению вибраций и уменьшению разрушений окружающих структур.

Для повышения точности моделирования динамического разрушения горных пород необходимо учитывать более сложные геологические условия, разрабатывать модели, отражающие взаимодействие взрывной волны с грунтовыми водами и газами, а также использовать методы машинного обучения для анализа больших объемов данных и создания более точных моделей.

Эти выводы подчеркивают важность комплексного подхода, включающего экспериментальные, численные и аналитические методы, а также необходимость применения новейших технологий для оптимизации взрывных работ и снижения их негативного воздействия.

Численное моделирование и изучение динамики разрушения горных пород – это динамично развивающаяся область, которая требует постоянного внимания и инно-

Таблица 1

Методы исследования динамического разрушения горных пород

Кесте 1

Тау жыныстарының динамикалық бұзылуын зерттеу әдістері

Table 1

Methods of studying the dynamic destruction of rocks

Методы исследования	Объект исследования	Основные выводы	Примечания
Эксперименты на одноосное сжатие, моделирование	Образцы горных пород	Рассеяние энергии связано с образованием микротрещин и деформацией	Анализ кривых напряжение-деформация
Лазерное сканирование, численное моделирование	Контуры горных выработок. Взрывные работы	Степень повреждения зависит от напряжений, массы заряда и расстояния между шпурами. Параметры взрывов влияют на распространение трещин и эффективность взрывных работ	Оптимизация взрывных работ
Численные эксперименты	Трещины в горных массивах	Взаимодействие новых и старых трещин влияет на распространение напряжений	Применение численных методов
Аналитические методы	Взорванная горная масса	Расчет гранулометрического состава подтверждает правомерность подхода	Методы для оценки фрагментации
Машинное обучение, анализ сигналов	Сигналы трещинообразования	Модели машинного обучения улучшают интерпретацию трещинных сигналов	Автоматизация анализа данных
Анализ взаимной информации	Взрывные работы	Влияние различных параметров на фрагментацию породы	Прогнозирование качества взрывных работ
Полевые эксперименты, теоретический расчет	Взрывчатые вещества	Место инициирования взрыва влияет на характер разрушений	Анализ амплитуды колебаний
Полевые исследования	Медные рудники, взрывные работы	Негативное воздействие взрывов на окружающую среду и инфраструктуру	Оптимизация взрывных работ на рудниках

вационных решений. Результаты последних исследований показывают, что интеграция современных технологий и подходов может значительно повысить эффективность и безопасность взрывных работ. Однако для достижения

значительных результатов необходимо продолжать изучение различных сторон динамического разрушения, оптимизации взрывных технологий и воздействия на окружающую среду.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мин Чж. Исследование взаимосвязи между динамической прочностью при точечном нагружении и динамической прочностью на сжатие на основе энергетической системы. / Мин Чж., Лань Ц., Цинвэнь Ли, Шуан Я., Чжэньпин Х. // Журнал «Удар и вибрация». 2022. С. 10 (на английском языке)
2. Алиаскар М. Экспериментальное и численное исследование динамического разрушения горных пород. / Алиаскар М., Хоссейн М., Сохейл М., Мохаммадамин Д. // Международный журнал горного дела и геотехнической инженерии. 2017. Т. 51-1. С. 37-46 (на английском языке)
3. Ma G.W. Моделирование взрывного разрушения подземных горных выработок / G.W. Ma, H. Nao, F. Wang. // Журнал горной механики и геотехнической инженерии. 2011. №3 (1). С. 19-29 (на английском языке)
4. Хэпин С. Энергетический анализ и критерии разрушения горных пород. / Хэпин С., Ли Юнь Л., Руйдун П., Цзю Я. // Журнал горной механики и геотехнической инженерии. 2009. №1 (1). С. 11-20 (на английском языке)
5. Жисянь Х. Экспериментальные и численные исследования взрывного перелома и недолома в подземных выработках. / Х. Жисянь, Т. Мин, Ц. Сюэцзяо, Ву. Чэнцин, Миншэн Чж. // Журнал «Подземное Пространство». 2023. №8. С. 61-79 (на английском языке)
6. Юнцзюнь Чж. Конститутивное моделирование скорости инициирования и распространения трещин взрыва в массивах горных пород / Чж. Юнцзюнь, Мэн Сюй, Сицзя Лю, Фэй Лю, Цинсон Ван. // Международный журнал угольной науки и технологий. 2023. №10. С. 83 (на английском языке)

7. Благо Оламиде Та. Улучшение дробления горной массы взрывом с использованием искусственной нейронной сети и программного обеспечения BlastFrag© Optimizer. / Благо Оламиде Та., А. Бабантунде. // Журнал «Геотермальная энергия». 2023. №69 (1). С. 47-61 (на английском языке)
8. Ракишев Б.Р., Ракишева З.Б. Основные характеристики стадий разрушения массива горных пород взрывным дроблением. // Труды 7-й Международной конференции по физическим проблемам разрушения горных пород, Пекин, Китай, 2011. – С. 65-69 (на английском языке)
9. Мэн Хэ. Численное моделирование параметров оптимизации временной процедуры в соответствии с контролируемым применением / Мэн Хэ, Йехун Ху, Ч. Джин, Чж. Цзячжао, Хэлун Ли, Ц. Чангенг. // Журнал «Удар и Вибрация». 2022. С. 12 (на английском языке)
10. Зилонг Чж. Деление событий разлома горных пород и взрывов на основе сложности сигнала и машинного обучения / Зилонг Чж., Руишань Чэн, Ц. Синь, Дань Ма и Чунцзян. // Журнал «Удар и вибрация». 2018. С. 10 (на английском языке)
11. Газини Н. Прогнозирование дробления горной массы при взрыве с использованием взаимной информации и системы инженерной геологии: случайное исследование: мейдукский медный рудник. / Н. Газини, М. Моусакхани, Х.Б. Амниех, А. Джафари. // Международный журнал горного дела и геоинженерии. 2017. Т. 51-1. С. 23-28 (на английском языке)
12. Цидун Г. Влияние места инициации внутри взрывной скважины на поле вибрации взрыва и его механизм. / Г. Цидун, Лу Вэньбо, Л. Жндун, Ян Чжаовой, Чж. Юйчжу. // Журнал «Удар и вибрация». 2019. С. 18 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Мин Чж. Нүктелік жүктемедегі динамикалық беріктік пен энергетикалық жүйеге негізделген динамикалық қысу беріктігі арасындағы байланысты зерттеу. / Чж. Мин, Ц. Лань, Цинвэнь Ли, Я. Шуан, Х. Чжэньпин. // «Соққы және Діріл» журналы. 2022. Б. 10 (ағылшын тілінде)
2. Алиаскар М. Тау жыныстарының динамикалық бұзылуын эксперименттік және сандық зерттеу. / М. Алиаскар, М. Хоссейн, М. Сохейл, Д. Мохаммадамин. // Халықаралық тау-кен және геоинженерия журналы. 2017. Т. 51-1. Б. 37-46 (ағылшын тілінде)
3. Ма G.W. Жерасты тау-кен қазбаларының жарылғыш бұзылуын модельдеу / G.W. Ма, Н. Нао, F. Wang. // Тау-кен механикасы және геотехникалық инженерия журналы. 2011. №3 (1). Б. 19-29 (ағылшын тілінде)
4. Хэпин С. Энергетикалық талдау және тау жыныстарын бұзылу критерийлері. / С. Хэпин., Ли Юнь Л., П. Руйдун, Я. Цзю. // Тау-кен механикасы және геотехникалық инженерия журналы. 2009. №1 (1). Б. 11-20 (ағылшын тілінде)
5. Жисянь Х. Жерасты қазбаларындағы жарылғыш сынықтар мен сынықтарды эксперименттік және сандық зерттеу. / Х. Жисянь, Т. Мин, Ц. Сюэцзяо, Ву. Чэнцин, Миншэн Чж. // «Жерасты Кеңістігі» журналы. 2023. №8. Б. 61-79 (ағылшын тілінде)
6. Юнцзюнь Чж. Тау жыныстары массивтеріндегі жарылыстың басталу жылдамдығы мен таралуын конституциялық модельдеу / Чж. Юнцзюнь, Мэн Суй, Сицзя Лю, Фэй Лю, Цинсон Ван. // Халықаралық көмір ғылымы және технологиялар журналы. 2023. №10. Б. 83 (ағылшын тілінде)
7. Благо Оламиде Та. BlastFrag© Optimizer жасанды нейрондық желі мен бағдарламалық жасақтаманы қолдана отырып, жарылыс арқылы тау массасын ұсақтауды жақсарту / Благо Оламиде Та., А. Бабантунде. // «Геотермальная энергия» журналы. 2023. №69 (1). Б. 47-61 (ағылшын тілінде)
8. Ракишев Б.Р., Ракишева З.Б. Жарылғыш ұсақтау арқылы тау жыныстары массивінің бұзылу кезеңдерінің негізгі сипаттамалары. // Тау жыныстарын бұзудың физикалық мәселелері жөніндегі 7-ші Халықаралық конференцияның еңбектері, Пекин, Қытай, 2011. Б. 65-69 (ағылшын тілінде)
9. Мэн Хэ. Бақыланатын қолдануға сәйкес уақытша процедураны оңтайландыру параметрлерін сандық модельдеу. / Мэн Хэ, Йехун Ху, Ч. Джин, Чж. Цзячжао, Хэлун Ли, Ц. Чангенг. // «Соққы және Діріл» журналы. 2022. Б. 12 (ағылшын тілінде)
10. Зилонг Чж. Сигнал мен машиналық оқытудың күрделілігіне негізделген тау жыныстарының жарылуы мен жарылыс оқиғаларын бөлу. / Чж. Зилонг, Руишань Чэн, Ц. Синь, Дань Ма, Чунцзян. // «Соққы және Діріл» журналы. 2018. Б. 10 (ағылшын тілінде)
11. Газини Н. Өзара ақпарат пен инженерлік геология жүйесін қолдана отырып, жарылыс кезінде тау жыныстарының ұсақталуын болжау: кездейсоқ зерттеу: мейдук мыс кеніші. / Н. Газини, М. Моусакхани, Х.Б. Амниех, А. Джафари. // Халықаралық тау-кен және геоинженерия журналы. 2017. Т. 51-1. Б. 23-28 (ағылшын тілінде)
12. Цидун Г. Жарылыс ұңғымасының ішіндегі инициация орнының жарылыс тербелісі өрісіне әсері және оның механизмі. / Г. Цидун, Вэньбо Лу, Л. Жндун, Чжаовой Ян, Чж. Юйчжу. // «Соққы және Діріл» журналы. 2019. Б. 18 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Ming Zhou. *Research on the Conversion Relationship between Dynamic Point Load Strength and Dynamic Compressive Strength Based on Energy System.* / Ming Zhou, Lan Qiao, Qingwen Li, Shuang Yang and Zhenping Huang. // *Shock and Vibration*. 2022. P. 10 (in English)
2. Aliasghar M. *Experimental and Numerical Investigation of Rock Dynamic Fracture.* / Aliasghar Mirmohammadlou, Hossein Memarian, Soheil Mohammadi, Mohammadamin Jafari. // *International Journal of Mining and Geo-Engineering*. 2017. V. 51-1. P. 37-46 (in English)
3. Ma G.W. *Simulations of explosion-induced damage to underground rock chambers* / Ma G.W., Hao H., Wang F. // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2011. №3 (1). P. 19-29 (in English)
4. Heping Xie. *Energy analysis and criteria for structural failure of rocks.* / Heping Xie, Liyun Li, Ruidong Peng, Yang Ju. // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2009. №1 (1). P. 11-20 (in English)
5. Zhixian Honga. *Experimental and numerical studies of the blast-induced overbreak and underbreak in underground roadways.* / Zhixian Honga, Ming Taoa, Xuejiao Cuia, Chengqing Wub, Mingsheng Zhao. // *Underground Space*. 2023. №8. P. 61-79 (in English)
6. Yongjun Zhang. *Rate-dependent constitutive modelling blasting crack initiation and propagation in rock masses.* / Yongjun Zhang, Meng Xu, Sijia Liu, Fei Liu, Qingsong Wang. // *International Journal of Coal Science & Technology*. 2023. №10. P. 83 (in English)
7. Blessing Olamide Taiwo. *Improvement of Blast-induced Fragmentation Using Artificial Neural Network and BlastFrag© Optimizer Software.* / Blessing Olamide Taiwo, Babatunde Adebayo. // *Geothermal Energy*. 2023. №69 (1). P. 47-61 (in English)
8. Rakishev B.R., Rakisheva Z.B. *Basic Characteristics of the Stages of Rock Massif Destruction by Explosive Crushing.* // *Proceedings of the 7th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction, Beijing, China, 2011.* – P. 65-69 (in English)
9. Meng He. *Numerical Simulation Study on Parameter Optimization of Time Sequential Controlled Blasting.* / Meng He, Yehong Hu, Jin Chen, Jiazhao Zhang, Helong Li and Changgeng Cai. // *Shock and Vibration*. 2022. P. 12 (in English)
10. Zilong Zhou. *Discrimination of Rock Fracture and Blast Events Based on Signal Complexity and Machine Learning.* / Zilong Zhou, Ruishan Cheng, Xin Cai, Dan Ma and ChongJiang. // *Shock and Vibration*. 2018. P. 10 (in English)
11. Naeim Ghaeini. *Prediction of blasting fragmentation using the mutual information and rock engineering system; case study: Meydook copper mine.* / Naeim Ghaeini, Mojtaba Mousakhani, Hassan Bakhshandeh Amnieh, Ahmad Jafari. // *International Journal of Mining and Geo-Engineering*. 2017. V. 51-1. P. 23-28 (in English)
12. Qidong Gao. *Effect of Initiation Location within Blasthole on Blast Vibration Field and Its Mechanism.* / Qidong Gao, Wenbo Lu, Zhendong Leng, Zhaowei Yang, Yuzhu Zhang. // *Shock and Vibration*. 2019. P. 18 (in English)

Сведения об авторах:

Атагелдиев К.Т., докторант, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Қарағандың техникалық университеті иімі Абылкаса Сагінова» (г. Қарағанды, Қазақстан), kobei_91@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1902-0170>

Бахтыбаев Н.Б., к.т.н, директор ТОО «Mining Research Group» (г. Қарағанды, Қазақстан), bahtybaev@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-9816-9765>

Абил О.А., заместитель директора, ТОО «Mining Research Group» (г. Қарағанды, Қазақстан), orazabil@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9939-9039>

Авторлар туралы мәліметтер:

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

Бахтыбаев Н.Б., т.ғ.к., «Mining Research Group» ЖШС директоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Абил О.А., «Mining Research Group» ЖШС директоры орынбасары (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

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

Bakhtybayev N.B., candidate of Technical Sciences, director of the LLP «Mining Research Group» LLP (Karaganda, Kazakhstan)

Abil O.A., associate Director of the LLP «Mining Research Group» LLP (Karaganda, Kazakhstan)



**XX-ая МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕДР**

ufi
Approved
Event



Mining Week

KAZAKHSTAN' 2025

24-26.06.2025

[КАРАГАНДА] [КАЗАХСТАН]



ТОО «TNT EXPO»

+7 (727) 344 00 63

✉ mintek@tntexpo.kz

📷 mining.week.kazakhstan



MININGWEEK.KZ

Код МРНТИ 52.13.17

*Д. Крамсаков¹, И. Столповских¹, С. Кузьмин², С. Мелентьев²¹НАО Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),²НАО Рудненский индустриальный институт (г. Рудный, Казахстан)

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОНТЕЙНЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ ГОРНЫХ ПОРОД В КАРЬЕРАХ

Аннотация. В настоящее время при использовании на карьерах комбинированных видов транспорта процесс промежуточной перегрузки горной массы является неотъемлемой частью технологии производства. На перегрузочных складах рудных карьеров в настоящее время перегружается до 50-60% добываемой горной массы. В этой связи развитие методов исследования, обоснования и расчета параметров контейнерной технологии перегрузки горной массы на карьерах, обеспечивающей экономическую и производственную эффективность предприятия, является актуальной научной и практической задачей, имеющей отраслевое значение. В статье предлагаются новые возможности повышения эффективности эксплуатации перегрузочных пунктов горной массы в карьерах путем обоснования методики проектирования пунктов перегрузки руды, условий и параметров контейнерной технологии с использованием карьерной подъемной машины на базе драглайна ЭШ-13/50.

Ключевые слова: карьер, перегрузочный узел, комбинированный транспорт, контейнерная технология, шагающий экскаватор, подъемная машина, технико-экономический расчет, экономический эффект.

Карьерлерде тау жыныстарын шамадан тыс жүктеу кезінде контейнерлік технологияны қолдану негіздемесі

Аннотация. Қазіргі уақытта карьерлерде көліктің аралас түрлерін пайдалану кезінде тау-кен массасын аралық қайта тиеу процесі өндіріс технологиясының құрамдас бөлігі болып табылады. Кен карьерлерінің ауыстырып тиеу қоймаларында қазылған тау-кен массасының 50-60%-ы қазіргі уақытта қайта тиеледі. Осыған байланысты карьерлерде тау-кен массасын қайта тиеу, кәсіпорын қызметінің экономикалық және өндірістік тиімділігін қамтамасыз ету үшін контейнерлік технология параметрлерін зерттеу, негіздеу және есептеу әдістерін жасау өндірістік маңызы бар өзекті ғылыми-тәжірибелік міндет болып табылады. Мақалада кенді тасымалдау пункттерін жобалау әдістемесін, ЭЖ-13/50 драглайн негізіндегі карьерлік жүк көтергіш машинаны пайдалана отырып, контейнерлік технологияның шарттары мен параметрлерін жобалау әдістемесін негіздеу арқылы карьерлердегі тау жыныстарын тасымалдау пункттерін пайдалану тиімділігін арттырудың жана мүмкіндіктері ұсынылған.

Түйінді сөздер: карьер, қайта тиеу торабы, аралас көлік, контейнерлік технология, жаяу экскаватор, көтеру машинасы, техникалық-экономикалық есептеу, экономикалық әсер.

Justification of the use of container technology in the transshipment of rocks in quarries

Abstract. At present, when using combined types of transport in quarries, the process of intermediate reloading of rock mass is an integral part of the production technology. At the reloading warehouses of ore quarries, up to 50-60% of the mined rock mass is currently reloaded. In this regard, the development of methods for research, justification and calculation of parameters of container technology for handling rock mass in quarries, ensuring the economic and production efficiency of the enterprise, is a pressing scientific and practical task of industry significance. The article proposes new possibilities for increasing the efficiency of operation of rock mass transfer points in quarries by substantiating the design methodology for ore transfer points, conditions and parameters of container technology using a quarry hoist based on the WE-13/50 dragline.

Key words: quarry, transshipment hub, combined transport, container technology, walking excavator, lifting machine, technical and economic calculation, economic effect.

Введение

Увеличение глубины отработки месторождений полезных ископаемых открытым способом и расстояния транспортирования горной массы автомобильным транспортом приводит к росту общих затрат. Карьерный транспорт является основным источником воздействия на окружающую среду за счет высоких выбросов отработанных газов в атмосферу, пыления поверхности автодорог, перевозимой горной массы. В таких условиях оптимизация транспортной составляющей является приоритетной задачей.

Перегрузочный пункт горной массы в карьерах является связующим звеном, соединяя различные виды транспорта в единую технологическую систему. От правильного выбора конструкции, места расположения в карьерном пространстве и шага переноса перегрузочного пункта зависят производительность, бесперебойность и ритмичность работы погрузочно-транспортного комплекса в целом. В таких условиях актуальной является задача уменьшения ширины площадок, занимаемых внутрикарьерными перегрузочными пунктами.

В настоящее время отсутствуют технологические схемы и обоснованные методики расчета параметров перегрузочных складов, позволяющие эффективно применять на них современные интеллектуальные контейнерные технологии с использованием карьерной подъемной машины на базе драглайна ЭШ-13/50, получивших широкое рас-

пространение на предприятиях.

Идея работы заключается в снижении затрат энергии на подъем и перегрузку горной массы на внутрикарьерных подъемно-перегрузочных пунктах и повышения эффективности их эксплуатации.

Целью работы являются обоснование параметров и разработка методики проектирования пунктов перегрузки руды при контейнерной технологии с использованием в качестве складского оборудования карьерной подъемной машины на базе драглайна ЭШ-13/50.

Проведенный анализ литературы [1-3] позволяет констатировать, что в настоящее время различают несколько типов эстакадных пунктов перегрузки [4] (рис. 1): вся горная масса полностью перегружается из автосамосвалов непосредственно в думпкары; разгрузка производится в специальный полустационарный или стационарный бункер, из которого горная масса самотеком либо с помощью вибропитателей перемещается в железнодорожные думпкары.

Эстакадные пункты перегрузки имеют серьезные недостатки: сложность загрузки автосамосвалами думпкаров на полную грузоподъемность последних; трудоемкость переноса эстакад на нижние горизонты; запыленность при одновременной разгрузке большого объема горной массы.

На карьерах наибольшее применение нашли экскаваторная перегрузка горной массы, при этом оборудование

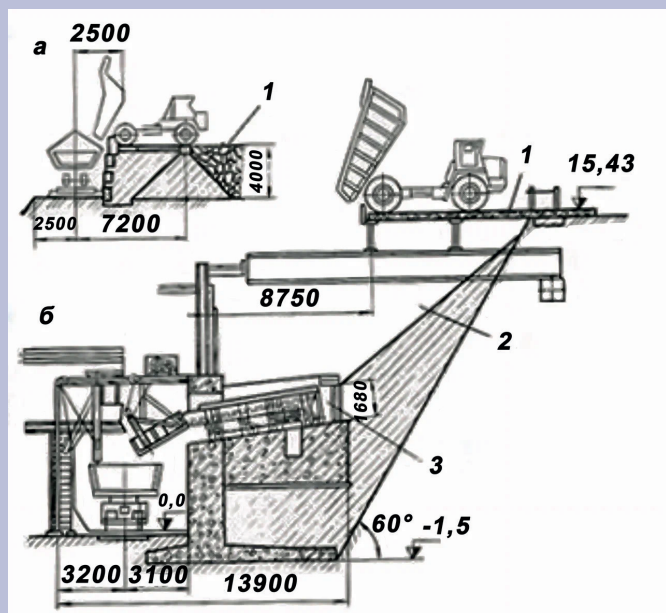


Рис. 1. Эстакадные схемы перегрузки горной массы:

1 – эстакада, 2 – борт карьера, 3 – вибропитатель;
 а – непосредственная перегрузка в думпкары,
 б – перегрузка через вибропитатель.

Сурет 1. Тау массасын қайта тиеуге арналған эстакадалардың схемалары: 1 – эстакада, 2 – шұңқыр жағы, 3 – дірілдеткіш фидер; а – самосвалдарға тікелей тиеу, б – діріл фидер арқылы шамадан тыс жүктеу.

Figure 1. Trestle schemes for handling rock mass:

1 – overpass, 2 – quarry side, 3 – vibratory feeder; а – direct transfer to dump cars, б – transfer through vibratory feeder.

перегрузочного пункта состоит из одного или нескольких экскаваторов [5, 6].

Заглубленные склады устраиваются в специально выполненной выемке (приямке), в которую разгружаются автосамосвалы, и выполняют, как правило, одну определенную функцию [6, 7]. Склады бортового типа представляют собой призму отсыпаемого под откос уступа материала и подразделяются на фронтальные и торцовые. Главными их недостатками являются консервация объемов руды под складом из-за его большой длины и низкая производительность экскаватора на складе, что приводит к созданию в карьере нескольких складов [8]. Трудности с размещением перегрузочных складов в рабочей зоне карьеров возрастают с увеличением глубины карьеров, что вынуждает искать новые технические решения.

Материалы и методы

Одним из вариантов снижения объемов экскавации на складах и одновременного сокращения площадей под перегрузочные пункты может быть использование на перегрузке горной массы в железнодорожные вагоны карьерных подъемных машин с контейнерами для горной массы. Подъем горной массы с помощью драглайнов в качестве подъемных машин предлагался и ранее [9]. Однако, среди существующих базовых моделей драглайнов нет малогабаритных, но с большой концевой нагрузкой на подъемном канате. Малогабаритность не-

обходима в стесненных условиях глубоких горизонтов карьера, а концевая нагрузка на подъемном канате свыше 100 тонн может обеспечить работу с контейнерами грузоподъемностью, соразмерной с грузоподъемностью железнодорожных вагонов и увеличить производительность перегрузочных пунктов по сравнению с известными экскаваторными в 2-2,5 раза [10]. Подъемная машина будет располагаться на промежуточном уступе, согласно рис. 2.

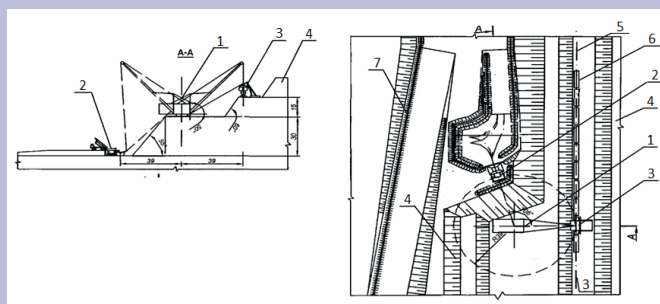


Рис. 2. Схема внутрикарьерного подъемно-перегрузочного пункта с карьерной подъемной машиной на базе драглайна ЭШ-13/50: 1 – подъемная машина, 2 – площадка приема груженых контейнеров, 3 – устройство разгрузки контейнеров в железнодорожные вагоны, 4 – карьерные уступы, 5 – железнодорожные пути, 6 – состав железнодорожных думпкаров, 7 – внутрикарьерная дорога.

Сурет 2. Карьердің ішіндегі көтеру-қайта тиеу пунктінің сызбасы ЭШ-13/50 драглайнға негізделген карьерді көтеру машинасымен: 1 – көтергіш машина, 2 – тиелген контейнерлерді қабылдауға арналған платформа, 3 – контейнерлерді теміржол вагондарына түсіруге арналған құрылғы, 4 – карьердің жиектері, 5 – темір жолдар, 6 – темір жол вагондарының құрамы, 7 – карьерішілік жол.

Figure 2. The scheme of the intra-barrier lifting and reloading point with a quarry lifting machine based on the ASH-13/50 dragline: 1 – lifting machine, 2 – platform for receiving loaded containers, 3 – device for unloading containers into railway cars, 4 – quarry benches, 5 – railway tracks, 6 – train of railway dump cars, 7 – quarry internal road.

Радиус разгрузки драглайна R_p может быть определен по формуле:

$$R_p = L_c \cos(\gamma) + d, \text{ м}, \quad (1)$$

где L_c – длина стрелы драглайна, м;

γ – угол наклона стрелы драглайна, град.;

d – расстояние от оси вращения драглайна до пяты его стрелы, м.

$$R_p = 50 \cos 30^\circ + 5 = 48,3 \text{ м}.$$

Высота предотвала $H_{пред.}$ может быть определена по формуле:

$$H_{\text{пер}} = (R_p - B - C) \operatorname{tg}(\beta), \text{ м}, \quad (2)$$

где B – расстояние от оси контейнера до нижней бровки предотвала, м;

C – безопасное расстояние от оси вращения драглайна до верхней бровки предотвала, м;

β – угол откоса отвала, град.

$$H_{\text{пер}} = (48,3 - 6 - 1) \operatorname{tg} 40^\circ = 34,65, \text{ м}. \quad (3)$$

Принимаем высоту предотвала 30 метров и железнодо- рожный тупик будет располагаться на высоте 15 метров выше уровня установки подъемной машины. Это позволит сократить плечо откатки самосвалов, так как один перегрузочный склад с контейнерами обеспечивает подъем горной породы на 45 метров.

По схеме, приведенной на рис. 3, горную массу достав- ляют от забоев автосамосвалами любой грузоподъемно- сти и выгружают в бункер пластинчатого или ленточного питателя, из которого заполняют контейнеры по мере их подачи карьерной подъемной машиной.

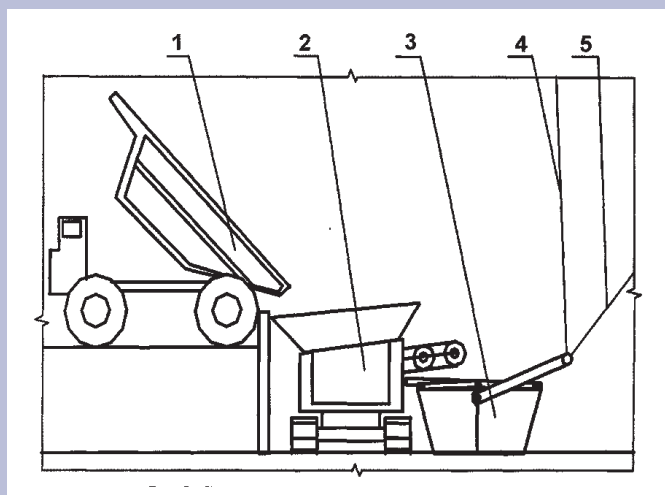


Рис. 3. Схема заполнения контейнера горной массой:

1 – автосамосвал, 2 – питатель с бункером,
3 – контейнер, 4 – подъемный канат драглайна,
5 – тяговый канат драглайна.

Сурет 3. Контейнерді тау-кен массасымен толтыру схемасы: 1 – автосамосвал, 2 – бункермен қоректендіргіш, 3 – контейнер, 4 – драглайн көтергіш арқан, 5 – драглайн тартқыш арқан.

Figure 3. Scheme of filling the container with rock mass:

1 – dump truck, 2 – feeder with hopper,
3 – container, 4 – dragline lifting rope,
5 – dragline traction rope.

Недостатком такой схемы является пониженная ско- рость заполнения контейнера. При этом надо правильно выбрать питатель, например, питатель типа 1-24-150, имеющий ширину полотна 2400 мм, мощность привода 37,5 кВт и собственную массу 108 т при высоте рабоче- го слоя 0,8 м с насыпной плотностью материала 1,5 т/м³ обеспечивает производительность 2000 м³/ч или 0,83 т/с [10]. При такой производительности на заполнение кон-

тейнера грузоподъемностью 35 тонн потребуется 42 се- кунды, что значительно удлинит рабочий цикл карьерной подъемной машины и снизит ее производительность. Для обеспечения времени загрузки контейнера в пределах 25 с. необходимо подобрать питатель с подачей не менее 1,4 т/с или 3360 м³/ч.

Разгрузка контейнера в думпкары будет производиться автоматически. На рис. 4 приводится схема разгрузки с применением прицельной плиты.

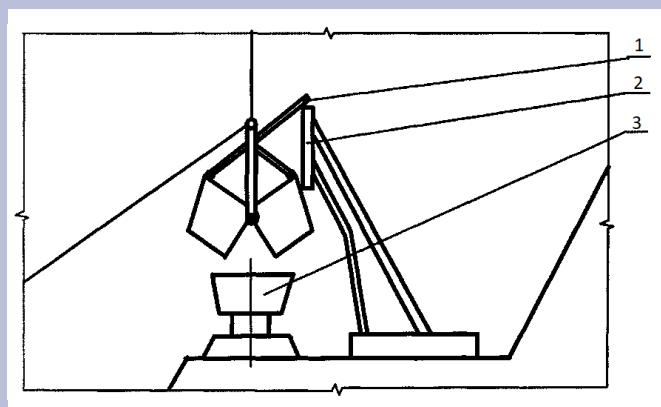


Рис. 4. Схема выгрузки горной массы из контейнера с донной разгрузкой: 1 – рычаг привода в действие механизма донной разгрузки контейнера, 2 – прицельная плита, 3 – думпкар.

Сурет 4. Тау-кен массасын контейнерден түсіру схемасы төменгі разрядпен: 1 – контейнерді түбінен түсіру механизмін іске қосу тетігі, 2 – қору тақтасы, 3 – думпкар.

Figure 4. Scheme of unloading rock mass from a container: 1 – lever for actuating the bottom unloading mechanism of the container, 2 – sighting plate, 3 – dumpcar.

Обсуждение

Комплексная сравнительная оценка предлагаемой схе- мы перегрузочного пункта и существующего внутрика- рьерного склада штабельного типа выполнена по следу- ющим показателям: стоимость комплекта оборудования (таблица 1); годовые эксплуатационные затраты (табли- ца 2); сводные экономические показатели по вариантам (таблица 3).

Стоимости комплектов оборудования предлагаемо- го и традиционного вариантов примерно равны. Расчет капитальных затрат по вариантам приведен в табли- це 1.

Эксплуатационные годовые затраты по вариантам при- ведены в таблице 2.

Внутрикарьерный перегрузочный склад с ЭКГ-10 по традиционной схеме занимает площадь около 11,5 тыс. м². В предлагаемой технологической схеме (в соответствии с рис. 1) общая площадь для перегрузочного пункта соста- вит около 5,8 тыс. м², что в два раза меньше площади тра- диционного штабельного склада.

В таком случае ежегодные затраты, Z , тыс. долл., на поддержание каждого элемента рабочей зоны карьера определяются через нормативный коэффициент эффектив- ности капитальных вложений по формуле:

Таблица 1

Стоимость комплекта оборудования для подъема 9,5 млн. т/год горной массы на 45 м по борту карьера и перегрузки в железнодорожный транспорт

Кесте 1

Кен массасын жылына 9,5 млн. т көтеруге арналған жабдықтар жиынтығының құны карьердің бортында 45 м және темір жол көлігіне қайта тиеу

Table 1

The cost of a set of equipment for lifting 9.5 million tons/year of rock mass by 45 m on board the quarry and transshipment to railway transport

Наименование	Количество	Стоимость, млн. долл.	
		Вариант 1 (базовый)	Вариант (предлагаемый)
Автосамосвал, г/п 91т (CAT-777D)	2,0	1,6	-
Экскаватор (ЭКГ-10)	1,15	2,3	-
Бульдозер Т-25	1	0,3	-
Питатель (3,5-4,0 тыс. м ³ /час)	1	-	0,8
Драглайн (ЭШ-13/50)	1	-	3,5
Контейнер, прицельная плита	1 комплект	-	0,05
Всего		4,20	4,35

Таблица 2

Годовые эксплуатационные затраты по технологическим вариантам при производительности комплекса 9,5 млн т/год

Кесте 2

Кешеннің өнімділігі жылына 9,5 млн т технологиялық нұсқалар бойынша жылдық пайдалану шығындары

Table 2

Annual operating costs for technological options with a complex capacity of 9.5 million tons/year

Виды работ	Удельная стоимость, долл./т-м	Затраты, млн. долл./год	
		Вариант 1 (базовый)	Вариант 2 (предлагаемый)
Подъем автотранспортом на 45 м (0,9 км)	0,1	0,855	-
Погрузка экскаватором	0,035	0,333	-
Перемещение бульдозером	0,017	0,162	-
Погрузка питателем	0,175	-	0,166
Подъем и погрузка драглайном	0,053	-	0,504
Всего		1,350	0,670

Таблица 3

Сводные экономические показатели по вариантам технологических схем перегрузочного пункта в карьере

Кесте 3

Карьердегі қайта тиеу пунктiнiң технологиялық схемаларының нұсқалары бойынша жиынтық экономикалық көрсеткіштер

Table 3

Summary economic indicators for variants of technological schemes of the transshipment point in the quarry

Виды затрат	Годовые затраты по вариантам, млн. долл.		Отклонение (вар. 1 – вар. 2), млн. долл.
	Вариант 1 (базовый)	Вариант 2 (предлагаемый)	
Эксплуатационные	1,350	0,670	0,68
Ущерб от поддержания площадей под перегрузочный пункт	0,662	0,389	0,273
Всего	2,012	1,059	0,953

$$Z = Y_{зкр} \cdot C_{зкр} \cdot K_n \cdot 10^3, \quad (4)$$

где $Y_{зкр}$ – объем горно-капитальных работ, м³;

$C_{зкр}$ – себестоимость вскрышных работ, 1,5 долл./м³;

K_n – коэффициент нормативной эффективности капитальных вложений, $K_n = 0,15$.

Сводные экономические показатели по вариантам технологических схем перегрузочного пункта в карьере приведены в таблице 3.

При сравнении технологических схем необходимо учитывать фактор повышения экологической безопасности. Он может быть оценен по уровню вредных выбросов в атмосферу карьера и численности персонала, подвергающегося воздействию вредных факторов в карьере. Снижение грузовой работы автотранспорта в карьере на 8,55 млн. т-км/год при использовании одной карьерной подъемной машины на подъемно-перегрузочном пункте приведет к сокращению расхода дизельного топлива на 855 тонн в год и, соответственно, к снижению загазованности атмосферы карьера, что следует из известного среднего удельного расхода при автоперевозках около 100 г/т-км.

Численность основного рабочего персонала по вариантам определится из состава и количества оборудования (таблица 1). Для традиционного варианта это составит 5 человек в смену (2 – на автосамосвалах, 1 – на бульдозере, 2 – на экскаваторе). Для предлагаемого варианта подъемно-перегрузочного пункта – 3 человека в смену (1 – на питателе, 2 – на подъемной машине-драглайне). Снижение численности на 40%. При дистанционном управлении питателем с пульта карьерной подъемной машины численность для предлагаемого варианта составит 2 человека в смену.

Снижение затрат энергии на подъем и перегрузку горной массы при использовании предложенной схемы можно оценить из сравнения общей мощности оборудования

по вариантам. Суммарная мощность двух автосамосвалов, одного экскаватора ЭКГ-10 и бульдозера равна 2700 кВт (2·800 + 800 + 300). Мощность сетевого двигателя драглайна ЭШ-10/70А – 1250 кВт, питателя – около 80 кВт. Сравнение установленных мощностей по вариантам говорит о том, что затраты энергии снизятся в два раза при внедрении предлагаемого подъемно-перегрузочного пункта.

Заключение

Положительный эффект от применения подъемно-перегрузочного пункта с карьерной подъемной машиной при контейнерной технологии транспортирования горной массы в карьерах в сравнении с существующими системами состоит в следующем: снижении годовых эксплуатационных затрат; сокращении ежегодного ущерба от поддержания дополнительных площадей в карьере; повышении эффективности транспортных систем в карьере; улучшении экологической обстановки в карьере вследствие сокращения объема выхлопных газов от техники, работающей на дизельном топливе. Замена только одного внутрикарьерного экскаваторного штабельного перегрузочного склада на подъемно-перегрузочный пункт с карьерной подъемной машиной позволяет вдвое снизить годовые эксплуатационные затраты энергии установленных мощностей по вариантам, а расчетная сумма экономии ежегодных затрат при этом составит около 0,95 млн. долл. США. Снижается загазованность атмосферы карьера, численность рабочего персонала и энергоемкость производства, что полностью отвечает мировым требованиям, предъявляемым к современным горным технологиям.

Благодарность

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант №АР 19675410).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Галкин В.И., Шешко Е.Е. Инженерная логистика погрузочно-разгрузочных транспортных и складских работ на горных предприятиях: М.: МГГУ, 2009, С. 156 (на русском языке)
2. Саканцев Г.Г. Совершенствование систем добычи полезных ископаемых на больших глубинах на основе оптимизации доступа и параметров открытых горных работ. / Г.Г. Саканцев, М.Г. Саканцев, В.И. Ческидов, В.К. Норри. // Журнал горной науки. 2014. Т. 50. С. 714-718 (на английском языке)
3. Немова Н.А. Разработка технологических решений для отработки прилегающих породных массивов и запасов карьера с учетом геомеханической оценкой месторождения. / Н.А. Немова, Д. Таханов, Б. Хуссан, А. Жумабекова. // Научный вестник национального горного университета. 2020. Т. 2. С. 17-23 (на английском языке)
4. Гончаров С.А. Перемещение и складирование горной массы: учебник – 2-е изд., стер. М.: Издательство МГГУ, 2000, С. 285 (на русском языке)
5. Васильев М.В. Комбинированный транспорт на карьерах: М.: Недра, 1975, С. 360 (на русском языке)
6. Молдабаев С., Султанбекова З., Адамчук А., Сарыбаев Н. Метод оптимизации размещения циклических и непрерывных технологических комплексов при завершении разработки глубокозалегающих открытых рудников. // 19-я Международная междисциплинарная научная геоконференция SGEM, 2019. – С. 407-414 (на английском языке)
7. Дриженко А., Молдабаев С., Шустов А., Адамчук А., Сарыбаев Н. Технология открытой разработки пологонаклонных месторождений пологонаклонными подземными выработками. // Международная многопрофильная научная геоконференция «Геодезия, геология и экология горного дела», 2017. – С. 599-606 (на английском языке)

8. Ступник М., Колосов В., Пысменный С., Константин К. Селективная разработка месторождений руд со сложной структурой с использованием комплексных систем. // *Сеть конференций E3S, 2019 (на английском языке)*
9. Сладковский А. Контейнерная технология транспортировки горных масс в карьерах. / А. Сладковский, С. Кузьмин, А. Утегенова, И. Столповских, Д. Крамсаков. // *Научный вестник национального горного университета. 2024. Т. 2. С. 38-44 (на английском языке)*
10. Хуссан Б. Обоснование и разработка инновационной контейнерной технологии подъема горной массы из глубоких карьеров. / Б. Хуссан, А. Абдиев, М. Битимбаев, С. Кузьмин, С. Исагулов, А. Матаев. // *Разработка месторождений полезных ископаемых. 2022. №16 (4). С. 87-95 (на английском языке)*
11. Трубецкая К.Н. Справочник ОГР: Москва. Горное бюро, 1994, С. 567 (на русском языке)
12. Берсенов В.А. Схемы циклично-поточной технологии при различном залегании месторождений полезных ископаемых (обзор применяемых и предлагаемых схем ЦПТ). / В.А. Берсенов, Г.Д. Кармаев, А.В. Семенкин, И.Г. Сумина. // *Проблемы недропользования. 2018. Т. 4. С. 13-21 (на русском языке)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Галкин В.И., Шешко Е.Е. Тау-кен кәсіпорындарындағы тиеу-түсіру көліктік және қойма жұмыстарының инженерлік логистикасы: М.: МГМУ, 2009, Б. 156 (орыс тілінде)
2. Саканцев Г.Г. Ашық тау-кен өндіру параметрлері мен қолжетімділікті оңтайландыру негізінде үлкен тереңдіктегі тау-кен жүйелерін жетілдіру. / Г.Г. Саканцев, М.Г. Саканцев, В.И. Ческидов, В.К. Норри. // *Тау-кен ғылымының журналы. 2014. Т. 50. Б. 714-718 (ағылшын тілінде)*
3. Немова Н.А. Кен орнын геомеханикалық бағалауды ескере отырып, іргелес тау жыныстары массалары мен карьер қорларын игерудің технологиялық шешімдерін әзірлеу. / Н.А. Немова, Д. Таханов, Б. Хуссан, А. Жұмабекова. // *Ұлттық тау-кен университетінің ғылыми хабаршысы. 2020. Т. 2. Б. 17-23 (ағылшын тілінде)*
4. Гончаров С.А. Тау массасын жылжыту және сақтау: оқулық – 2-ші басылым, өшіріңіз. М.: ММТУ баспасы, 2000, Б. 285 (орыс тілінде)
5. Васильев М.В. Карьерлердегі аралас көлік: М.: Жер қойнауы, 1975, Б. 360 (орыс тілінде)
6. Молдабаев С., Сұлтанбекова З., Адамчук А., Сарыбаев Н. Терең карьерлерді игеру аяқталғаннан кейін циклдік және үздіксіз технологиялық кешендерді орналастыруды оңтайландыру әдісі. // *SGEM 19-шы халықаралық пәнаралық ғылыми геоконференция, 2019. – Б. 407-414 (ағылшын тілінде)*
7. Дридженко А., Молдабаев С., Шустов А., Адамчук А., Сарыбаев Н. Жұмсақ көлбеу жерасты қазбаларын пайдалана отырып, аз көлбеу кен орындарын ашық әдіспен өндіру технологиясы. // *«Геодезия, геология және тау-кен өндіру экологиясы» халықаралық көпсалалы ғылыми геоконференция, 2017. – Б. 599-606 (ағылшын тілінде)*
8. Ступник М., Колосов В., Пысменный С., Константин К. Күрделі жүйелерді пайдалана отырып, күрделі құрылымды кен орындарын іріктеп игеру. // *E3S Conference Network, 2019 (ағылшын тілінде)*
9. Сладковский А. Карьерлерде тау-кен массаларын тасымалдаудың контейнерлік технологиясы. / А. Сладковский, С. Кузьмин, А. Өтегенова, И. Столповских, Д. Крамсаков. // *Ұлттық тау-кен университетінің ғылыми хабаршысы. 2024. Т. 2. Б. 38-44 (ағылшын тілінде)*
10. Хуссан Б. Терең карьерлерден тау-кен массасын көтерудің инновациялық контейнерлік технологиясын негіздеу және әзірлеу. / Б. Хуссан, А. Абдиев, М. Битимбаев, С. Кузьмин, С. Исагулов, А. Матаев. // *Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру. 2022. №16 (4). Б. 87-95 (ағылшын тілінде)*
11. Трубецкая К.Н. ОГР анықтамалығы: Мәскеу. Тау-кен бюросы, 1994, Б. 567 (орыс тілінде)
12. Берсенов В.А. Пайдалы қазбалар кен орындарының әр түрлі пайда болуындағы циклдік-ағындық технологияның схемалары (қолданылатын және ұсынылатын СРТ схемаларына шолу). / В.А. Берсенов, Г.Д. Кармаев, А.В. Семенкин, И.Г. Сумина. // *Жер қойнауын пайдалану мәселелері. 2018. Т. 4. Б. 13-21 (орыс тілінде)*

REFERENCES

1. Galkin V.I., Sheshko E.E. Inzhenernaya logistika pogruzochno-razgruzochnykh transportnykh i skladskiykh rabot na gornyykh predpriyatiyakh: M.: MGGU, 2009, S. 156 [Galkin V.I., Sheshko E.E. Engineering logistics of loading and unloading transport and warehouse operations at mining enterprises: Moscow: MGSU, 2009, P. 156] (in Russian)
2. Sakantsev G.G. Improvement of deep-level mining systems based on optimization of accessing and open pit mine parameters. / Sakantsev G.G., Sakantsev M.G., Cheskidov V.I., Norri V.K. // *Journal of Mining Science. 2014. V. 50. P. 714-718 (in English)*

3. *Nemova N.A. Technological solutions development for mining adjacent rock mass and pit reserves taking into account geomechanical assessment of the deposit. / Nemova N.A., Tahanov D., Hussan B., Zhumabekova A. // Scientific Bulletin of the National Mining University. 2020. V. 2. P. 17-23 (in English)*
4. *Goncharov S.A. Peremeshchenie i skladirovanie gornoj massy: uchebnik – 2-e izd., ster. M.: Izdatel'stvo MGTU, 2000, S. 285 [Goncharov S.A. Movement and storage of rock mass: Textbook – 2nd ed., ster. M.: Publishing House of MSTU, 2000, P. 285] (in Russian)*
5. *Vasil'ev M.V. Kombinirovannyi transport na kar'erakh: M.: Nedra, 1975, S. 360 [Vasiliev M.V. Combined transport at quarries: M.: Nedra, 1975, P. 360] (in Russian)*
6. *Moldabayev S., Sultanbekova Z., Adamchuk A., Sarybayev N. Method of optimizing cyclic and continuous technology complexes location during finalization of mining deep ore open pit mines. // SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 2019. – P. 407-414 (in English)*
7. *Dryzhenko A., Moldabayev S., Shustov A., Adamchuk A., Sarybayev N. Open pit mining technology of steeply dipping mineral occurrences by steeply inclined sublayers. // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, 2017. – P. 599-606 (in English)*
8. *Stupnik M., Kolosov V., Pysmennyi S., Kostiantyn K. Selective mining of complex structured ore deposits by open stop systems. // E3S Web of Conferences, 2019 (in English)*
9. *Sladkowski A. Container technology for transporting rock masses in quarries. / Sladkowski A., Kuzmin S., Utegenova A., Stolpovskikh I., Kramzakov D. // Scientific Bulletin of the National Mining University. 2024. V. 2. P. 38-44 (in English)*
10. *Khussan B. Substantiation and development of innovative container technology for rock mass lifting from deep open pits. / Khussan B., Abdiev A., Bitimbayev M., Kuzmin S., Issagulov S., Matayev A. // Mining of Mineral Deposits. 2022. №16 (4). P. 87-95 (in English)*
11. *Trubetskaya K.N. Spravochnik OGR: Moskva. Gornoe byuro, 1994, S. 567 [Trubetskaya K.N. OGR Reference Book: Moscow. Mining Bureau, 1994, P. 567] (in Russian)*
12. *Bersenev V.A. Skhemy tsiklichno-potochnoi tekhnologii pri razlichnom zaleganii mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh (obzor primenyaemykh i predlagaemykh skhem TsPT). / V.A. Bersenev, G.D. Karmaev, A.V. Semenkin, I.G. Sumina. // Problemy nedropol'zovaniya. 2018. T. 4. S. 13-21 [Bersenev V.A. Schemes of cyclic flow technology for different occurrence of mineral deposits (review of applied and proposed CPT schemes). / Bersenev V.A., Karmaev G.D., Semenkin A.V., Sumina I.G. // Problems of subsurface use. 2018. V. 4. P. 13-21] (in Russian)*

Сведения об авторах:

Крамсаков Д.Е., магистр, докторант кафедры «Технологические машины и оборудование» института Энергетики и машиностроения Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), kramsakov.d@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4504-3392>

Столповских И.Н., профессор кафедры «Технологические машины и оборудование» института Энергетики и машиностроения Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), stolpovskikh_i@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2893-5070>

Кузьмин С.Л., к.т.н, доцент Высшей школы «Металлургия и горное дело» Рудненского индустриального университета (г. Рудный, Казахстан), decan_2008@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1934-9408>

Мелентьев С.Ю., магистр, преподаватель Высшей школы «Металлургия и горное дело» Рудненского индустриального университета (г. Рудный, Казахстан), melentev.98@inbox.ru; <https://orcid.org/0009-0000-3221-0131>

Авторлар туралы мәліметтер:

Крамсаков Д.Е., магистр, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық ғылыми-зерттеу техникалық университеті Metallургия және өнеркәсіптік инженерия институтының «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

Столповских И.Н., Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық ғылыми-зерттеу техникалық университеті Энергетика және машина жасау институты «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Кузьмин С.Л., т.ғ.к, Рудный индустриалды университетінің «Металлургия және тау-кен ісі» Жоғары мектебінің доценті (Рудный қ., Қазақстан)

Мелентьев С.Ю., магистр, Рудный индустриалды университетінің «Металлургия және тау-кен ісі» Жоғары мектебінің мұғалімі (Рудный қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Kramsakov D. Ye., Master, doctoral student of the department «Technological Machines and Equipment» of the Institute of Energy and Mechanical Engineering, Kazakh National Research Technical University K.I. Satbayev (Almaty, Kazakhstan)

Stolpovskikh I.N., Professor of the Department «Technological Machines and Equipment», Institute of Energy and Mechanical Engineering, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev (Almaty, Kazakhstan)

Kuzmin S.L., c.t.s, associate professor, Higher school of Metallurgy and mining, Rudny Industrial University (Rudny, Kazakhstan)

Melentyev C. Yu., Master, teacher at the Higher school of Metallurgy and mining, Rudny Industrial University (Rudny, Kazakhstan)



AMM
CONGRESS

**ASTANA MINING
AND METALLURGY**

2025



05

Астана, Казахстан

06
ИЮНЯ

**15-Й МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ
КОНГРЕСС**

**КЛЮЧЕВОЕ СОБЫТИЕ
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ СФЕРЫ
КАЗАХСТАНА**

www.amm.kz

Код МРНТИ 52.35.29:52.13.23

V.F. Demin, D.R. Akhmaturov, *R.A. Mussin, N.M. Zamaliyev
Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

TECHNOLOGY OF GEOMECHANICAL PROCESS CONTROL TO INCREASE THE STABILITY OF THE CONTOUR MASSIF AROUND WORKINGS

Abstract. The stress-strain state, manifestations of rock pressure, and conditions for maintaining workings depending on mining and technological parameters were studied. The studies allowed us to establish the degree of their influence on the efficiency of using anchor support for mining workings. A method for managing geomechanical processes during mining operations at deep levels of coal mines was developed. The aim of the research is to create a technology for intensive and safe implementation of mining workings based on the identified patterns of behavior of adjacent rock massifs, optimization of the parameters of technological schemes for preparatory work, ensuring increased efficiency of underground mining operations. The idea of the research is to manage the technogenic stress-strain state (SSS) for the development of an efficient technology for supporting the marginal rock massif.

Key words: rock pressure, anchor fastening, stress state of the massif, massif disturbance, massif fracturing, fastening of mine workings.

Өндіру айналындағы контуртың тұрақтылығын арттыру үшін геомеханикалық процестерді бақылау технологиясы

Андатпа. Кернеу-деформациялық күйі, тау-кен және технологиялық параметрлерге байланысты тау жыныстарының қысымының көріністері және жұмыстарды ұстау шарттары зерттелді. Зерттеулер олардың даму дәрежесін қазба жұмыстарын анкерлік бекітуді пайдалану тиімділігіне анықтауға мүмкіндік берді. Көмір шахталарының терең деңгейіндегі тау-кен жұмыстары кезінде геомеханикалық процестерді бақылау әдісі әзірленді. Зерттеудің мақсаты – іргелес тау жыныстары массаларының мінез-құлқының анықталған заңдылықтары негізінде қазба кен жұмыстарын қарқынды және қауіпсіз жүргізу технологиясын құру, дайындық жұмыстарының технологиялық схемаларының параметрлерін оңтайландыру, жұмыс істеу тиімділігін арттыруды қамтамасыз ету жерасты тау-кен өндірісі. Зерттеудің идеясы шекаралық жыныс массасын бекітудің тиімді технологиясын әзірлеу үшін техногендік кернеу-деформациялық күйді (ТҚК) бақылау болып табылады.

Түйінді сөздер: тау жыныстарының қысымы, бекітпе, массивтің кернеулі күйі, массивтің бұзылуы, массивтің жарылуы, кен қазбаларын бекіту.

Технология управления геомеханическими процессами для повышения устойчивости законтурного массива вокруг выработок

Аннотация. Исследованы напряженно-деформированное состояние, проявления горного давления, условия поддержания выработок в зависимости от горнотехнических и технологических параметров. Исследования позволили установить степень их влияния разработки на эффективность применения анкерного крепления выемочных выработок. Разработан способ управления геомеханическими процессами при ведении горных работ на глубоких горизонтах угольных шахт. Целью исследований является создание технологии интенсивного и безопасного проведения выемочных горных выработок на основе выявленных закономерностей поведения примыкающих к ним массивов горных пород, оптимизации параметров технологических схем подготовительных работ, обеспечивающих повышение эффективности функционирования подземного горного производства. Идея исследований заключается в управлении техногенным напряженно-деформированным состоянием (НДС) для разработки эффективной технологии крепления приконтурного горного массива.

Ключевые слова: горное давление, анкерное крепление, напряженное состояние массива, нарушенность массива, трещиноватость массива, крепление горных выработок.

Introduction

Modern technologies of fastening of underground mine workings include consecutive consideration of the following issues: determination of parameters of rock pressure and physical and mechanical properties of the host rocks; assessment of technology, means and types of fastening, at coal mines and mines; analysis of theories used in the calculation justification of parameters of fastening of mine workings; principles of fastening, geomechanical models and experience of application; methods of carrying out and fastening of mine workings; methods of calculation of fastenings; monitoring of the condition of mine workings.

Mining pressure is the stresses arising in the rock massif, near the walls of workings, boreholes, in pillars, on the surfaces of the contact «rock – fastener» as a result of gravitational forces, as well as tectonic forces and temperature changes in the upper layers of the Earth's crust [1].

There are five main theories used in the design justification of the anchorage parameters: suspension of the immediate roof to stable rocks (Figure 1, a); formation of the load-bearing structure (Figure 1, b); compression of the supporting rocks (Figure 1, c); joint operation of the anchorage and the massif (Figure 1, d); energy theory (Figure 1, e) [2, 3].

The following schemes of anchoring of mine workings are distinguished – Figure 2: one-level scheme of anchoring with metal arch support (Figure 2, a), one-level scheme of anchoring (Figure 2, b), two-level scheme of anchoring (Figure 2, c).

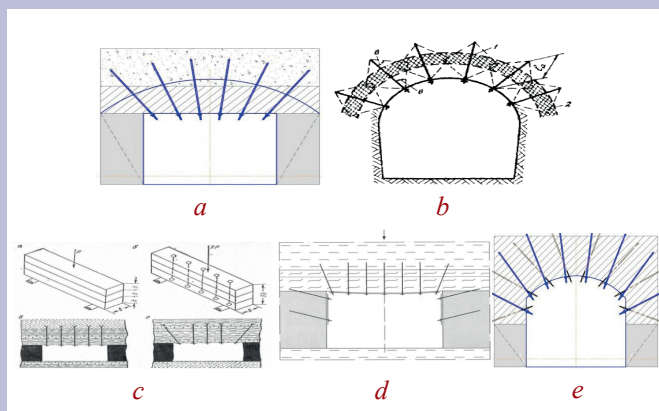
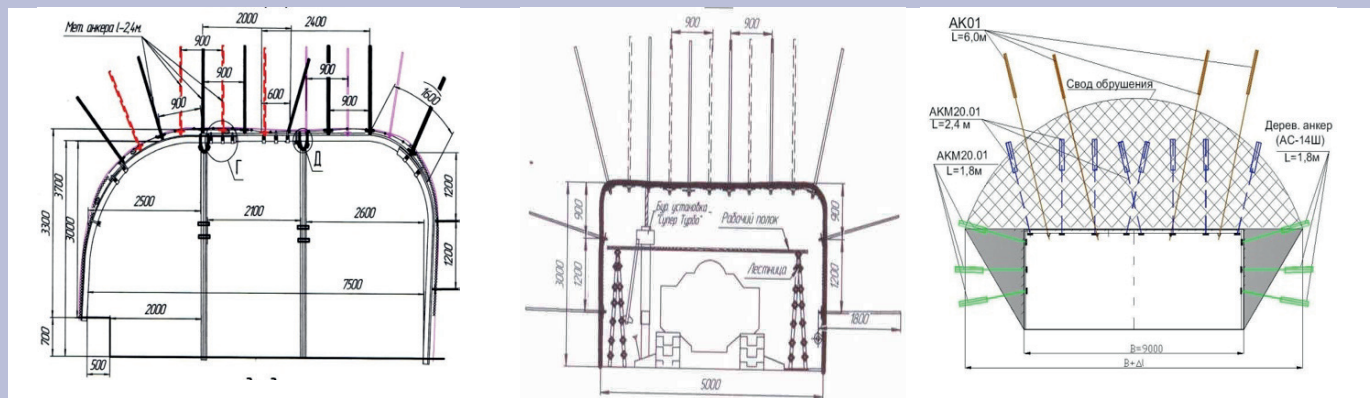


Figure 1. Theories used in the calculation justification of the parameters of anchor support.

Сурет 1. Анкерлік тірек параметрлерін есептеу негіздеуінде қолданылатын теориялар.

Рис. 1. Теории, применяемые при расчетном обосновании параметров анкерной крепи.

There are the following types of anchors used in mines and mines, which can be divided by the structural design of the anchor rod: metal lock anchors; metal lockless (blast) anchors; wooden anchors; reinforced concrete anchors; steel-mineral anchors; steel-polymer anchors; plastic anchors; basalt plastic anchors; friction anchors; injection anchors; self-drilling anchors; rope anchors; bundle anchors.



a – one-level scheme of anchoring with metal arch support

b – one-level scheme of anchoring

c – two-level scheme of anchoring

Figure 2. Anchor fastening schemes for mine workings.

Сурет 2. Кен қазбаларын бекіту схемалары.

Рис. 2. Схемы анкерного крепления горных выработок.

Modern trends in the development of anchoring technologies (methods of excavation and anchoring, etc.) include application of two-level anchoring in the following conditions: maintaining workings and interfaces up to 12 m and more wide (Figure 3, a); pre-cut and formed dismantling chambers (Figure 3, b); interfaces of a cut-and-cover furnace with a 19.7 m wide conveyor workings (Figure 3, c); reinforcement of workings fastening for their reuse and aimless mining of coal reserves; for the operation of the mine face without mechanized interfaces (Figure 3, d); for their preservation for the purpose of gas control, drainage, emergency exits; in the zone of advanced bearing pressure; in unstable rocks, in zones of geological disturbances; installation of suspended monorails; foundationless installation of belt conveyor stations [4, 5].

There are methods for calculating the parameters of deep anchors in mine workings with a width of 8-12 m (Figure 4,

a) and the parameters of anchoring of dismantling chambers (Figure 4, b).

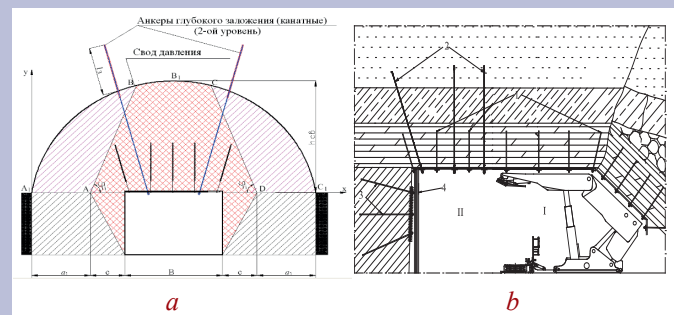


Figure 4. Schemes of methods for calculating the parameters of deep-laid anchors.

Сурет 4. Терең анкерлердің параметрлерін есептеу әдістерінің диаграммалары.

Рис. 4. Схемы методов расчетов параметров анкеров глубокого заложения.

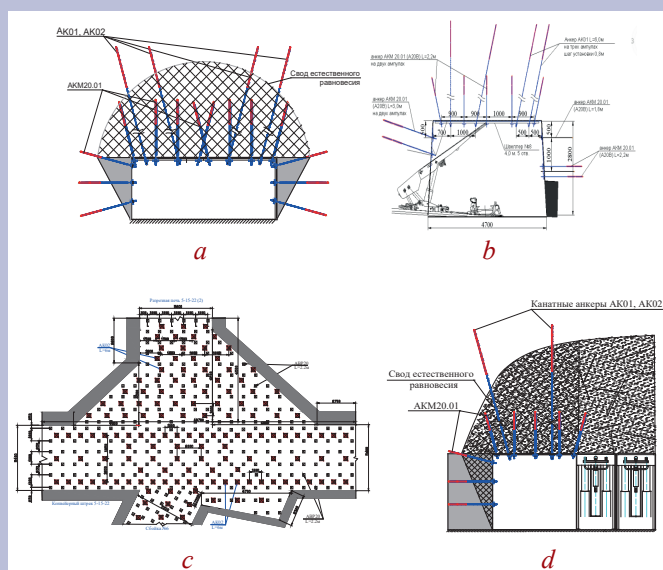


Figure 3. Application of two-level anchor support.

Сурет 3. Екі деңгейлі бекітуді қолдану.

Рис. 3. Применение двухуровневой анкерной крепи.

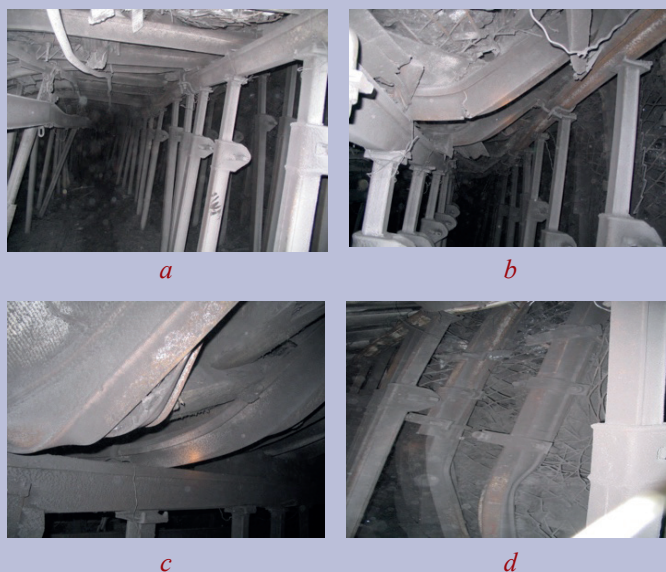
To maintain high productivity, the mine face must move 8-12 m/day, with reserve preparation at 15-25 m/day. Modern longwall coal mining employs three schemes: (1) reusing workings, (2) creating workings in mined-out space, and (3) twin workings with adjacent longwall excavation. The most advanced scheme preserves excavation workings along the boundary of the excavation space, stabilizing them with two-level deep-embedded anchor fasteners and reinforcing supports.

Second-level anchorage, installed after roof rock displacements (up to 50 mm), creates a load-bearing layer, while displacements of 50-200 mm reduce the system's bearing capacity by 15-65%. To limit sliding prism effects, 2.4-5.2 m anchor rods are used, reducing displacement to 200-250 mm [6].

At greater depths, excavation stability is critical, with up to 60-70% cross-sectional loss due to mining pressure. Annually, 20% of mine workings are repaired, accounting for 15-20% of coal production costs. Increased size and density of met-

al frame bracing have shown limited effectiveness due to deformation issues. Modernizing fasteners alone cannot resolve these challenges [7].

Geomechanical processes remain understudied. At the Kostenko mine (Karaganda, Kazakhstan), conditions in conveyor drift 49k10-z were analyzed. The k10 seam (3.7-4.0 m thick) has an immediate roof of mudstones (3-7 m) and a main roof of weakly fractured sandstones (24-32 m). Soil displacement reached 0.55 m in two years. Pre-mining the drift by 0.5-0.6 m ensured a stable cross-section. Optimal conditions were achieved in a 50 m semi-arched section secured with mixed bracing (anchors and MRC) at 1.33 frames/m.



a – mixed bracing; *b* – deformation of the topside;
c – rupture of the topside; *d* – deformation of the struts

Figure 5. Condition of the conveyor intermediate drift 49_{k10-z} in the zone of influence of mining operations at the Kostenko mine.

Сурет 5. 49_{k10-z} атындағы шахтада тазалау жұмыстарының әсер ету аймағындағы аралық жол конвейерінің жағдайы Костенко.

Рис. 5. Состояние конвейерного промежуточного штрэка 49_{k10-z} в зоне влияния очистных работ на шахте им. Костенко.

This section of excavation is characterized by the following changes in the condition of the support: deformation of the top layer and its tearing (Figure 5, b, c) along the lines of the purlins – 60%; deformation of the composite struts (Figure 5, d) in the vertical plane – 1.5%; deviation of the friction struts from the vertical position, mainly along the line of the first run from the face – 70%.

In this regard, the study of the peculiarities of rock mass deformation around preparatory excavations with anchoring at different angles of bed dip and anchoring depth, justification of anchoring parameters and determination of rational area of its use, is an urgent task of mining production.

The purpose of the research is to create a technology for intensive and safe mining excavations on the basis of the identified regularities of the behavior of adjacent rock massifs, optimization of the parameters of technological schemes

of preparatory work, providing an increase in the efficiency of underground mining operations. The idea of the research is to manage the technogenic stress-strain state (STS) for the development of an effective technology for fixing the adjacent rock massif.

The diversity of mining and geological and mining engineering conditions of mine workings operation and the associated mechanism of interaction between rocks and supports has led to the emergence of a number of different geomechanical models of the state of the rock mass around mine workings. At the same time, the most promising at present is mathematical modeling with the use of computers.

In the presented studies analytical modeling is performed using the numerical finite element method. Modeling is carried out for conditions of seam conveyor mining of seam k₁₀ of mine named after Kostenko of Karaganda coal basin at mining depth of 400 m and thickness of seam 3.8 m. Kostenko mine of Karaganda coal basin at the depth of development of 400 m and the thickness of the seam 3.8 m. Studies are made on mathematical models using the ANSYS program complex allows to establish the influence of mining and geological factors on the conditions of operation of mine workings supports.

A model of the host rock massif was built in the ANSYS program complex, corresponding to the conditions of occurrence of the k₁₀ formation.

The influence of the shape of the mine cross-section and the angle of dip of the coal seam on the magnitude of the maximum stresses in the rock mass at anchoring of the excavation.

In case of vaulted (arched) cross-sectional shape of the mine face, normal stresses (σ_y) grow with increasing dip angle (α) from 10 to 13.5 MPa according to the exponential function. The distribution of stresses in the zones of the host lateral rocks surrounding the mine face is shown in Figures 6, a and 6, b.

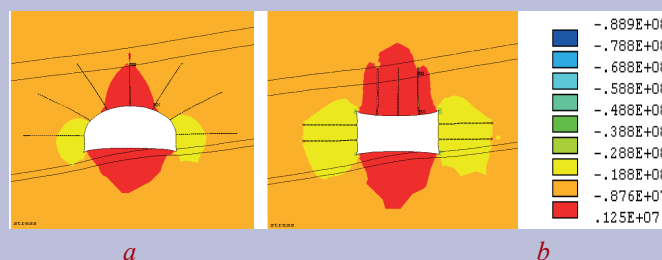


Figure 6. Distribution of maximum stresses in the zones of host wall rocks surrounding a mine working of arched (a) and rectangular (b) cross-sectional shape.

Сурет 6. Доғалы (a) және тік бұрышты (б) қимасы бар шахтаны қоршап тұрған негізгі тау жыныстарының аймақтарындағы максималды кернеулердің таралуы.

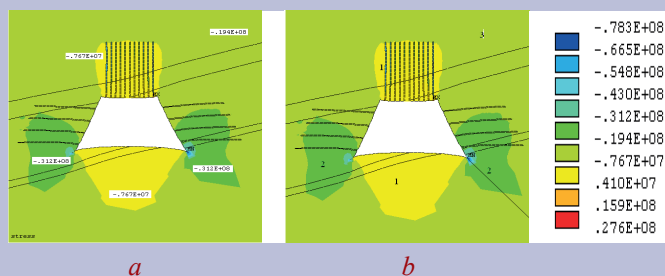
Рис. 6. Распределение максимальных напряжений в зонах вмещающих боковых пород, окружающих горную выработку арочной (a) и прямоугольной (б) формы поперечного сечения.

For mine workings with a polygonal cross-section, the stress-strain state trends are similar to those of rectangular cross-sections, with notable differences: stresses (σ_y) are 1.5 times higher, (σ_x) is 2-3 MPa lower, and (τ_{xy}) is 1.5-2.0 times

higher. [8, 9] Studies indicate that rectangular cross-sections with anchored host rocks are preferable for the k10 seam at the Kostenko mine.

The stress-strain state of host rocks was also analyzed for varying thicknesses of easily collapsible rock layers and different anchor lengths. For a trapezoidal cross-section with a 15° dip, a 3.8 m seam, and a depth of 600 m, the following was observed: stresses increase proportionally with anchor length (1.5-6.0 m) and collapsible layer thickness (1-6 m). Tensile stresses decrease, while compressive stresses jump at an anchor length of 3.0-3.5 m and remain in a narrow range (42-48 MPa). Tangential stresses increase with thicker collapsible layers and vary with anchor length. Borehole diameter increases (up to 0.05 m) negatively affect stress, doubling it across the range.

These studies highlight the stress distribution and behavior of lateral rocks around excavations, offering insights for optimizing support systems [10].



1 – zone very unstable; 2 – zone unstable; 3 – zone unstable; 4 – zone of average stability; at the point of minimum the zone is stable

Figure 7. Distributions of normal (a) and longitudinal (b) stresses.

Сурет 7. Қалыпты (a) және бойлық (б) кернеулердің таралуы.

Рис. 7. Распределения нормальных (a) и продольных (б) напряжений.

The analysis of stress distribution shows that zones of unstable rock formations occur around the excavation. To a greater extent it concerns the roof and soil of the excavation, as well as its sides in the area of the lower part of the lateral sides of the excavation contour. The maximum value of normal stresses occurs in the anchor located on the roof of the excavation in the rightmost anchor in the place of its fixation. The maximum value of longitudinal stress occurs in the anchor located on the right-side surface of the excavation (first from the bottom).

The above theoretical and practical recommendations allow to form progressive technological schemes of anchoring of mine workings, one of which is presented below. Method of anchoring the preparatory mine workings. The purpose of this method is to provide anchoring works in the zone with increased stresses in the contour rocks, especially in the conditions of excavation of mine workings in the emission-hazardous formations.

The application of the proposed method of fixing the preparatory mine workings will allow to fix rocks in advance in the zone of high stress state, thus preventing deformations

(reduced by 20 - 30%) at their exposure in the process of mining.

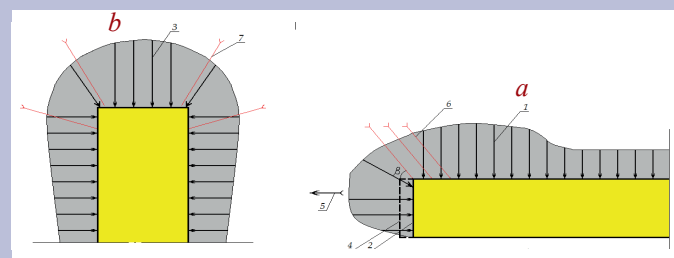
The method of fixing the preparatory mine workings [11, 12], in which the layers of host rocks, fix anchors and place them at an angle to the overlay, characterized by the fact that the anchors are located forward directed to the zone with increased stress state, located at an angle along the front of the excavation, determined by the formula:

$$\beta = \frac{\gamma_m + \gamma_n}{2},$$

where γ_m and γ_n are the directions of action of the vertical and lateral stress vectors, respectively.

Figure 8, a shows a longitudinal view of the method of fixing the preparatory mine workings, and Figure 8, b shows a plan view.

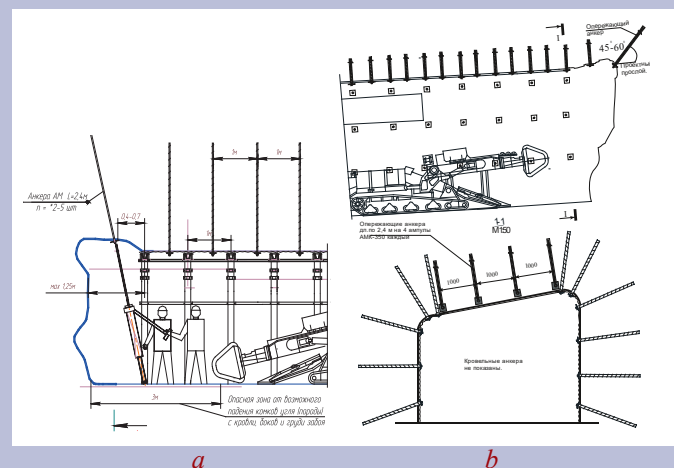
The zone of increased supporting rock pressure 1 (with the



a – longitudinal view of the excavation, b – plan view

Figure 8. Method of fastening preparatory mine workings.

Сурет 8. Кен қазбаларын өңдеуді қамтамасыз ету әдісі. Рис. 8. Способ крепления подготовительных горных выработок.



a – erection process; b – technological scheme

Figure 9. Technology of using advanced support for unstable roofs (Saranskaya mine, Karaganda coal basin).

Сурет 9. Тұрақсыз шатырларға арналған жетілдірілген тіректерді қолдану технологиясы (Саран кеніші, Қарағанды көмір бассейні).

Рис. 9. Технология применения передовой крепи при неустойчивой кровле (шахта «Саранская», Карагинский угольный бассейн).

value of $1.3-1.5\gamma H$, where γ is the density of the host rocks t/m^3 ; H is the depth of the excavation, m) is located in the roof and sides of the excavation contour and is adjacent directly to the moving plane 2 of the tunnel face and its wave 3 comes out in front of the excavation advancement front.

When stripping the next cycle 4 of rock mass along the front 5 of the excavation advancement, boreholes are drilled in the roof and sides of the excavation and anchors 6 and 7 are installed forward into the zone of increased stresses, thus achieving «cross-linking» of the side rocks in this zone. The position angle of the anchors is β .

A concrete realization of this method of advanced support installation is shown in Figure 9.

In case of roof collapse, as a consequence of disturbance of the stability of the surrounding rocks, when the face breast goes more than 0.75 m – in case of anchoring and 1.25 m – in case of mixed anchoring, inclined steel-polymer anchors are installed in the roof of the excavation.

Conclusion

The technological methods of controlling geomechanical processes to improve the stability of the contour massif around the workings have been considered. The study of stress-strain state, manifestation of rock pressure depending on the condition of workings support and mining and technological parameters was carried out, which allowed to establish the degree of their influence on the efficiency of anchoring of mine workings. An effective way to control geomechanical processes during mining operations at deep horizons of coal mines was developed.

Acknowledgments

The research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan as part of program-targeted funding for the implementation of the scientific and scientific-technical program IRN №BR24993009.

REFERENCES

1. Makarov A.B. Otsenka prirodnoho napryazhennogo sostoyaniya massiva na rudnike Zhaman-Aibat. / A.B. Makarov, D.V. Mosyakin, A.A. Karpikov. // Gornyi zhurnal. 2005. №9-10. S. 49-52 [Makarov A.B. Assessment of the natural stress state of the massif at the Zhaman-Aybat mine. / A.B. Makarov, D.V. Mosyakin, A.A. Karpikov. // Mining Magazine. 2005. №9-10. P. 49-52 (in Russian)]
2. Tianwei Lan, Hongwei Zhang, Sheng Li, Irina Batugina, Andrian Batugin. Application and Development of the Method of Geodynamic Zoning According to Geodynamic Hazard Forecasting at Coal Mines in China. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019. – V. 221. – P. 1-8 (in English)
3. Andrian Batugin, Valeria Musina, Irina Golovko. Analysis of Geodynamical Conditions of Region of Burning Coal Dumps Location. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017. – V. 95. – Issue 4. – P. 1-8 (in English)
4. Diomin V.F. Studying coal seam bedding tectonic breach impact on supporting parameters of mine workings with roof bolting. / Diomin V.F., Khalikova E.R., Diomina T.V., Zhurov V.V. // Scientific Bulletin of the National Mining University. 2019. №5. P. 16-21 (in English)
5. Zholmagambetov N. Ensuring a safe geomechanical state of the rock mass surrounding the mine workings in the Karaganda coal basin, Kazakhstan. / Zholmagambetov N., Khalikova E., Demin V., Balabas A., Abdrashev R., Suiintayeva S. // Mining of Mineral Deposits. 2023. V. 17 (1). P. 74-83 (in English)
6. Diomin V.F. Technology of Controlling Geomechanical Processes for Increasing Stability of Coal-Rock Massive Around Workings. / Diomin V.F., Mussin R.A., Khalikova E.R., Zhumabekova A.E. // Proceedings of the University, Karaganda: Karaganda State Technical University. 2018. №3. P. 64-67 (in English)
7. Valker S. Sistema kreplenija gornyh vyrabotok. // World Koal. 2003. S. 17-22 [Valker S. Mine workings support system // World Koal. 2003. P. 17-22] (in Russian)
8. Liming D. Applications of Bolter Miners for Longwall Site Preparation. / Liming D., Oltaun'yan P. // Glyukauf. 2001. №2 (4). P. 27-32 (in English)
9. Demin V.F. Issledovanie haraktera deformirovaniya bokovyh porod vokrug gornoj vyrabotki s ankernym krepleniem v zavisimosti ot ugla padeniya i glubiny ankerirovaniya prikonturnogo massiva. / V.F. Demin, S.B. Aliev, K.K. Kushekov i dr. // Gornyj informacionnyj analiticheskiy bjulleten'. 2012. №2. S. 191-203 [Demin V.F. Study of the nature of deformation of wall rocks around a mine working with anchor fastening depending on the angle of incidence and the depth of anchoring of the marginal massif. / Demin V.F., Aliev S.B., Kushekov K.K. and others. // Mining Information Analytical Bulletin. 2012. №2. P. 191-203] (in Russian)
10. Demin V.F. Vlijanie ugla naklona na naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie massiva gornyh porod vokrug vyrabotki. / Demin V.F., Javorskij V.V., Demina T.V. i dr. // Ugol'. 2012. №11. S. 66-69 [Demin V.F. The influence of the angle of inclination on the stress-strain state of the rock mass around the workings. / Demin V.F., Javorskii V.V., Demina T.V. and others. // Coal. 2012. №11. P. 66-69] (in Russian)

11. Aliev S.B. Ustanovlenie parametrov anernogo krepnenija v zavisimosti ot gorno-tehnologicheskikh uslovij jekspluatatsii vyrabotok. / S.B. Aliev, V.F. Demin, T.V. Demina i dr. // Ugol'. 2013. №1. S. 69-72 [Aliev S.B. Setting the parameters of anchor fastening depending on the mining and technological conditions of the workings operation. / Aliev S.B., Demin V.F., Demina T.V. and others. // Coal. 2013. №1. P. 69-72] (in Russian)
12. Demin V.F. Prognozirovanie smeshhenij prikonturnogo massiva porod gornyh vyrabotok. / V.F. Demin, N.B. Bahtybaev, T.V. Demina i dr. // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. 2012. Otdel'nyj yupusk 7. S. 9-21 [Demin V.F. Forecasting displacements of the marginal rock mass of mine workings. / Demin V.F., Bakhtybaev N.B., Demina T.V. and others. // Mining Information Analytical Bulletin. Separate issue №7. 2012. P. 9-21] (in Russian)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Макаров А.Б. Жаманай-Айбат кенішіндегі массивтің табиғи кернеу жағдайын бағалау. / А.Б. Макаров, Д.В. Мосякин, А.А. Карпиков. // Тау журналы. 2005. №9-10. Б. 49-52 (орыс тілінде)
2. Tianwei Lan, Hongwei Zhang, Sheng Li, Irina Batugina, Andrian Batugin. Қытай көмір шахталарында геодинамикалық қауіптілік болжамының деректері бойынша геодинамикалық аудандастыру әдісін қолдану және дамыту. // ИОР конференциялар сериясы: Жер және қоршаған орта туралы ғылымдар, 2019. – Т. 221. – Б. 1-8 (ағылшын тілінде)
3. Andrian Batugin, Valeria Musina, Irina Golovko. Жанып жатқан көмір үйінділерінің орналасу аймағының геодинамикалық жағдайларын талдау. // ИОР конференциялар сериясы: Жер және қоршаған орта туралы ғылымдар, 2017. – Т. 95. – Шығ. 4. – Б. 1-8 (ағылшын тілінде)
4. Diomin V.F. Көмір қабаттарының пайда болуының тектоникалық бұзылыстарының тау-кен қазбаларын якорь бекіткішімен бекіту параметрлеріне әсерін зерттеу. / V.F. Diomin, E.R. Khalikova, T.V. Diomina, V.V. Zhurov. // Ұлттық тау-кен университетінің Ғылыми хабаршысы. 2019. №5. Б. 16-21 (ағылшын тілінде)
5. Zholmagambetov N. Қарағанды көмір бассейніндегі тау-кен қазбаларын қоршап тұрған тау жыныстары массивінің қауіпсіз геомеханикалық жай-күйін қамтамасыз ету, Қазақстан. / N. Zholmagambetov, E. Khalikova, V. Demin, A. Balabas, R. Abdrashev, S. Suiintayeva. // Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру. 2023. Т. 17 (1). Б. 74-83 (ағылшын тілінде)
6. Diomin V.F. Қазбалар айналасындағы көмір-жыныс массивінің тұрақтылығын арттыру үшін геомеханикалық процестерді басқару технологиясы. / V.F. Diomin, R.A. Mussin, E.R. Khalikova, A.E. Zhutabekova. // Университет еңбектері, Қарағанды: ҚарМТУ. 2018. №3. Б. 64-67 (ағылшын тілінде)
7. Валкер С. Кен өндіруді қолдау жүйесі. // World Coal. 2003. Б. 17-22 (орыс тілінде)
8. Лиминг Д. Volter Miner комбайндарын ұзын қабырғаларды дайындау үшін қолдану. / Д. Лиминг, П. Олтауньян. // Глюкауф. 2001. №2 (4). С. 27-32 (орыс тілінде)
9. Демин В.Ф. Контурлық массивтің түсу бұрышы мен бекіту тереңдігіне байланысты бекітпемен жұмыс істейтін шахтаның айналасындағы бүйірлік жыныстардың деформациялану сипатын зерттеу. / В.Ф. Демин, С.Б. Алиев, К.К. Кушеков және т.б. // Тау-кен ақпараттық аналитикалық бюллетень. 2012. №2. Б. 191-203 (орыс тілінде)
10. Демин В.Ф. Көлбеу бұрышының қазба айналасындағы тау жыныстары массасының кернеулі-деформациялық күйіне әсері. / Демин В.Ф., Яворский В.В., Демина Т.В. және т.б. // Көмір. 2012. №11. Б. 66-69 (орыс тілінде)
11. Алиев С.Б. Өңдеудің тау-кен және технологиялық жұмыс жағдайына байланысты бекіту параметрлерін белгілеу. / С.Б. Алиев, В.Ф. Демин, Т.В. Демина және т.б. // Көмір. 2013. №1. Б. 69-72 (орыс тілінде)
12. Демин В.Ф. Кен қазбаларында тау жыныстарының шекаралық массивінің жылжуын болжау. / В.Ф. Демин, Н.Б. Бахтыбаев, Т.В. Демина және т.б. // Тау-кен ақпараттық-аналитикалық бюллетень. 2012. 7-бөлек шығ. Б. 9-21 (орыс тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Макаров А.Б. Оценка природного напряженного состояния массива на руднике Жаман-Айбат. / А.Б. Макаров, Д.В. Мосякин, А.А. Карпиков. // Горный журнал. 2005. №9-10. С. 49-52 (на русском языке)
2. Tianwei Lan, Hongwei Zhang, Sheng Li, Irina Batugina, Andrian Batugin. Применение и развитие метода геодинамического районирования по данным прогноза геодинамической опасности на угольных шахтах Китая. // Серия конференций ИОР: Науки о Земле и окружающей среде, 2019. – Т. 221. – С. 1-8 (на английском языке)
3. Andrian Batugin, Valeria Musina, Irina Golovko. Анализ геодинамических условий района расположения горящих угольных отвалов. // Серия конференций ИОР: Науки о Земле и окружающей среде, 2017. – Т. 95. – Вып. 4. – С. 1-8 (на английском языке)

4. *Diomin V.F. Изучение влияния тектонических нарушений залегания угольных пластов на параметры крепления горных выработок анкерной крепью. / V.F. Diomin, E.R. Khalikova, T.V. Diomina, V.V. Zhurov. // Научный вестник Национального горного университета. 2019. №5. С. 16-21 (на английском языке)*
5. *Zholmagambetov N. Обеспечение безопасного геомеханического состояния массива горных пород, окружающих горные выработки в Карагандинском угольном бассейне, Казахстан. / N. Zholmagambetov, E. Khalikova, V. Demin, A. Balabas, R. Abdrashev, S. Suiintayeva. // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2023. Т. 17 (1). С. 74-83 (на английском языке)*
6. *Diomin V.F. Технология управления геомеханическими процессами для повышения устойчивости угольно-породного массива вокруг выработок. / V.F. Diomin, R.A. Mussin, E.R. Khalikova, A.E. Zhutabekova. // Труды университета, Караганда: КарГТУ. 2018. №3. С. 64-67 (на английском языке)*
7. *Валкер С. Система крепления горных выработок. // World Coal. 2003. С. 17-22 (на русском языке)*
8. *Лиминг Д. Применения комбайнов «Больтер Майнер» для подготовки участков длинными очистными забоями. / Д. Лиминг, П. Олтауныян. // Глюкауф. 2001. №2 (4). С. 27-32 (на русском языке)*
9. *Демин В.Ф. Исследование характера деформирования боковых пород вокруг горной выработки с анкерным креплением в зависимости от угла падения и глубины анкерирования приконтурного массива. / В.Ф. Демин, С.Б. Алиев, К.К. Кушеков и др. // Горный информационный аналитический бюллетень. 2012. №2. С. 191-203 (на русском языке)*
10. *Демин В.Ф. Влияние угла наклона на напряженно-деформированное состояние массива горных пород вокруг выработки. / Демин В.Ф., Яворский В.В., Демина Т.В. и др. // Уголь. 2012. №11. С. 66-69 (на русском языке)*
11. *Алиев С.Б. Установление параметров анкерного крепления в зависимости от горно-технологических условий эксплуатации выработок. / С.Б. Алиев, В.Ф. Демин, Т.В. Демина и др. // Уголь. 2013. №1. С. 69-72 (на русском языке)*
12. *Демин В.Ф. Прогнозирование смещений приконтурного массива пород горных выработок. / В.Ф. Демин, Н.Б. Бахтыбаев, Т.В. Демина и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. Отдельный выпуск 7. С. 9-21 (на русском языке)*

Information about the authors:

Demin V., Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department «Development of mineral Deposits» of the Non-Commercial Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan), vladfdemin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1718-856X>

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

Mussin R., Ph.D, Docent of the Department of «Development of Mineral Deposits» of Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan), R.A.Mussin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1206-6889>

Zamaliyev N., Ph.D, Docent of the Department of «Development of Mineral Deposits» of Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan), nailzamaliyev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0628-2654>

Авторлар туралы мәліметтер:

Демин В.Ф., т.ғ.д., «Әбылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өңдеу» кафедрасының профессор (Қарағанды қ., Қазақстан)

Ахматұров Д.Р., Ph.D, «Әбылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы «Тау-кен металлургия кешеніндегі метан энергиясы» сынақ зертханасының меңгерушісі (Қарағанды қ., Қазақстан)

Мусин Р.А., Ph.D, «Әбылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өңдеу» кафедрасының доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Замалиев Н.М., «Әбылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өңдеу» кафедрасының доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Демин В.Ф., д.т.н., профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Ахматұров 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)

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



2025

2-4 апреля
Казахстан, Атырау



ATYRAU
OIL&GAS KAZAKHSTAN

22-я Северо-Каспийская
региональная выставка

«Атырау Нефть и Газ»



Подробная информация:
www.oil-gas.kz



Код МРНТИ 52:31:47:52.13.05

А.Қ. Матаев, *Ж.М. Асанова, А.М. Хамзе, А.А. Рахимберлина
 НАО «Қарағандинский технический университет имени Абылқаса Сағинова»
 (г. Қарағанда, Қазақстан)

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ОЦЕНКОЙ ЕСТЕСТВЕННОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА

Аннотация. Цель научной статьи – проведение комплексного исследования механических свойств руд и пород месторождения Жиландинской группы, а также оценка природного поля напряженного состояния массива для решения геомеханических задач при оптимизации ведения горных работ. Настоящее исследование посвящено оценке влияния водонасыщения на механические свойства горных пород Жиландинской группы месторождений и определению природного поля напряженного состояния массива. Применялась комплексная методика, включающая гидроразрыв пород в скважинах. Выявлено значительное снижение прочностных характеристик при водонасыщении.

Ключевые слова: поле напряжений, гидроразрыв, прочностные характеристики, Жыландинская группа, месторождения, руда.

Массивтің табиғи кернеулі күйін бағалай отырып кен кен орындарының тау жыныстарының физикалық механикалық қасиеттерін зерттеу

Аңдатпа. Ғылыми мақаланың мақсаты – Жиланды тобының кен орындары мен тау жыныстарының механикалық қасиеттеріне кешенді зерттеу жүргізу, сондай-ақ тау-кен жұмыстарын жүргізуді оңтайландыру кезінде геомеханикалық мәселелерді шешу үшін массивтің кернеулі күйінің табиғи өрісін бағалау. Бұл зерттеу Жиланды тобы кен орындарының тау жыныстарының табиғи кернеу өрісіне әсерін және олардың суға қанығуының механикалық қасиеттерге әсерін зерттеуге арналған. Гидрожарылыс әдісі арқылы табиғи кернеу өрісін анықтау үшін кешенді әдіс қолданылды. Нәтижелер тау жыныстарының суға қанығу кезінде беріктік сипаттамаларының едәуір төмендейтінін көрсетті.

Түйінді сөздер: табиғи кернеу өрісі, гидрожарылыс, беріктік сипаттамалары, Жиланды тобы, кен орындары, кен.

Investigation of the physical and mechanical properties of rocks of ore deposits with an assessment of the natural stress state of the massif

Abstract. The purpose of the scientific article is to conduct a comprehensive study of the mechanical properties of ores and rocks of the Zhylandinskaya group deposit, as well as an assessment of the natural stress field of the massif to solve geomechanical problems in optimizing mining operations. This study focuses on assessing the impact of water saturation on the mechanical properties of rocks from the Zhylandy group deposits and determining the natural stress field of the rock mass. A comprehensive method including borehole hydraulic fracturing was applied. The results showed a significant reduction in strength characteristics during water saturation.

Key words: stress field, hydraulic fracturing, strength characteristics, Zhylandinskaya group, deposits, ore.

Введение

В глубинах Казахстана обнаружено около 100 типов полезных ископаемых, что связано с благоприятным географическим положением страны, включающим разнообразные геологические структуры и различные типы горных пород, сформированные на протяжении длительного времени – от древних архейских формаций до молодых четвертичных отложений [1-2].

С развитием горнодобывающей промышленности и постоянным увеличением глубины добычи возникают новые вызовы. Напряженно-деформированное состояние породного массива под воздействием горнодобывающих работ может существенно измениться, что негативно отразится на устойчивости подземных выработок. Перераспределение действующих в массиве напряжений может негативно влиять на устойчивость подземных выработок, что влечет капитальные затраты на их крепление. Сложность горно-геологических условий также существенно влияет на устойчивость горных выработок и предъявляет достаточно жесткие требования к проектированию подготовительных и очистных работ. В таких условиях возрастает значимость проблемы предотвращения негативных проявлений горного давления и обеспечения устойчивости горных выработок, для решения которой необходима информация о естественном поле напряжений [3]. Поэтому оценка напряженного состояния пород в массиве является актуальной задачей.

Проявление герцинского тектогенеза привело к образованию здесь структур II и более высокого порядков (ку-

полов, мульд), осложненных продольными зонами сжатия типа флексур и дизъюнктивными нарушениями. Жиландинская группа месторождений расположена в 30-35 км к северу от рудников Жезказгана и включает в себя 5 месторождений (с запада на восток): Итауз, Западная Сары-Оба, Восточная Сары-Оба, Кипшакпай и Северный Карашошак. В целом месторождения характеризуются сложным геологическим строением, особенно это относится к крупным: Восточная Сыры-Оба, Западная Сары-Оба, Итауз. Данные районы являются зонами наибольших напряжений, которые и привели к образованию не только складчатых, но и крупных разрывных нарушений.

Рудные залежи характеризуются весьма изменчивой мощностью и неравномерным распределением полезных компонентов. В плане рудные тела имеют плащеобразную, округло-вытянутую, ленточную форму, часто характеризуются довольно сложными контурами. На флангах или во внутренней части они разбиваются пустыми породами или забалансовыми рудами [4-6].

Методика

Выбор участков для контроля действующих в массиве напряжений, а также мест заложения замерных станций проводится на возможно максимальном удалении от зоны очистных работ [7]. Конструкция замерной станции предусматривает проведение не менее трех скважин диаметром 76 мм глубиной до 12 м. Далее осуществляется обследование поверхности стенок скважины. Предпочтительно

в торцевой части скважины устанавливается измерительный зонд и выполняется тест гидроразрыва. Фиксируется критическое давление флюида в момент гидроразрыва и давление его стабилизации после прекращения подачи флюида. Давление стабилизации регистрируется в течение 5 мин. Давление нагнетания сбрасывается до нулевого значения, процесс нагружения стенок скважины повторяется 2-3 раза с регистрацией в каждом случае. Перестановка измерительного зонда осуществляется в направлении к устью скважины с размещением его в двух-трех местах по длине скважины с шагом 1.0-1.5 м. В каждом месте установки выполняются тесты гидроразрыва. По параметрам гидравлического теста определяют значение меньшей и рассчитывают значение большей горизонтальной компонент действующих напряжений. После этого измерительный зонд извлекают из скважины.

Определение физико-механических свойств горных пород

В таблице 1 приводятся: номер пробы, наименование породы, место отбора, номера лабораторных образцов, выбуренные из этой пробы и соответствующие им виды испытаний, проведенные на данных образцах в естественном и водонасыщенном состояниях.

При выборе места отбора проб стремились к максимальной типичности отбираемых проб, т.е. к их соответ-

ствию по структуре и свойствам породам в местах, для которых решаются поставленные задачи. В каждой подготовительной выработке и/или в очистном забое пробы отбирались не менее чем в двух местах.

Пробы помещались в герметичные емкости или в пакеты из воздухонепроницаемых материалов. При использовании полиэтиленовых пакетов каждая проба упаковывалась в двойной пакет. Каждый полиэтиленовый пакет герметизировался. Перед герметизацией пакета воздух из него удалялся. В мешок с пробой вкладывался лист бумаги с информацией о дате и времени отбора пробы, месте отбора, природного типа руды, из которого эта проба была отобрана.

Испытания деформационно-прочностных свойств образцов руд и вмещающих пород Жиландинского месторождения проведены на сертифицированном оборудовании.

Пресс обеспечивает режимы мягкого (программа нагружения задается по нагрузкам, для выявления склонности пород к хрупкому разрушению и удароопасности) и жесткого (программа нагружения задается по перемещению захвата) нагружения с автоматической записью в память компьютера результатов измерений. В процессе экспериментов проводится непрерывное измерение и запись осевой нагрузки, продольных и поперечных деформаций в средней части образца (база 25 мм) с применением тензо-

Таблица 1
Наименование проб, место отбора, виды испытаний и соответствующие номера образцов
Сынамалардың атауы, іріктеу орны, сынақ түрлері және үлгілердің тиісті нөмірлері
Name of samples, place of sampling, types of tests and corresponding sample numbers

Таблица 1
Кесте 1
Table 1

№ пробы	Наименование породы	Место отбора	Номера образцов, виды испытаний, состояние			
			Сжатие		Растяжение	
			естественное	водонасыщенное	естественное	водонасыщенное
I	Песчаник серый рудный	Руда (Восточная Сары-Оба, П-6, залежь I-II, гор. 300 м, МКЦ)	1-1-1n, 1-1-2n, 1-1-3n, 1-1-4n, 1-1-5n, 1-1-6n	1-1-1w, 1-1-2w, 1-1-3w, 1-1-4w, 1-1-5w, 1-1-6w	1-2-1n, 1-2-2n, 1-2-3n, 1-2-4n, 1-2-5n, 1-2-6n	1-2-1w, 1-2-2w, 1-2-3w, 1-2-4w, 1-2-5w, 1-2-6w
II	Руда (месторождение Итауз)	Руда (Итауз, заезд на подэтаж 270 м)	2-1-1n, 2-1-2n, 2-1-3n, 2-1-4n, 2-1-5n, 2-1-6n	2-1-1w, 2-1-2w, 2-1-3w, 2-1-4w, 2-1-5w, 2-1-6w	2-2-1n, 2-2-2n, 2-2-3n, 2-2-4n, 2-2-5n, 2-2-6n	2-2-1w, 2-2-2w, 2-2-3w, 2-2-4w, 2-2-5w, 2-2-6w
III	Песчаник серый безрудный	Песчаник серый (Восточная Сары-Оба, П-5, гор. 200 м, всячий блок)	3-1-1n, 3-1-2n, 3-1-3n, 3-1-4n, 3-1-5n, 3-1-6n	3-1-1w, 3-1-2w, 3-1-3w, 3-1-4w, 3-1-5w, 3-1-6w	3-2-1n, 3-2-2n, 3-2-3n, 3-2-4n, 3-2-5n, 3-2-6n	3-2-1w, 3-2-2w, 3-2-3w, 3-2-4w, 3-2-5w, 3-2-6w
IV	Песчаник красный	Песчаник красный (Восточная Сары-Оба, штрек 3 запад, горизонт 100 м); Песчаник красный (Итауз, подэтаж 270 м)	4-1-1n, 4-1-2n, 4-1-3n, 4-1-4n, 4-1-5n, 4-1-6n	4-1-1w, 4-1-2w, 4-1-3w, 4-1-4w, 4-1-5w, 4-1-6w	4-2-1n, 4-2-2n, 4-2-3n, 4-2-4n, 4-2-5n, 4-2-6n	4-2-1w, 4-2-2w, 4-2-3w, 4-2-4w, 4-2-5w, 4-2-6w
V	Алевролит	Алевролит серый (карьер Северный Карашошак); Алевролит песчаный (карьер Северный Карашошак)	1-1-1n, 1-1-2n, 1-1-3n, 1-1-4n, 1-1-5n, 1-1-6n	1-1-1w, 1-1-2w, 1-1-3w, 1-1-4w, 1-1-5w, 1-1-6w	1-2-1n, 1-2-2n, 1-2-3n, 1-2-4n, 1-2-5n, 1-2-6n	1-2-1w, 1-2-2w, 1-2-3w, 1-2-4w, 1-2-5w, 1-2-6w

метров фирмы INSTRON, а также величины перемещения траверсы пресса. При испытаниях на объемное сжатие проводится дополнительная запись бокового давления, подаваемого на образец, помещенный в компрессионную камеру. Оборудование соответствует требованиям международных стандартов и позволяет получить прочностные, деформационные характеристики на всех стадиях нагружения образцов, в том числе постпиковой, вплоть до их разрушения.

Диаметр образцов (d), изготавливаемых из керна, составлял не менее 30 мм, отношение высоты (L) к диаметру (коэффициент формы L/d) составляли: 0.5-1 при испытании на разрыв; 2.0 – при испытании на сжатие. Подготовка образцов проводилась на специальном оборудовании для обработки кернов – системе для высокоточного изготовления цилиндров и торцевых поверхностей кернов производства Coretest Systems, США. Отклонение от параллельности торцевых поверхностей образцов для испытаний составляло не более 0,05 мм по диаметру основания образца; отклонение от перпендикулярности торцов к образующим цилиндра не более 0.05 мм; выпуклость торцов – менее 0.003 мм согласно требованиям ГОСТ 28985-91 [8].

Определение предела прочности при одноосном сжатии

Предел прочности пород при одноосном сжатии определялся согласно ГОСТ 21153.2-84. Для испытаний использовались цилиндрические образцы диаметром 30 мм с соотношением высоты (h) к его диаметру (d) равным $m = h/d = 2.0$. Измерение диаметров образца производилось в трех местах по его высоте (в середине и у торцов). За расчетный диаметр принималось среднеарифметическое значение результатов всех измерений. Измерения проведены цифровым штангенциркулем с погрешностью ± 0.001 мм.

Нагружение образцов при испытаниях производилось со скоростью движения подвижного траверса пресса 0.1 мм/мин. Значение предела прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}, i$ (МПа) вычислялось по формуле:

$$\sigma_{сж}^o = \frac{P_{max}}{S}, \quad (1)$$

где P_{max} – максимальная разрушающая нагрузка;
 S – площадь поперечного сечения образца.

Определение деформационных характеристик при одноосном сжатии

Изучение деформационных свойств горных пород проводилось в соответствии с ГОСТ 28985-91. Данный нормативный документ применяется к твердым породам, у которых предел прочности при одноосном сжатии составляет не менее 5 МПа, и определяет способ измерения их деформационных параметров.

Для проведения эксперимента по определению механических свойств образца были зарегистрированы продольные (ε_1) и поперечные (ε_2) деформации, а также осевая нагрузка (P) с помощью измерительного комплекса, который работал автоматически в течение всего процесса

нагружения до разрушения образца. Частота измерений составляла 10 Гц.

Напряжение вычислялось из выражения:

$$\sigma = \frac{4P}{\pi d^2}. \quad (2)$$

Модуль деформаций E и коэффициент поперечной деформации ν определялись согласно ГОСТ 28985-9 в выбранном диапазоне напряжений $\sigma_s - \sigma_f$ прямолинейного участка нагрузочной ветви по формулам:

$$E_d = \frac{\sigma_f - \sigma_s}{\varepsilon_{1f} - \varepsilon_{1s}}, \quad \nu = \frac{\varepsilon_{2k} - \varepsilon_{2n}}{\varepsilon_{1k} - \varepsilon_{1n}}, \quad (3)$$

где σ_f – значения уровней напряжения в конце диапазона при нагрузке, МПа;

σ_s – значения уровней напряжения в начале диапазона при нагрузке, МПа;

ε_{1s} – относительные продольные напряжения материала в начале диапазона при нагрузке;

ε_{1f} – относительные продольные напряжения материала в конце диапазона при нагрузке;

ε_{2f} – поперечные деформации образца, измеренные относительно конечного значения нагрузки в пределах заданного диапазона

ε_{2s} – поперечные деформации образца, измеренные относительно начального значения нагрузки в пределах заданного диапазона.

В случае нелинейной зависимости «напряжение – деформация» применялся метод линейной аппроксимации.

Предел прочности пород при растяжении (бразильский тест) определялся согласно ГОСТ 21153.3-85. Стандарт распространяется на горные породы с пределом прочности при одноосном растяжении не менее 0,5 МПа. Подготовленные цилиндрические образцы диаметром 30 мм соответствовали требованиям п. 1.3.4 и п. 2.3.4 ГОСТ 21153.3-85.

Определение предела прочности при косвенном растяжении производилось по методу разрушения цилиндрических образцов сжатием по образующим. При испытаниях образец помещался в центре опорной плиты испытательной машины (пресса) между плитами-прокладками. Нагружение образца производилось равномерно со скоростью 0.1 мм/мин до его разрушения. Величина разрушающей силы (P) фиксировалась силоизмерителем испытательной машины. Предел прочности при растяжении (σ_p) вычислялся по формуле:

$$\sigma_p = 0.64 \frac{P}{S}, \quad (4)$$

где P – разрушающая образец сила;

S – площадь разрыва образца, равная произведению диаметра образца (d) на его длину (L).

В натуральных экспериментах применяются измерительные зонды двух конструкций. На измерительном зонде, оснащенном четырьмя пакерами, имеются два гидроцилиндра, которые используются для осевого сжатия пакерующих элементов. При проведении исследований существовала возможность изменять размер межпакерного пространства путем замены центрального сегмен-

та несущего стержня. При проведении гидроразрыва в ходе испытаний, размер межпакерного пространства составлял 5-6 диаметров. Для удобства установки прибора в измерительную скважину диаметром 76 мм, измерительный зонд был оснащен направляющими пластинами. Измерительный зонд выполнен в виде цилиндрического металлического корпуса, на котором равномерно расположены четыре кольцевых уплотнительных элемента, изготовленных из полиуретана. Эти элементы, благодаря своей гибкости и прочности, обеспечивают надежную герметизацию и плотное прилегание зонда к окружающей среде, предотвращая проникновение жидкости или газа. Металлический корпус изготовлен из нержавеющей стали, что гарантирует долговечность и устойчивость к коррозии, а полиуретановые пакеры обладают высокой износостойкостью, что делает их подходящими для использования в агрессивных средах, таких как нефтегазовые скважины или геологические исследования. Пакеры имеют гладкую поверхность и надежно закреплены на корпусе, создавая технически продуманный и устойчивый к внешним воздействиям прибор. В зонде также имеются направляющие пластины, гидроцилиндры и втулка для заполнения межпакерного пространства [9].

В двухпакерном зонде осевое сжатие пакерующих элементов производится с помощью гидроцилиндра, расположенного в центральной части. В конструкции было предусмотрено использование пакерующих элементов, армированных пружинами.

Результаты и обсуждения

На основе замеров установлено, что водонасыщение значительно снижает предел прочности пород при одноосном сжатии и растяжении. Выявлены линейные зависимости изменения напряжений с глубиной. Проведено численное моделирование клинообразных вывалов в программе Unwedge.

В период бурения скважин под замер природного поля был задокументирован керн с данных скважин. По результатам документирования керна качество массива в данном участке достаточно устойчивое. В то же время наблюдалось много механических трещин, образованных в результате бурения и при транспортировке керна. Наблюдалось разрушение керна в начале скважины, что говорит о низком качестве буровзрывных работ и напряжениях на контуре выработки.

Всего было произведено около 280 замеров трещиноватости массива методом линейного картирования по шахте Итауз. Пример изображения трещиноватости массива на месторождении Итауз представлено на рис. 1.

Исходя из представленных данных, можно сделать вывод, что массив горных пород, представленных в исследовании, обладает условно средним до хорошего качеством по RQD (Rock Quality Designation). RQD – это показатель, используемый для оценки качества горного массива на основе количества трещин и их распределения в образцах породы.

Устойчивость горных пород в значительной степени зависит от характеристик трещин, таких как их заполне-



Рис. 1. Изображение трещиноватости массива месторождения Итауз.

Сурет 1. Итауз кен орны массивінің жарықшақтығының бейнесі.

Figure 1. Image of fracturing of the Itaуз deposit massif.

ние и микрошероховатость. Заполнение трещин может влиять на проницаемость горных пород и их устойчивость к воде, что в свою очередь сказывается на их прочности при водонасыщении. Микрошероховатость, или мелкая шероховатость поверхности трещин также важна, поскольку она может усиливать трещиностойкость породы и уменьшать вероятность разрушения под воздействием механической нагрузки. Анализ характеристик трещин в горных породах позволяет сделать вывод об их устойчивости.

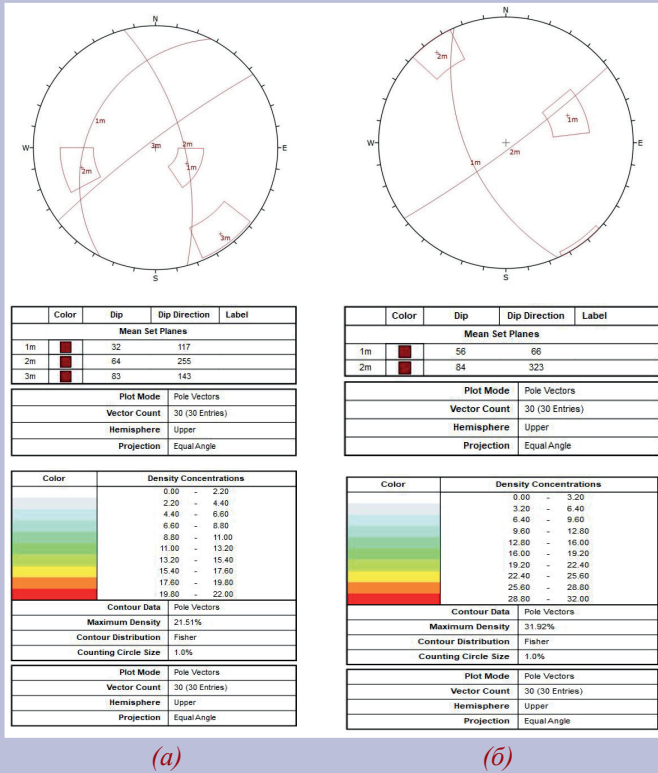
Для массива скальных пород характерна неравномерная трещиноватость. Она имеет тектоническое происхождение и для различных литологических разновидностей в среднем составляет: для месторождения Итауз – 10-15 трещин на метр.

Примеры полярных диаграмм трещиноватости массива горных пород вокруг заезда №5 (подэтаж 270 м) и массива вокруг выработки (подэтаж 290 м) месторождения Итауз представлены на рис. 2.

Для определения образования клинообразных вывалов в кровле выработки в зависимости от азимута ее проходки и трещиноватости проведено численное моделирование в программе Unwedge. Прямыми замерами установлено, что на месторождении имеются от трех до четырех систем трещин (рис. 3).

Таким образом по результатам моделирования установлены критические направления по существующим системам трещин, по которым образуются максимальные клинья, т.е. направления проходки в данных азимутах будет сопровождаться риском больших клиновидных обрушений [10].

По результатам замера природного поля напряжений на месторождении Жиландинской группы установлен тектонический режим Trust Faulting, т.е. тектонические максимальные, минимальные и вертикальные напряжения ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$). Зависимость напряжения с глубиной по результатам замеров представлена на рис. 4.



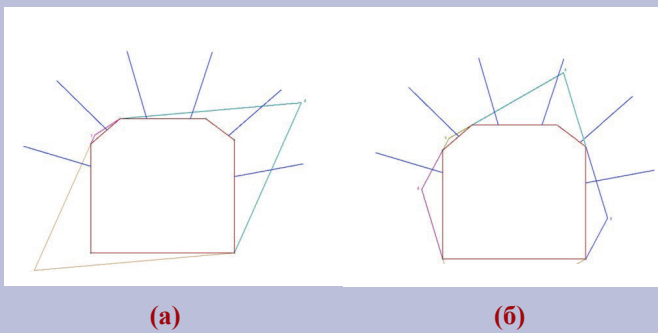
(a)

(б)

Рис. 2. Диаграмма трещиноватости массива горных пород месторождения Итауз: (а) – подэтаж 270 м; (б) – подэтаж 290 м.

Сурет 2. Итауз кен орнының тау жыныстары массивінің жарылу диаграммасы: (а) – 270 м қосалқы қабат; (б) – 290 м қосалқы қабат.

Figure 2. Fracturing diagram of the rock mass of the Itauz deposit: (a) – sub-floor 270 m; (b) – sub-floor 290 m.



(a)

(б)

Рис. 3. Клины при разных азимутах проходки выработок: (а) – 120°; (б) – 141°.

Сурет 3. Қазбаларды үңгілеудің әртүрлі азимуттары кезіндегі сыналар: (а) – 120°; (б) – 141°.

Figure 3. Wedges at different azimuths of excavation: (a) – 120°; (b) – 141°.

По качеству данных RQD и FF массив относится от среднетрещиноватых до массивных с локальными зонами дробления и разломов. По результатам съемки трещиноватости были определены неблагоприятные направления для участков. При последующей проходке рекомендуем квартировать выработки (геологической и геомеханической службой рудника) для кинематического анализа

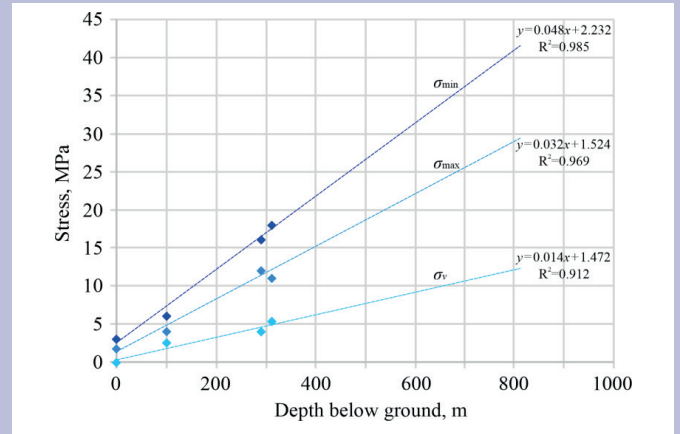


Рис. 4. Линейные зависимости изменения напряжения с глубиной по результатам замеров.

Сурет 4. Өлшеу нәтижелері бойынша терендігі бар кернеудің өзгеруінің сызықтық тәуелділігі.

Figure 4. Linear dependences of voltage variation with depth based on measurement results.

устойчивости выработок и управления кровлей. В основном на устойчивость выработок влияют заполнитель и микрошероховатость трещин, которые требуют более детально изучения, так как при документировании керна скважин под гидроразрыв заполнитель трещин был представлен карбонатом.

Литостатическое давление ($\sigma_h = \gamma h$) для замерной станции №1 на отметке 123.5 м составляет около 9.0 МПа. На замерной станции №1 выполнено 17 тестов гидроразрыва. В результате обработки $p-t$ диаграмм установлены следующие значения напряжений, действующих в массиве:

$$\begin{aligned} - \sigma_{min} &= 10.55-11.68 \text{ MPa} \approx 1.2 \gamma h; \\ - \sigma_{max} &= 18.36-20.76 \text{ MPa} \approx 2.14 \gamma h; \\ - \sigma_v &= 9.12 \text{ MPa}. \end{aligned}$$

Направление максимального горизонтального напряжения ориентировано по азимуту $70^\circ \pm 10$. За γh взято значение σ_v (σ_v может быть отличным от γh ввиду надработки или подработки массива). Данные замеры можно рассматривать как природное поле напряжений на данной глубине (расстояние от поверхности – около 310 м).

Литостатическое давление ($\sigma_h = \gamma h$) для замерной станции №2 на отметке 42 м составляет около 8.5 МПа. На замерной станции №2 выполнено 18 тестов гидроразрыва. В результате обработки $p-t$ диаграмм установлены следующие значения напряжений, действующих в массиве:

$$\begin{aligned} - \sigma_{min} &= 11.63-13.5 \text{ MPa} \approx 1.35-1.56 \gamma h; \\ - \sigma_{max} &= 15.0-17.2 \text{ MPa} \approx 1.74-2.0 \gamma h; \\ - \sigma_v &= 8.08-9.0 \text{ MPa}. \end{aligned}$$

Направление максимального горизонтального напряжения ориентировано по азимуту $70^\circ \pm 10$. За γh взято среднее значение полученного $\sigma_v = 8.61$ МПа.

Суммарно на двух замерных станциях выполнено 35 тестов гидроразрыва. Установлено, что на месторождении присутствует тектоническое напряжение, которое может быть обусловлено формой структурных складок и тектонической трещиноватостью. Азимут действия максимального горизонтального напряжения на исследуемых станциях совпадает и равен $70^\circ \pm 10$.

Выводы

Результаты исследования механических свойств материалов в естественном и водонасыщенном состояниях позволили сделать следующие общие выводы: все исследуемые материалы демонстрируют снижение предела прочности на сжатие, растяжение и к сдвигу при водонасыщении, что свидетельствует о том, что водонасыщение оказывает негативное влияние на прочность материалов; водонасыщение также приводит к уменьшению модуля деформации материалов, что указывает на их уменьшение жесткости под воздействием воды; под влиянием водонасыщения коэффициент поперечной деформации и угол внутреннего трения материалов также изменяются, что может влиять на их способность к деформации и сцеплению между частицами; водонасыщение приводит к умень-

шению коэффициента сцепления материалов, что может сказываться на их способности сопротивляться сдвиговым напряжениям и устойчивости к различным нагрузкам.

Для определения образования клинообразных вывалов в кровле выработки в зависимости от азимута ее проходки и трещиноватости проведено численное моделирование в программе Unwedge. Прямыми замерами установлено, что на месторождении имеются от трех до четырех систем трещин. По результатам моделирования установлены критические направления по существующим системам трещин, по которым образуются максимальные клинья, т.е. направления проходки в данных азимутах будут сопровождаться риском больших клиновидных обрушений. Установлены азимуты направления выработок с наибольшими и наименьшими объемами вывалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Матаев А.К. Исследование геомеханической обстановки массива горных пород в зоне влияния очистных работ на шахте имени 10-летия Независимости Казахстана. / А.К. Матаев, А.С. Қайназарова, И.Д. Арыстан, Е.А. Абеуов, А.С. Қайназаров, М.Б. Байзбаев, В.Ф. Демин, М.Г. Султанов. // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2021. Т. 15. Вып. 1. С. 1-10 (на английском языке)
2. Султанов М.Г. Выбор параметров крепи и технологии ее возведения на месторождении «Восход». / М.Г. Султанов, А.К. Матаев, Д.С. Кауметова, Р.М. Абдрашев, А.С. Қуантай, Б.М. Орынбаев. // Уголь. 2020. №10. С. 17-22 (на русском языке)
3. Сладковский А. Определение рациональной вместимости бункера для циклической и непрерывной технологии в карьерах. / А. Сладковский, А. Утегенова, К. Елемесов, И. Столповских. // Научный вестник Национального Горного университета. 2017. №6. С. 29-33 (на английском языке)
4. Ванг К. Новое термомеханическое испытательное устройство с высокотемпературным модулем для определения термомеханических свойств твердых пород. / К. Ванг, З. Лю, Х. Чжоу, К. Ванг, У. Шен. // Европейский журнал охраны окружающей среды и гражданского строительства. 2023. №27 (4). С. 1697-1714 (на английском языке)
5. Griffiths D.V. Анализ устойчивости склона с помощью конечных элементов. / D.V. Griffiths, P.A. Lane. // Геотехника. 1999. Вып. 49. №3. С. 387-403 (на английском языке)
6. Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum V. Критерий Хука-Брауна – издание 2002 года. // В материалах 5-го Североамериканского симпозиума по механике горных пород и 17-й Ассоциации проходчиков Канады: NARMS-TAC 2002, Торонто, Канада, под ред. Р.Э. Хамма и др., 2002. Вып. 1. – С. 267-273 (на английском языке)
7. Duncan J.M. Современное состояние: предельное равновесие и конечно-элементный анализ склонов. // Журнал геотехнической инженерии. 1996. Вып. 122. №7. С. 577-596 (на английском языке)
8. Брейди Х.Г., Браун Э.Т. Механика горных пород: для подземных горных работ: Нью-Йорк: Springer Science & Business Media, 1985, С. 628 (на английском языке)
9. Stephenson R.M., Sandy M.P. Оптимизация проектирования очистных забоев и наземной поддержки – тематическое исследование. // Наземная поддержка 2013: продолжение 7-го междунар. симпозиума по наземной поддержке в горнодобывающей промышленности и подземном строительстве, Перт, 2013. – С. 387-400 (на английском языке)
10. Nickson S.D. Руководство по прокладке кабелей для подземных горных работ в твердых породах. Ванкувер, Университет Британской Колумбии, 1992. – 223 с. (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Матаев А.Қ. Қазақстан Тәуелсіздігінің 10 жылдығы атындағы шахтадағы тазарту жұмыстарының әсер ету аймағындағы тау алабындағы геомеханикалық жағдайды зерттеу. / А.К. Матаев, А.С. Қайназарова, И.Д. Арыстан, Е. Абеуов, А.С. Қайназаров, М.Б. Байзбаев, В.Ф. Демин, М.Г. Султанов. // Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру. 2021. Т. 15. Шығ. 1. Б. 1-10 (ағылшын тілінде)
2. Султанов М.Г. «Восход» көмір кен орнында бекіту параметрлерін және оны салу технологиясын таңдау. / М.Г. Султанов, А.К. Матаев, Д.С. Кауметова, Р.М. Абдрашев, А.С. Қуантай, Б.М. Орынбаев. // Көмір. 2020. №10. Б. 17-22 (орыс тілінде)

3. Сладковский А. Карьерлердегі циклдік және үздіксіз технология үшін бункердің ұтымды сыйымдылығын анықтау. / А. Сладковский, А. Утегенова, К. Елемесов, И. Столповских. // Ұлттық тау-кен университетінің ғылыми хабаршысы. 2017. №6. Б. 29-33 (ағылшын тілінде)
4. Ван К. Қатты жыныстардың термиялық механикалық қасиеттерін сипаттауға арналған жоғары температуралы модулі бар жаңа шынайы триаксиалды сынақ құрылғысы. / К. Ван, З. Лю, Х. Чжоу, К. Ван, В. Шен. // Еуропалық экологиялық және азаматтық құрылыс журналы. 2023. №27 (4). Б. 1697-1714 (ағылшын тілінде)
5. Griffiths D.V. Соңғы элементтердің көмегімен көлбеу тұрақтылықты талдау. / D.V. Griffiths, P.A. Lane. // Геотехника. 1999. Шығ. 49. №3. Б. 387-403 (ағылшын тілінде)
6. Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. Хук-Браун критерийі – 2002 жылғы басылым. // 5-ші Солтүстік Америка тау жыныстары механикасы симпозиумының және Канаданың 17-ші өткізгіштер қауымдастығының материалдарында: Narms-tac 2002, Торонто, Канада, өңдеген Р.Э. Хаммах және басқалар, 2002. Шығ. 1. – Б. 267-273 (ағылшын тілінде)
7. Duncan J.M. Қазіргі жағдай: шекті тепе-теңдік және беткейлердің ақырлы элементтік талдауы. // Геотехникалық инженерия журналы. 1996. Шығ. 122. №7. Б. 577-596 (ағылшын тілінде)
8. Брейди Х.Г., Браун Э.Т. Тау жыныстарының механикасы: жерасты тау-кен жұмыстары үшін: Нью-Йорк: Springer Science & Business Media, 1985, Б. 628 (ағылшын тілінде)
9. Stephenson R.M., Sandy M.P. Тазарту кенжарының дизайны мен жердегі қолдауды оңтайландыру – кейс-стади. // Жердегі қолдау 2013: 7-ші интернационалдан симпозиумдар тау-кен өнеркәсібіндегі және жерасты құрылысындағы жер үсті тірегі туралы, Перт, 2013. – Б. 387-400 (ағылшын тілінде)
10. Nickson S.D. Қатты тау жыныстары шахталарында жерасты жұмыстарына арналған кабельдерді бекіту бойынша нұсқаулық. Ванкувер: Британдық Колумбия университеті, 1992. – 223 б. (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Matayev A.K. Research into rock mass geomechanical situation in the zone of stope operations influence at the 10th Anniversary of Kazakhstan's Independence mine. / Matayev A.K., Kainazarova A.S., Arystan I.D., Abeuov Ye., Kainazarov A.S., Baizbayev M.B., Demin V.F., Sultanov M.G. // Mining of Mineral Deposits. 2021. V. 15. Issue 1. P. 1-10 (in English)
2. Sultanov M.G. Vybór parametrov krepі i tekhnologii ee vozvedeniya na mestorozhdenii «Voskhod». / M.G. Sultanov, A.K. Mataev, D.S. Kaumetova, R.M. Abdrashev, A.S. Kuantai, B.M. Orynbaev. // Ugol'. 2020. №10. S. 17-22 [Sultanov M.G. The choice of the parameters of the support and the technology of its construction at the Voskhod deposit. / Sultanov M.G., Mataev A.K., Kaumetova D.S., Abdrashev R.M., Kuantai A.S., Orynbaev B.M. // Coal. 2020. №10. P. 17-22] (in Russian)
3. Sladkowski A. Determining of the rational capacity of a bunker for cyclic-andcontinuous technology in quarries. / Sladkowski A., Utegenova A., Elemesov K., Stolpovskikh I. // Scientific Bulletin of the National Mining University. 2017. №6. P. 29-33 (in English)
4. Wang C. A novel true triaxial test device with a high-temperature module for thermalmechanical property characterization of hard rocks. / Wang C., Liu Z., Zhou H., Wang K., Shen W. // European Journal of Environmental and Civil Engineering. 2023. №27 (4). P. 1697-1714 (in English)
5. Griffiths D.V. Slope stability analysis by finite elements. / Griffiths D.V., Lane P.A. // Geotechnique. 1999. V. 49. №3. P. 387-403 (in English)
6. Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. Hoek-Brown criterion – 2002 edition. // In Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium and the 17th Tunnelling Association of Canada: NARMS-TAC 2002, Toronto, Canada eds. R.E. Hammah et al, 2002. V. 1. – P. 267-273 (in English)
7. Duncan J.M. State of the art: limit equilibrium and finite-element analysis of slopes. // Journal of Geotechnical Engineering. 1996. V. 122. №7. P. 577-596 (in English)
8. Brady H.G., Brown E.T. Mechanics of rocks: For underground mining: New York: Springer Science & Business Media, 1985, P. 628 (in English)
9. Stephenson R.M., Sandy M.P. Optimising stope design and ground support – a case study. // Ground Support 2013: proceed of the 7th Internat. sympos. on Ground Support in Mining and Underground Construction, Perth, 2013. – P. 387-400 (in English)
10. Nickson S.D. Cable support guidelines for underground hard rock mine operations, Vancouver, University of British Columbia, 1992. – 223 p. (in English)

Сведения об авторах:

Матаев А.К., Ph.D, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), a.mataev@kstu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-9033-8002>

Асанова Ж.М., Ph.D, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), zh.asanova@kstu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-1169-8729>

Хамзе А.М., магистр технических наук, преподаватель кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), a.hamze@kstu.kz; <https://orcid.org/0009-0006-7170-8438>

Рахимберлина А.А., докторант кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), altuwa1986@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3388-8096>

Авторлар туралы мәліметтер:

Матаев А.К., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының доцент м.а., КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Асанова Ж.М., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының доцент м.а., КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Хамзе А.М., техника ғылымдарының магистрі, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының оқытушысы, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Рахимберлина А.А., «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының докторанты, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Matayev A.K., Ph.D, acting Assistant Professor of the Department «Development of mineral deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Asanova Zh.M., Ph.D, acting Assistant Professor of the Department «Development of mineral deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Khamze A.M., Master of Technical Sciences, lecturer of the department «Development of mineral deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Rakhimberlina A.A., doctoral student of the department «Development of mineral deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)



**TECH MINING
СИБИРЬ**

www.techmining.ru

**ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ ДЛЯ
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**4-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, ВЫСТАВКА И ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВИЗИТ НА НОВОАНГАРСКИЙ ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ**



**НОВОАНГАРСКИЙ
ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ
КОМБИНАТ**

**12-14 марта 2025
Красноярск**



16+

Код МРНТИ 52.45.03

М.Р. Шаутинов¹, *Н.Т. Акказина¹, Ю.П. Морозов²¹Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),²Уральский государственный горный университет (г. Екатеринбург, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОГАТИМОСТИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ РУДЫ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Аннотация. В статье приводится информация по переработке редкоземельной руды коры выветривания месторождения Кундыбай. Особенности технологических свойств данной руды делают ее уникальной и ценной. В связи с этим возникла необходимость проведения полномасштабных научных исследований с целью изучения вещественного состава руды с установлением изменчивости распределения в них полезных компонентов и технологических свойств их переработки. Рудные минералы имеют микроскопические размеры, они распределены преимущественно внутри зерен вмещающих пород. Установлена методика технологических методов переработки данного минерального сырья на основе гравитационного обогащения с использованием разработанного центробежного гидроконцентратора.

Ключевые слова: редкоземельная руда, содержание, класс крупности, концентрат, хвосты, гравитация.

Мору қыртысындағы сирек жер кенінің байытылуын зерттеу

Аңдатпа. Ұсынылған мақалада Кундыбай кен орнының мору қыртысындағы сирек жер кенінің өңдеудің мәліметтері келтірілген. Аталған кеннің технологиялық ерекшеліктері, оны бірегей және құнды етеді. Соған сәйкес осындай кеннің заттық құрамын зерттеумен, ондағы пайдалы компоненттердің таралуының өзгеруін және олардың өңдеудегі технологиялық қасиеттерін білуге арналған толық масштабтағы ғылыми зерттеулер жүргізуге мәжбүрледі. Кендегі минералдардың размерлері микроскопиялық, олар негізінде кендегі жанасқан жыныстардың түйіршіктерінде таралған. Минералдық шикізатты өңдеудің технологиялық әдістемесі анықталды. Кенді байыту зерттелген ортадан тепкіш гидроконцентраторды қолданумен, гравитациялық байыту әдісі негізінде атқарылды.

Түйінді сөздер: сирек жер металды кен, құрамы, ірілік класс, концентрат, қалдық, гравитация.

Research on richability of rare earth ore from weathering crust

Abstract. The article provides information on the processing of rare-earth ore from the weathering crust of the Kundybay deposit. Features of technological properties of this Ore make it unique and valuable. In this regard, the need arose to conduct full-scale scientific research in order to study the material composition of ore with the establishment of variability in the distribution of useful components in them and the technological properties of their processing. Ore minerals are microscopic in size and distributed predominantly within grains of the host rock. The technique of technological methods of processing of this mineral raw material on the basis of gravity concentration with the use of developed centrifugal hydrocenter is extensively established.

Key words: rare earth ore, content, size class, concentrate, tails, gravity.

Введение

Известно, что богатые редкоземельные месторождения исчерпаны и возникла необходимость вовлекать в производство бедные или труднообогащаемые руды. К последним относятся руды кор выветривания, в которых редкоземельные элементы (РЗЭ) представлены фосфатами РЗЭ (черчитом, рабдофонитом, ксенотимом или монацитом).

Действительно, эти особенности технологических свойств исследуемой руды делают ее уникальной и ценной. Отсутствие радиоактивности является значительным преимуществом, так как это позволяет избежать дополнительных мер безопасности при добыче и переработке руды, а также обеспечивает безопасность конечного продукта. Кроме того, рыхлый песчано-глинистый гранулометрический состав руды позволяет существенно сэкономить затраты на операциях дробления и измельчения, что также является важным фактором. Наконец, необычный состав лантаноидов, включающий дефицитный иттрий, европий и другие тяжелые лантаноиды, делает эту руду особенно ценной, так как эти элементы имеют высокую стоимость и широко используются в различных отраслях промышленности.

В связи с этим возникла необходимость проведения полномасштабных научных исследований с целью изучения вещественного состава руды с установлением изменчивости распределения в них полезных компонентов и технологических свойств их переработки. Рудные минералы имеют микроскопические размеры, они распределены преимущественно внутри зерен вмещающих пород. На основе анализа ранее проведенных исследований по переработке редкоземельного сырья [1, 2] была установлена методика технологических методов переработки исследуемого минерального сырья и проведены лабораторные

исследования по гравитационному обогащению исходной редкоземельной руды. Установлена возможность гравитационного обогащения руды класса крупности более 0,10 мм.

Для проведения исследований по определению состава и свойств отобранной пробы использованы следующие методы физико-химических анализов: спектральный, минералогический, химический, рентгенофазовый анализ и растровая электронная микроскопия.

Проведены исследования по гравитационному обогащению исходной редкоземельной руды.

К редкоземельным относится группа из 17 элементов, включающая: скандий (*Sc*), иттрий (*Y*), лантан (*La*), церий (*Ce*), празеодим (*Pr*), неодим (*Nd*), прометий (*Pm*), самарий (*Sm*), европий (*Eu*), гадолиний (*Gd*), тербий (*Tb*), диспрозий (*Dy*), гольмий (*Ho*), эрбий (*Er*), тулий (*Tm*), иттербий (*Yb*), лютеций (*Lu*). Редкоземельные элементы используют в приборостроении, радиоэлектронике, машиностроении, атомной технике, химической промышленности, в металлургии и других различных отраслях. На основе *Nd, Y, Sm, Er, Eu* с *Fe-B* (боридом железа) получают сплавы с высокой намагничивающей и коэрцитивной силой для создания постоянных магнитов, используемых, в частности, в ветрогенераторах и двигателях электромобилей [3].

В настоящее время редкоземельные металлы (РЗМ) – это ключевые компоненты самых современных материалов и технологий. Неуклонный интерес к ним обусловлен широким спектром их потребления в высокотехнологичных отраслях промышленности, возрастающим спросом на мировом рынке [4].

Добываемые РЗМ используются в производстве мощных постоянных магнитов, катализаторов для крекинга нефти, синтеза каучука, также для выпуска каталитических фильтров-нейтрализаторов выхлопных газов автотранспорта, люминофоров для мониторов и энергосберегающих ламп.

Уникальные свойства РЗМ служат основой для реализации современных передовых технологий в металлургии, приборостроении, машиностроении, радиоэлектронике, химической и оборонной промышленности и т.д.

Руды, содержащие минералы редкоземельных элементов (РЗЭ), обычно подвергают гравитационному обогащению для выделения тяжелых минералов – монацита, ксенотима, эвксенита и других [5, 6].

Объектом исследования является минеральное сырье месторождения Кундыбай, которое находится в Костанайской области Казахстана [7]. Основную ценность в коре выветривания представляют вторичные редкоземельные минералы бастнезит, черчит и рабдофонит. Черчит – самый распространенный минерал на месторождении. Рабдофонит по составу является близким аналогом черчита ΣTR_2O_3 – 42,57%, для него характерно повышенное содержание иттрия (4,76%).

Материалы и основные методы

Для проведения исследований по определению состава и свойств руды Кундыбайского месторождения была отобрана представительная проба руды. Используются следующие методы физико-химических анализов: спектральный, минералогический, химический, рентгенофазовый анализ и растровая электронная микроскопия.

Атомно-эмиссионный качественный спектральный анализ проб исследуемой руды и продуктов обогащения проводили на дифракционном спектрографе ДФС-13, минералогический анализ с использованием микроскопа МИН-8 (проходящий свет) и инвертированного микроскопа Deica (отраженный свет); рентгенофазовый анализ на аппарате D8 Advance (Bruker).

В состав минералого-технологических исследований входили следующие процедуры: изучение гранулометрического и минералогического состава исследуемого минерального сырья; процесс обесшламливания глинистой фракции руды; гравитационное обогащение на основе фракционного анализа и гравитационной обогатимости.

В работе исследованы методы химического, минералогического и гранулометрического анализов; экспериментальные исследования обогатимости отобранной представительной пробы редкоземельного минерального сырья на основе гравитационного метода обогащения.

Результаты и их обсуждение

Исследование выполнено на отобранной представительной пробе редкоземельного минерального сырья. Проба массой 155 кг была продроблена и измельчена до крупности 2,5 мм. Полученный продукт крупностью 2,5-0,0 мм перемешивался и сокращался методом квартования на две части весом 77,5 кг каждая. Одну часть весом 77,5 кг перемешивали и сокращали на две равные части весом 38,7 кг. Одна часть весом 38,7 кг подвергалась фракционному ана-

лизу. Вторая часть подвергалась гравитационному обогащению на разработанном виброцентробежном чашевом аппарате [8].

Вторую часть весом 77,5 кг повторно перемешивали и сокращали на две части весом 38,7 кг каждая. Одну часть брали на минералогический, рентгенофазовый и другие анализы, другую часть перемешивали и сокращали на две части весом 19,3 кг. Одну часть брали на ситовой и седиментационный анализы, другую использовали для проведения флотационных опытов.

Содержание суммы редкоземельных элементов (Σ РЗЭ) в исследуемой пробе руды по результатам химического анализа составляет 320,45 г/т. Содержание отдельных РЗЭ в пробе руды, г/т: **Dy** – 9,175; **Er** – 3,93; **Eu** – 0,874; **Gd** – 6,8; **Ho** – 1,03; **La** – 48,0; **Lu** – 0,6; **Nd** – 26,09; **Pr** – 41,8; **Sm** – 3,89; **Tb** – 0,722; **Tm** – 6,524; **Y** – 14,12; **Yb** – 2,78; **Ce** – 155,765. Из редкоземельных элементов в исследуемой руде больше всего содержится церия – 155,765 г/т, несколько в меньшем количестве можно отметить **La**, **Pr**, **Nd** и **Y**.

Гранулометрический анализ дробленной до -2,5 мм руды показал, что 70,65% Σ РЗЭ содержится в тонких классах -0,02+0,01 мм, -0,01+0,005 мм, 0,005+0 мм. Суммарный выход этих классов составляет 32,65%. Среднее содержание Σ РЗЭ по этим классам – 667 г/т.

По результатам ИКС-анализа в пробе руды содержатся следующие основные минералы: каолинит – $Al_4(OH)_8 [Si_4O_{10}]$, кварц $\alpha-SiO_2$, анортит $Ca[Al_2Si_2O_8]$, альбит $Na[AlSi_3O_8]$, кальцит $CaCO_3$, мусковит $KAl_2[(OH, F)_2AlSi_3O_{10}]$, рутил TiO_2 , ильменит $FeTiO_3$.

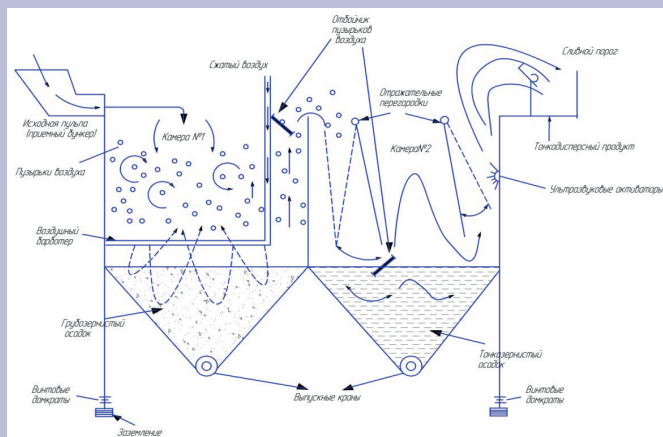
В целом распределение содержаний Σ РЗЭ по классам крупности в исследуемой руде имеет неравномерный характер. Наименьшее содержание Σ РЗЭ наблюдается в самых крупных классах и наиболее высокие содержания в тонких классах крупности. Содержание Σ РЗЭ в классе крупностью 80-40 мм составил 22,055 г/т, а в классах крупностью 0,02-0,01 мм и 0,01-0,05 мм соответственно составили 609,981 г/т и 821,597 г/т. Общий выход данных классов крупности 31,49% со средним содержанием суммы РЗЭ 694,318 г/т и общим извлечением Σ РЗЭ 68,229%. Это позволяет утверждать, что большая часть РЗЭ концентрируется в классе крупностью 0,02-0,005 мм.

Выход самого тонкого класса крупностью менее 5 мкм составил всего 1,14%. Однако в данном классе крупности наблюдается наиболее высокое содержание Σ РЗЭ, которое составило 890,639 г/т, при извлечении РЗЭ 3,168%.

Наличие высокого количества шламистой фракции (более 30% от руды) позволило сделать вывод, что данную руду невозможно подвергать процессам обогащения без предварительной дешламации.

Процесс дешламации осуществлялся на разработанном в КазНТУ им. К.И. Сатпаева ультразвуковом аэрогидродешламаторе (УАГД) [9-10], позволяющем вывести из процесса до 90% тонкого глинисто-шламистого материала крупностью (-2 мм). Схема УАГД представлена на рис. 1.

Процесс дешламации исходного сырья осуществляется в последовательно разделенных камерах УАГД. В турбулентном противотоке воздушных и водяных струй (камера 1) осуществляется разделение из пульпы грубых сростков



**Рис. 1. Схема УАГД.
Сурет 1. УАГД сұлбасы.
Figure 1. UAGD Schematic.**

и тяжелых минералов, затем в последующей камере 2 за счет ультразвуковой активации ламинарного потока пульпы происходит разделение тонких и тонкодисперсных частиц. Гидравлическая классификация в аппарате осуществляется в непрерывных по переменному исходных-восходящих, криволинейно текущих потоках и происходит от крупного класса к мелкому.

В первой камере большое значение имеет размер и плотность разделяемых частиц, во второй камере главным является размер и форма частиц и характер их строения, в сливе – размер частиц. За счет аэрации пульпы в первой камере происходит минерализация пузырьков воздуха, закрепление на них тонкодисперсных шламистых (глинистых) частиц при движении пузырька снизу-вверх и падении частицы вниз. Во-второй, ультразвуковая активация разрушает пузырьки воздуха и вскрывает («очищает») зерна от пленок и корок других минералов, выполняет тонкую дезинтеграцию (1-10 мкм) минеральной взвеси и способствует осаждению более крупных зерен. В слив дещламматора поступает тонко дезинтегрированный, очищенный (облагороженный) материал, пригодный для гидрометаллургической переработки и гравитационно-флотационного обогащения.

Перемешивание пульпы и разделение твердых частиц осуществляется барботированием, т.е., пропусканием через пульпу мелких пузырьков воздуха. Для этого в первой камере установлен воздушный барботер, представляющий собой три горизонтально расположенные скрепленные между собой трубы ($d=21$ мм) с 56 отверстиями ($d=1$ мм) в нижней части каждой. Благодаря чему воздух из отверстий преодолевает одинаковое гидравлическое сопротивление и равномерно выходит из отверстий, что способствует лучшему перемешиванию осадка в конической воронке, а нижнее расположение отверстий предохраняет их от засорения песком. Воздух подается под давлением. Частицы плохо смачиваемых водой минералов (сера, тальк, графит, сульфиды, в ряде случаев самородные металлы) прилипают к пузырькам воздуха и всплывают вместе с ними на поверхность пульпы. Хорошо смачиваемые водой частицы, окруженные прочной гидратной оболочкой, не прилипают к пузырькам воздуха и остаются в водной среде.

Кстати, добавление в пульпу реагентов вспенивателей (сосновое масло и др.), обеспечивает устойчивость и длительность существования в пульпе пузырьков воздуха.

Выпуск осевшего осадка осуществляется с помощью шаровых кранов, расположенных в конических днищах камер, слив отправляется через сливной порог, через который удаляются шламы.

Разделение песков в УАГД восходящих потоках воды осуществляется в камерных классификаторах, производительность которых рассчитывается по показателям работы последней камеры, из которой удаляются в слив тонкие частицы. При большом содержании тонких шламов из-за недостаточной площади осаждения (зеркала воды) частиц в последней камере снижается производительность классификации. Обесшламливание в УАГД производится по граничной крупности 0,04 мм.

Необходимая крупность руды для проведения укрупненно-лабораторных испытаний, определенная предварительными исследованиями, составила 2,5 мм.

Согласно рис. 2 пробу исходной руды крупностью $-80+0,0$ мм дробили и измельчали до крупности 2,5 мм. Полученный класс крупности $-2,5+0,0$ мм направляли на дещламмацию в УАГД с целью отделения шламистой фракции $-0,1+0,0$ мм. Полученные два класса крупности $-2,5+0,1$ мм и $-0,1+0,0$ мм направлялись на опыты по гравитационному обогащению.

Перед проведением укрупненно-лабораторных испытаний руду, дробленную до 2,5 мм, подвергали дещламмации по классу крупности $-0,1+0,0$ мм. Результаты дещламмации представлены в таблице 1.

**Таблица 1
Результаты дещламмации руды дробленной до 2,5 мм
Кесте 1
2,5 мм дейін ұнтақталған кенді дещламмациялау
нәтижелері**

**Table 1
Results of desliming of ore crushed to 2.5 mm**

Класс крупности, мм	Выход, %	Содержание $\Sigma P3Э$, г/т	Извлечение $\Sigma P3Э$, %
- 2,5 + 0,1	53,75	108,09	18,88
- 0,1 + 0,0	41,25	534,02	81,12
Руда	100	307,78	100

По результатам дещламмации средневзвешенное содержание $\Sigma P3Э$ в исследуемой пробе руды составило 307,78 г/т, таблица 1.

Анализ результатов дещламмации исходной руды, дробленной до 2,5 мм, приведенных в таблице 1, показывает, что выход класса $-2,5+0,1$ мм составил 53,75% с содержанием $\Sigma P3Э$ 108,09 г/т при извлечении 18,88%.

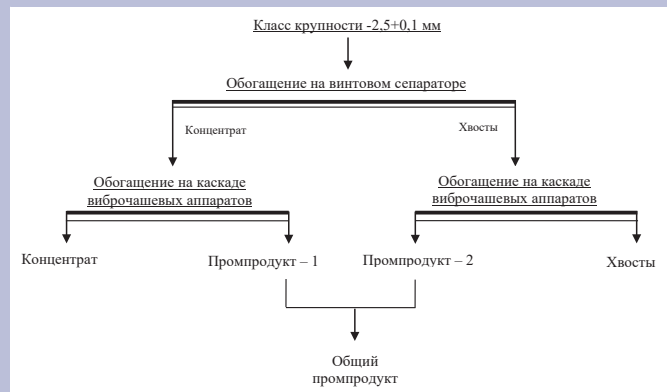
Выход класса $-0,1+0,0$ мм составил 41,25% с содержанием $\Sigma P3Э$ 534,02 г/т при извлечении 81,12%.

Следует отметить, что содержание $\Sigma P3Э$ в классе крупности $-2,5+0,0$ мм практически в три раза ниже, чем содержание $\Sigma P3Э$ в руде и имеет низкое извлечение $\Sigma P3Э$ в данный класс (18,88%). Отсюда можно констатировать,

что основное количество $\Sigma P3Э$ извлекается в класс крупности $-0,1+0,0$ мм (81,12%) и в нем наблюдается повышенное содержание $\Sigma P3Э$ по отношению к содержанию $\Sigma P3Э$ в исходной руде в 1,73 раза (534,02 г/т).

Проведены укрупненно-лабораторные испытания по гравитационному обогащению тонкодисперсных частиц редкоземельных элементов из исследуемой руды с использованием разработанного виброцентробежного чашевого аппарата различной производительности.

Схемы обогащения в гравитационных аппаратах представлены на рис. 2.



**Рис. 2. Схема обогащения класса $-2,5+0,1$ мм.
Сурет 2. $-2,5+0,1$ мм кластың байыту сұлбасы.
Figure 2. The grade enrichment scheme is $-2,5+0,1$ mm.**

Обогащение класса $-2,5+0,1$ мм на винтовом сепараторе и разработанном виброцентробежном чашевом аппарате.

Виброкашевый аппарат по своим конструктивным параметрам и принципу действия является аналогом разработанных гидроконцентраторов [11]. Отличительная особенность аппарата: отсутствие подачи дополнительной воды в чашу (ротор) концентратора, высокая степень концентрации (до 200) полезных компонентов в продуктах обогащения и возможность работы с малыми пробами исследуемого материала. Разрыхление материала в постели чаши концентратора осуществляется за счет ее вибрации (3000-6000 кол/мин).

Гравитационное обогащение исследуемой руды осуществлялось на разработанной укрупненной технологической установке, представленной на рисунках 3, 4.

Обогащение класса $-2,5+0,1$ мм на винтовом сепараторе осуществлялось при следующих параметрах: отношение $J:T=3:1$.

Доводка концентрата винтового сепаратора в виброкашевом аппарате осуществлялась при следующих параметрах: отношение $J:T=3:1$, частота вращения чаши 500 об/мин.

Фотография используемого в исследованиях виброцентробежного аппарата представлена на рис. 5.

Результаты обогащения класса $-2,5+0,1$ мм представлены в таблице 2.

Анализ результатов укрупненно-лабораторных испытаний гравитационного обогащения класса крупностью $-2,5+0,1$ мм (таблица 2, рис. 2) показывает возможность



вид сверху

**Рис. 3. Винтовой сепаратор.
Сурет 3. Винтті сепаратор.
Figure 3. Screw Separator.**



**Рис. 4. Каскад виброкашевых аппаратов.
Укрупненная технологическая установка.
Сурет 4. Дірілді табакшалы аппарат.
Ірілендірілген технологиялық қондырғы.
Figure 4. Cascade of vibrocash machines.
Enlarged technological installation.**

получения концентрата, двух пром/продуктов (промпродукт – 1 и промпродукт – 2) и хвостов.

Выход концентрата составил 3,76% от руды (7,00% от класса) с содержанием $\Sigma P3Э$ 640,68 г/т, при извлечении $\Sigma P3Э$ 7,83% от руды (41,47% от класса).

Выход промпродукта – 1 составил 8,17% от руды (15,2% от класса) с содержанием $\Sigma P3Э$ 122,61 г/т при извлечении $\Sigma P3Э$ 3,25% от руды (17,21% от класса). Выход промпро-



Рис. 5. Виброцентробежный чашевый аппарат.
Сурет 5. Дірілді ортадан тепкіш табақшалы аппарат.
Figure 5. Vibrating centrifugal bowl machine.

дукта – 2 составил 9,48% от руды (17,45% от класса) с содержанием $\Sigma P3Э$ 95,15 г/т, при извлечении $\Sigma P3Э$ 2,90% от руды (15,36% от класса). Выход общего промпродукта (промпродукт – 1 плюс промпродукт – 2) составил 17,55% от руды (32,65% от класса) с содержанием $\Sigma P3Э$ 107,93 г/т, при общем извлечении $\Sigma P3Э$ 6,15% от руды (32,57% от класса).

Выход хвостов обогащения класса крупностью $-2,5+0,1$ мм составил 32,44% от руды (60,35% от класса) с содержанием $\Sigma P3Э$ 46,44 г/т при извлечении $\Sigma P3Э$ 4,90% от руды (25,96% от класса).

Обогащение класса $-0,1+0,0$ мм на вибrotchашевом аппарате.

Обогащение класса $-0,1+0,0$ мм на вибrotchашевом аппарате осуществлялось при следующих параметрах: отношение $Ж:Т=3:1$, частота вращения чаши 500 об/мин.

Технологические показатели, получаемые по схеме, в таблице 3.

Полученные результаты укрупненно-лабораторных испытаний гравитационного обогащения класса крупностью $-0,1+0,0$ (таблица 3) показывают возможность получения концентрата и хвостов.

Так выход концентрата составил 11,05% от руды (23,89% от класса) с содержанием $\Sigma P3Э$ 1053,76 г/т, при извлечении $\Sigma P3Э$ 37,83% от руды (46,63% от класса).

Выход хвостов обогащения класса крупностью $-0,1+0,0$ мм составил 35,2% от руды (76,11% от класса) с содержанием $\Sigma P3Э$ 378,53 г/т при извлечении $\Sigma P3Э$ 43,29% от руды (53,37% от класса). По содержанию

Таблица 2

Результаты обогащения класса $-2,5+0,1$ мм

Кесте 2

$-2,5+0,1$ мм кластың байыту нәтижелері

Table 2

Grade enrichment results $-2.5+0.1$ mm

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание $\Sigma P3Э$, %	Извлечение $\Sigma P3Э$, % от	
	класса	руды		класса	руды
Концентрат	7,00	3,76	640,68	41,47	7,83
Промпродукт – 1	15,2	8,17	122,61	17,21	3,25
Промпродукт – 2	17,45	9,48	95,15	15,36	2,90
Общий промпродукт	32,65	17,55	107,93	32,57	6,15
Хвосты	60,35	32,44	46,44	25,96	4,90
Класс $-2,5+0,1$ мм	100	53,75	108,09	100,0	18,88
Класс $-0,1+0,0$ мм	-	46,25	534,02	-	81,12
Руда	-	100,0	307,78	-	100,0

Таблица 3

Показатели обогащения класса $-0,1+0,0$ мм

Кесте 3

$-0,1+0,0$ мм кластың байыту көрсеткіштері

Table 3

Grade enrichment values $-0.1+0.0$ mm

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание $\Sigma P3Э$, %	Извлечение $\Sigma P3Э$, % от	
	класса	руды		класса	руды
Концентрат	23,89	11,05	1053,76	46,63	37,83
Хвосты	76,11	35,2	378,53	53,37	43,29
Класс $-0,1+0,0$ мм	100,0	46,25	534,02	100,0	81,12
Класс $-2,5+0,1$ мм	-	53,75	108,09	-	18,88
Руда	-	100,0	307,78	-	100,0

Таблица 4
Оптимальные технологические показатели укрупненно-лабораторных испытаний по обогащению исходной руды, дробленной до 2,5 мм – баланс металла

Кесте 4
2,5 мм-ге дейін ұсатылған бастапқы кенді байыту бойынша кең ауқымды зертханалық сынақтардың оңтайлы технологиялық көрсеткіштері – металдар балансы

Table 4
Optimal technological indicators of enlarged laboratory tests on beneficiation of initial ore crushed to 2.5 mm – metal balance

Наименование продукта	Выход, %	Содержание Σ РЗЭ, г/т	Извлечение, %
Концентрат кл. 2,5-0,1 мм	3,76	640,68	7,83
Концентрат кл. 0,1-0,0 мм	11,05	1053,76	37,83
Общий концентрат кл. 2,5-0,0 мм	14,81	948,89	45,66
Промпродукт – 1 кл. 2,5-0,1 мм	8,17	122,61	3,25
Промпродукт – 2 кл. 2,5-0,1 мм	9,48	95,15	2,90
Общий промпродукт кл. 2,5-0,1 мм	17,55	107,93	6,15
Хвосты – промпродукт кл. 0,1-0,0 мм	35,2	378,53	43,29
Общий промпродукт кл. 2,5-0,1 мм плюс хвосты – промпродукт кл. 0,1- 0,0 мм	52,75	208,5	49,44
Хвосты кл. 2,5-0,1 мм	32,44	46,44	4,90
Руда	100,0	307,78	100,0

Σ РЗЭ данные хвосты необходимо считать промпродуктом.

Оптимальные результаты укрупненно-лабораторных испытаний по обогащению руды, дробленной до 2,5 мм, приведены в таблице 4.

Согласно приведенному балансу металлов, выход общего гравитационного концентрата при обогащении руды крупностью 2,5-0,0 мм составил 14,81% со средним содержанием Σ РЗЭ 948,89 г/т и извлечением Σ РЗЭ 45,66%.

Выход общего промпродукта кл. -2,5+0,1 мм, объединенного с хвостами кл. -0,1+0,0 мм, составил 52,75% со средним содержанием Σ РЗЭ 208,5 г/т и извлечением 49,44%.

Хвосты выделяются из класса -2,5+0,1 мм, выход их составил 32,44% со средним содержанием Σ РЗЭ 46,44 г/т и извлечением 4,90%.

Полученный промпродукт обогащения необходимо подвергать дополнительной концентрации с целью повышения содержания Σ РЗЭ. В случае его объединения с хвостами обогащения всех классов крупности, их общий выход составил 85,19% со средним содержанием Σ РЗЭ 146,79 г/т и общим извлечением 54,34%.

Заключение

1. Произведен отбор представительной пробы редкоземельной руды коры выветривания.

2. На основе изучения нахождения полезных компонентов в исследуемой руде, проведены исследования по гравитационной обогатимости.

Анализ результатов гранулометрического состава – средневзвешенное содержание Σ РЗЭ элементов в пробе

руды составило 307,73 г/т. Наибольший выход и извлечение наблюдается в самом тонком классе крупностью 0,1-0,0 мм. Его выход составил 48,81% с содержанием Σ РЗЭ 511,44 г/т при извлечении 81,121%.

3. Полученные результаты по изучению фракционного состава руды показали, что исследуемая руда и в частности классы крупности крупнее 0,10 мм возможно обогащать с использованием гравитационных процессов.

4. Для обесшламливания руды использован разработанный ультразвуковой аэрогидродешламатор.

5. Гравитационное обогащение исследуемой руды осуществлялось с использованием виброцентробежного чашевого аппарата.

6. На основании приведенного баланса металлов выход общего гравитационного концентрата при обогащении руды крупностью 2,5-0,0 мм составил 14,81% со средним содержанием Σ РЗЭ 948,89 г/т и извлечением Σ РЗЭ 45,66%.

7. Результаты исследований могут быть использованы в технологических процессах переработки как труднообогатимых редкоземельных руд коры выветривания, так и других руд. Изготовленные гравитационные аппараты по улавливанию тонкодисперсных частиц редкоземельных минералов, а также ультразвуковой аэрогидродешламатор для удаления шламистых частиц готовы к использованию в промышленных условиях.

Благодарность

Данная статья написана по результатам научно-исследовательских работ по проекту AP23488914 «Разра-

ботка технологии количественной оценки тонкодисперсного золота в природных и техногенных объектах и оценка перспектив его обнаружения на территории Казахстана» в рамках грантового финансирования на

2024-2026 годы, руководитель проекта к.т.н., профессор Шаутинов М.Р. Исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Suli L.M. Обзор технологии переработки редкоземельных минералов. / L.M. Suli, W.H.W. Ibrahim, B.A. Aziz, M.R. Deraman, N.A. Ismail. // Бюллетень исследований в области химической инженерии. 2017. Т. 19. С. 20-35 (на английском языке)
2. Koen Binnemans. Переработка редкоземельных металлов: критический обзор. / Koen Binnemans, PeterTom Jones, Bart Blanpain, Tom Van Gerven, Yongxiang Yang, Allan Walton, Matthias Buchert. // Журнал «Чистое производство». 2013. Т.15. С. 1-22 (на английском языке)
3. Юшина Т.И. Обзор рынка РЗМ и технологий переработки редкоземельного сырья. / Т.И. Юшина, И.М. Петров, С.И. Гришаев, С.А. Черный. // ГИАБ. 2015. №1. С. 577-605 (на русском языке)
4. Cheng S.K. Последние разработки в области обогащения и металлургии редкоземельных металлов: обзор. / S.K. Cheng, W.B. Li, Y.X. Han, Y.S. Sun, P. Gao, X.L. Zhang. // Журнал «Редкие элементы». 2023. С. 629-642 (на английском языке)
5. Nzeh N.S. et al. Физическое обогащение тяжелых минералов – Часть 1: Обзор современного состояния литературы по методам гравитационного обогащения. // Heliyon. 2023. Т. 9. Вып. 8. Ст. №e18919 (на английском языке)
6. Kutari A. Разработка процесса извлечения редкоземельных металлов из минерала монацита: обзор. / A. Kutari, R. Panda, M.K. Jha, J.R. Kumar, J.Y. Lee. // Инженерное дело в области добычи полезных ископаемых. 2015. Т. 79. С. 102-115 (на английском языке)
7. Ниязов А.Р. Геологическая записка «Кундыбайское титан-иттрий- редкоземельное месторождение (Республика Казахстан, Костанайская область)». Фонды АО «Кундыбай», 2010, 15 с. (на русском языке)
8. Инновационный патент РК №30418 от 15.10.2015. Виброцентробежный чашевый аппарат периодического действия. / В.В. Перегудов, М.Р. Шаутинов, Г.А. Ожогин, И.Ю. Мотовилов. НИИС (на русском языке)
9. Акказина Н.Т. Распределение суммы редкоземельных элементов в исследуемой руде коры выветривания. // Материалы XXVIII международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», Екатеринбург, 2023. – С. 201-206 (на русском языке)
10. Шаутинов М.Р. Гранулометрический состав и характер распределения редкоземельных элементов руды коры выветривания. / М.Р. Шаутинов, Ш.А. Телков, А.Б. Бегалинов, И.Ю. Мотовилов, Н.Т. Акказина. // Горный журнал Казахстана. 2013. №1-2. С. 88-93 (на русском языке)
11. Пат. 25645 РК. Центробежный гидроконцентратор. / Ш. Байысбеков, М.Р. Шаутинов, В.В. Перегудов, А.Н. Божко, Ю.Г. Сажин, Н.Т. Акказина; заявл. 29.04.2011; опубл. 16.04.2012. Бюлл. №4. 4 с. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Suli L.M. Сирек жер минералдарды өңдеу технологиясына шолу. / L.M. Suli, W.H.W. Ibrahim, B.A. Aziz, M.R. Deraman, N.A. Ismail. // Химиялық инженерияны зерттеу бюллетені. // 2017. Т.19. Б. 20-35 (ағылшын тілінде)
2. Koen Binnemans. Сирек жер элементтерді өңдеу, сыны шолу. / Koen Binnemans, PeterTom Jones, Bart Blanpain, Tom Van Gerven, Yongxiang Yang, Allan Walton, Matthias Buchert. // «Таза өндіріс» журналы. 2013. Т. 15. Б. 1-22 (ағылшын тілінде)
3. Юшина Т.И. СЖМ нарығына шолу және сирек жер шикізатын қайта өңдеу технологиялары. / Т.И. Юшина, И.М. Петров, С.И. Гришаев, С.А. Черный. // ГИАБ. 2015. №1. Б. 577-605 (орыс тілінде)
4. Cheng S.K. Сирек жер элементтерін байыту және металлургия саласындағы соңғы әзірлемелері: шолу. / S.K. Cheng, W.B. Li, Y.X. Han, Y.S. Sun, P. Gao, X.L. Zhang. // «Сирек элементтер» журналы. 2023. Б. 629-642 (ағылшын тілінде)
5. Nzeh N.S. et al. Ауыр минералдарды физикалық байыту. 1 – бөлім: Гравитациялық байыту әдістері бойынша әдебиеттің қазіргі жағдайына шолу. // Heliyon. 2023. Т. 9. Шығ. 8. Мақ. №e18919 (ағылшын тілінде)
6. Kutari A. Монацит минералынан сирек жер металдарын бөліп алу үрдісін жасақтау: шолу. / A. Kutari, R. Panda, M.K. Jha, J.R. Kumar, J.Y. Lee. // Байыту саласындағы инженерия. 2015. Т. 79. Б. 102-115 (ағылшын тілінде)

7. Ниязов А.Р. Геологиялық жазба «Құндыбай титан-итрий-сирек жер кен орны (Қазақстан Республикасы, Қостанай облысы)». АҚ «Құндыбай» қоры, 2010. 15 б. (орыс тілінде)
8. ҚР инновациялық патент №30418 15.10.2015 ж. Табақшалы ортадан тепкіш үзілімді жұмыс істейтін аппарат. / В.В. Перегудов, М.Р. Шаутинов, Г.А. Ожогин, И.Ю. Мотовилов. НИИС (орыс тілінде)
9. Акказина Н.Т. Мору қыртысындағы кендегі сирек жер элементтерінің қосынды таралуын зерттеу. // «Кен және техногендік шикізатты өңдеудің ғылыми негіздері мен практикасы» XXVIII халықаралық ғылыми-техникалық конференциясы, Екатеринбург, 2023, – Б. 201-206 (орыс тілінде)
10. Шаутинов М.Р. Мору қыртысындағы кеннің сирек жер элементтерінің гранулометриялық құрамы мен таралу сипаттамасы. / М.Р. Шаутинов, Ш.А. Телков, А.Б. Бегалинов, И.Ю. Мотовилов Н.Т. Акказина. // Қазақстанның тау-кен журналы. 2013. №1-2. Б. 388-93 (орыс тілінде)
11. Пат. 25645 ҚР. Ортадан тепкіш гидроконцентратор. / Ш. Байысбеков, М.Р. Шаутинов, В.В. Перегудов, А.Н. Божко, Ю.Г. Сажин, Н.Т. Акказина; өтінім берген күні 29.04.2011; шыққан. 16.04.2012. Бюлл. №4. 4 с. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Suli L.M. A Review of Rare Earth Mineral Processing Technology. / Suli L.M., Ibrahim W.H.W., Aziz B.A., Deraman M.R., Ismail N.A. // Chemical Engineering Research Bulletin. 2017. V. 19. P. 20-35 (in English)
2. Koen Binnemans. Recycling of rare earths: a critical review. / Koen Binnemans, Peter Tom Jones, Bart Blanpain, Tom Van Gerven, Yongxiang Yang, Allan Walton, Matthias Buchert. // Journal of Cleaner Production. 2013. V. 51. P. 1-22 (in English)
3. Yushina T.I. Obzor rynka RZM i tekhnologii pererabotki redkozemel'nogo syr'ya. / T.I. Yushina, I.M. Petrov, S.I. Grishaev, S.A. Chernyi. // GIAB. 2015. №1. С. 577-605 [Yushina T.I. Review of the REM market and technologies for processing of rare earth raw materials. / T.I. Yushina, I.M. Petrov, S.I. Grishaev, S.A. Chernyi. // GIAB. 2015. №1. P. 577-605] (in Russian)
4. Cheng S.K. Recent process developments in beneficiation and metallurgy of rare earths: A review. / Cheng S.K., Li W.B., Han Y.X., Sun Y.S., Gao P., Zhang X.L. // J. Rare Earths. 2023. P. 629-642 (in English)
5. Nzeh N.S. et al. Physical beneficiation of heavy minerals – Part I: A state of the art literature review on gravity concentration techniques. // Heliyon. 2023. V. 9. Issue 8. Art.№e18919 (in English)
6. Kumari A. Process development to recover rare earth metals from monazite mineral: a review. / Kumari A., Panda R., Jha M.K., Kumar J.R., Lee J.Y. // Miner. Eng. 2015. V. 79. P. 102-115 (in English)
7. Niyazov A.R. Geologicheskaya zapiska «Kundybaiskoe titan-itrii- redkozemel'noe mestorozhdenie (Respublika Kazakhstan, Kostanaiskaya oblast')». Fondy AO «Kundybai», 2010, 15 s. [Niyazov A.R. Geological note «Kundybay titanium-yttrium-rare earth deposit (Republic of Kazakhstan, Kostanay region)». Fonds of JSC «Kundybay», 2010, 15 p.] (in Russian)
8. Innovatsionnyi patent RK №30418 ot 15.10.2015. Vibrotsentrobezhnyi chashevyi apparat periodicheskogo deistviya. / V.V. Peregudov, M.R. Shautenov, G.A. Ozhogin, I.Yu. Motovilov. NIIS [Vibrating centrifugal bowl batch apparatus. Innovation patent RK №30418 from 15.10.2015. / V.V. Peregudov, M.R. Shautenov, G.A. Ozhogin, I.Yu. Motovilov. NIIS] (in Russian)
9. Akkazina N.T. Raspredelenie summy redkozemel'nykh elementov v issleduemoi rude kory vyvetrivaniya. // Materialy XXVIII mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogennogo syr'ya», Ekaterinburg, 2023. – С. 201-206 [Akkazina N.T. Distribution of the sum of rare-earth elements in the studied ore of the weathering crust. // XXVIII International Scientific and Technical Conference «Scientific bases and practice of processing of ores and technogenic raw materials», Ekaterinburg, 2023. – P. 201-206] (in Russian)
10. Shautenov M.R. Granulometricheskii sostav i kharakter raspredeleniya redkozemel'nykh elementov rudy kory vyvetrivaniya. / M.R. Shautenov, Sh.A. Telkov, A.B. Begalinov, I.Yu. Motovilov, N.T. Akkazina. // Gornyi zhurnal Kazakhstana. 2013. №1-2. S. 88-93 [Shautenov M.R. Granulometric composition and character of distribution of rare-earth elements of weathering crust ore. / M.R. Shautenov, Sh.A. Telkov, A.B. Begalinov, I.Yu. Motovilov, N.T. Akkazina. // Mining Journal of Kazakhstan. 2013. №1-2. P. 88-93] (in Russian)
11. Pat. 25645 RK. Tsentrobezhnyi gidrokonsentrator. / Sh. Baiysbekov, M.R. Shautenov, V.V. Peregudov, A.N. Bozhko, Yu.G. Sazhin, N.T. Akkazina; zayavl. 29.04.2011; opubl. 16.04.2012. Byull. №4. 4 s. [Pat. 25645 RK. Centrifugal hydro concentrator. / Sh. Baiysbekov, M.R. Shautenov, V.V. Peregudov, A.N. Bozhko, Yu.G. Sazhin, N.T. Akkazina; 29.04.2011; published 16.04.2012. Bulletin №4. 4 p.] (in Russian)

Сведения об авторах:

Шаутинов М.Р., к.т.н., профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), m.shautenov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-0266-3882>
Акказина Н.Т., магистр технических наук, докторант кафедры «Горное дело», Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), n.akkazina@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-9042-6130>
Морозов Ю.П., д.т.н., профессор кафедры «Обогащение полезных ископаемых», Уральский государственный горный университет (г. Екатеринбург, Россия), tails2002@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0554-5176>

Авторлар туралы мәліметтер:

Шаутинов М.Р., т.ғ.к., «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры, Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен-металлургия институты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)
Акказина Н.Т., техника ғылымдарының магистры, «Тау-кен ісі» кафедрасының докторанты, Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен-металлургия институты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)
Морозов Ю.П., т.ғ.д., «Пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры, Урал мемлекеттік тау-кен университеті (Екатеринбург қ., Ресей)

Information about the authors:

Shautenov M., Candidate of Technical Sciences, Professor of «Metallurgy and Mineral Processing» department, Mining and Metallurgical Institute after named O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)
Akkazina N., Master of Technical Sciences, Doctoral student of «Mining» department, Mining and Metallurgical Institute after named O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)
Morozov Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor of «Mineral Processing» department, Ural State Mining University (Ekaterinburg, Russia)

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

СПТО КРАНЫ

СПЕЦТЕХНИКА И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

СПТО КРАНЫWWW.CRANE-EXPO.RU

18-20 марта 2025 г.
УВК Тимирязев центр



Код МРНТИ 53.37.13:53.37.33

Н.К. Нургабыл, *К.К. Мамырбаева
Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИИ ЗОЛОТА АКТИВИРОВАННЫМ УГЛЕМ В ПРИСУТСТВИИ МЕТАЛЛОВ ПРИМЕСЕЙ

Аннотация. Целью настоящей работы является исследование сорбционных свойств сорбентов, полученных на основе активированного угля (NoritRO, АКВАСОРБ) и шунгита. Эксперименты по определению оптимального сорбента проводились с цианистым раствором состава, мг/л: *Au* – 11,66; *Ag* – 2,16; *Fe* – 0,68; *Cu* – 8,45; *Zn* – 8,12. Установлено, что при сорбции золота с использованием сорбентов NoritRO, АКВАСОРБ и сорбента на основе шунгита, наибольшим значением емкости обладает ионит марки NoritRO. Оптимальным значением pH среды для извлечения золота с NoritRO и АКВАСОРБ является 10, для сорбента на основе шунгита pH = 6. При проведении сорбции золота из многокомпонентного раствора с сорбентом NoritRO в 6 стадий степень извлечения золота достигает 96-99%.

Ключевые слова: золото, свободное золото, цианидное выщелачивание, сорбент, активированный уголь, извлечение, pH, примеси металлов.

Металдардың қоспалардың қатысуымен белсендірілген көмірмен алтынның сорбциясын зерттеу

Аннотация. Бұл жұмыстың мақсаты белсендірілген көмір (NoritRO, АКВАСОРБ) және шунгит негізінде алынған сорбенттердің сорбциялық қасиеттерін зерттеу болды. Оңтайлы сорбентті анықтау бойынша эксперименттер құрамның цианид ерітіндісімен жүргізілді, мг/л: *Au* – 11,66; *Ag* – 2,16; *Fe* – 0,68; *Cu* – 8,45; *Zn* – 8,12. NoritRO сорбенттерін, АКВАСОРБТЫ және шунгит негізіндегі сорбентті қолдана отырып, алтынды сорбциялау кезінде NoritRO маркалы ионит сыйымдылықтың ең үлкен мәніне ие екендігі анықталды. NoritRO және АКВАСОРБ бар алтынды алу үшін ортаның оңтайлы pH мәні 10, шунгит негізіндегі сорбент үшін pH = 6 болды. NoritRO сорбентімен нақты цианидті өнімді ерітіндіден алтынды 6 сатыда сорбциялау кезінде алтынды алу дәрежесі 96-99% жетеді.

Түйінді сөздер: алтын, бос алтын, цианидті шаймалау, сорбент, белсендірілген көмір, экстракция, pH, металл қоспалары.

Investigation of gold sorption by activated carbon in the presence of impurity metals

Abstract. The purpose of this work was to study the sorption properties of sorbents obtained on the basis of activated carbon (NoritRO, AQUASORB) and shungite. Experiments to determine the optimal sorbent were carried out with a cyanide solution of the composition, mg/l: *Au* – 11.66; *Ag* – 2.16; *Fe* – 0.68; *Cu* – 8.45; *Zn* – 8.12. It was found that when gold is sorbed using NoritRO sorbents, AQUASORB and a sorbent based on shungite, the ionite of the NoritRO brand has the highest capacity value. The optimal pH value of the medium for extracting gold from NoritRO and AQUASORB was 10, for a sorbent based on shungite, pH = 6. When gold is sorbed from a real cyanide productive solution with NoritRO sorbent in 6 stages, the degree of gold extraction reaches 96-99%.

Key words: gold, free gold, cyanide leaching, sorbent, activated carbon, extraction, pH, metal impurities.

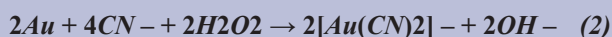
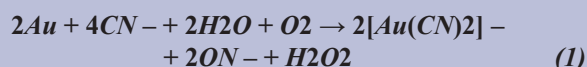
Введение

Золото благодаря уникальным свойствам находит широкое применение в электронной технике, ювелирном производстве, медицине, нанотехнологиях и т.д., кроме этого, его активно применяют как актив во всех странах мира.

В настоящее время с бурным развитием электронной промышленности, нанотехнологий и мировой нестабильностью резко возрос спрос на золото [1].

Казахстан обладает крупными запасами золота, по данным World Gold Council, на 1 июня 2022 года запасы золота в Казахстане составляли 373,4 т. Примерно 60% золота в стране сосредоточено в первичных месторождениях и 38% золота – в полиметаллических рудах. Однако, многие казахстанские месторождения относятся к бедным упорным золотосодержащим месторождениям с низкими содержаниями золота. Для поддержания объема производства золота в процесс все чаще вовлекается низкосортное золотосодержащее сырье. Извлечение золота из таких руд производится, главным образом, с использованием процесса цианирования с одновременным и/или последующим селективным рафинированием и концентрированием золота процессом ионного обмена (сорбцией) [2, 3]. Альтернативными реагентами выщелачивания являются тиомочевина, тиосульфат, галогенидные растворы и др. [4, 5].

При выщелачивании золотосодержащего концентрата цианидным раствором протекают следующие химические реакции, известные как уравнения Эльснера:



При взаимодействии с цианидным раствором золото окисляется кислородом воздуха и образует комплексный анион $[Au(CN)_2]^-$ со степенью окисления +1.

Новыми разновидностями цианидного процесса являются способ извлечения золота непосредственно из цианистых рудных пульп с использованием специально разработанных ионитов. Насыщенный золотом сорбент затем отделяют от пульпы и перерабатывают в отдельном цикле с получением золотосодержащего продукта. В зависимости от характера перерабатываемой руды сорбция золота из пульп осуществляется двумя методами – после предварительного выщелачивания («сорбент в пульпе» или sorbent-in pulp, CIP) или одновременная сорбция с выщелачиванием руды («сорбент – в выщелачивании», sorbent-in leach, CIL). При кучном цианистом выщелачивании, данный метод называют «сорбент в растворах», sorbent-in-solution, CIS). На предприятиях часто используют два варианта сорбции: «пульповой» (CIP, CIL) и «растворный» (CIS) [6, 7, 8].

Для селективного извлечения золота из растворов выщелачивания применяются процессы ионного обмена, жидкостная экстракция, осаждение цинком и т.д.

Среди всех эффективным и широко используемым процессом селективного извлечения золота из растворов является сорбция золота активированным углем. Активированный уголь получают из различных углеродсодержащих прекурсоров (из древесины, различных углей, костных остатков животных, скорлупы кокосового ореха и т.д.) карбонизацией при высокой температуре (в интервале температуры 800-900 °C) с последующей активацией химическим способом или обработкой водяным паром. При этом формируется высокопористая прочная структура, которая обеспечивает его высокие сорбцион-

ные свойства, в зависимости от температурного режима обработки. Образование различных функциональных групп позволяет углю проявлять анионо- и катионообменные свойства [9, 10, 11]. При наличии примесей в растворе выщелачивания, содержащих различные активные ионы, эффективность процесса сорбции активированным углем может значительно снизиться, что, в свою очередь, может существенно понизить производительность всего предприятия. Поэтому на каждом предприятии золота актуальной проблемой является исследование сорбционных свойств сорбентов, а также влияние примесей на извлечение золота.

Целью настоящего исследования является исследование сорбции золота и примесей активированным углем из растворов выщелачивания месторождения Акбакай.

Материалы и методика

Объектом исследования являются продуктивный раствор, полученный выщелачиванием золотосодержащих проб месторождения Акбакай и сорбенты на основе активированного угля марок NoritRO, полученные из кокоса, Аквасорб и активированный уголь на основе шунгита.

Атомно-эмиссионный анализ проводился с применением спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Optima 5100 DV, Perkin Elmer, рентгенфазовый анализ – электронно-зондовым микроанализатором марки Superprobe 733 фирмы JEOL, Япония, рентгенфлуоресцентный анализ – энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре X-Calibur SDD LE Xenometrix. Содержание металлов в растворе определялось атомно-абсорбционным спектрометром SavantAA с пламенным атомизатором, pH растворов – с помощью лабораторного иономера «pH-150 M» со стандартными электродами.

Методика сорбции в статическом режиме

Сорбцию золота осуществляли по методике: ионит с массой 1 г перемешивали с 500 мл продуктивного раствора, продолжительность составила сутки, т.е. 24 часа. После истечения времени сорбции ионита отделяли от раствора и его заливали новой порцией исходного цианидного раствора и в течение 24 часов продолжали перемешивать.

Исследования влияния примесей металлов на извлечение золота проводились в 6 циклах. После каждого цикла насыщения сорбента металлом раствор был проанализирован на содержание золота и металлов-примесей методами химического анализа и атомно-абсорбционной спектрометрией.

В статических условиях обменная емкость выбранных сорбентов определялась по формуле:

$$E(\text{COE}), \% = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{равн}}}{C_{\text{исх}}} \cdot \frac{V}{m}, \quad (1)$$

где $C_{\text{исх}}$ – исходная концентрация металла в растворе, мг/дм³ или ммоль/дм³;

$C_{\text{равн}}$ – равновесная концентрация металла в растворе, мг/дм³ или ммоль/дм³;

m – масса сорбента, г;

V – объем раствора, дм³.

Результаты и дискуссия

Физико-химическими исследованиями проб месторождения Акбакай установлено, что содержание золота в руде составляет 3,73 г/т. Основными компонентами руды являются кремнезем 64,7%; глинозем 14,00%; оксиды кальция 5,73%, магния 5,61%, калия 3,41%, натрия 2,93%. Рудообразующими фазами являются пирит, арсенопирит.

Исследования по сорбции проводились с продуктивными растворами, полученными выщелачиванием проб золотосодержащего месторождения с содержанием основных компонентов, мг/л: Au – 11,66; Ag – 2,16; Fe – 0,68; Cu – 8,45; Zn – 8,12, цианид натрия – 811; pH 10,18.

Физико-химическими исследованиями установлен следующий химический состав руды (таблица 1).

Таблица 1

Химический состав руды месторождения Акбакай

Кесте 1

Кендердің химиялық құрамы Акбакай кен орны

Table 1

Chemical composition of the ore Akbakay deposit

Элемент, компонент	Массовая доля в пробе, %	Элемент, компонент	Массовая доля в пробе, %
SiO_2	68,70	Zn	0,00445
Al_2O_3	13,70	Cu	0,0054
CaO	5,38	As	0,241
MgO	2,47	Sb	<0,005
MnO	0,0071	Ba	0,036
P_2O_5	0,18	Bi	<0,005
K_2O	3,68	Cd	<0,0002
Na_2O	2,21	Cr	0,0096
TiO_2	0,73	Co	0,0012
$C_{\text{общ}}$	0,9	Mo	<0,0005
CO_2	2,71	Ni	<0,005
$Fe_{\text{общ}}$	3,06	Sr	0,015
$Fe_{\text{окисл}}$	2,55	Sn	<0,005
$Fe_{\text{сульф}}$	0,51	W	<0,01
$S_{\text{общ}}$	0,5	Hg	<0,003
$S_{\text{сульфат}}$	<0,25	Au , г/т	5,73
Pb	0,0044	Ag , г/т	1,22

Результаты химического анализа показывают, что руда на 94,27% состоит из литофильных минералов. Содержание благородных металлов золота и серебра составляют 5,73 и 1,22 г/т соответственно. Содержание мышьяка – 0,241.

Рентгендифракционным методом анализа установлено (таблица 2), что основными рудными фазами являются пирит, арсенопирит и лимониты, а породообразующими минералами являются кремнезем, полевые шпаты, кальцит, мусковит, хлориты и др. Железо в окисленной форме преобладает над сульфидной формой. В руде также присутствуют акцессорные минералы титана типа апатит.

Минеральный состав проб руды месторождения Акбакай
Акбакай кен орнының руда сынамаларының минералды құрамы
Mineral composition of ore samples from the Akbakai deposit

Таблица 2

Кесте 2

Table 2

Минерал, группа минералов	Массовая доля, %	Минерал, группа минералов	Массовая доля, %
Породообразующие минералы		Рудообразующие минералы	
Кварц	44,0	Пирит	0,8
Полевые шпаты	30,5	Арсенопирит	0,5
Кальцит	6,1	Оксиды/гидроксиды Fe	0,9
Мусковит	9,0	Акцессорные (минералы Ti, апатит)	1,5
Хлорит	6,7	Итого:	100

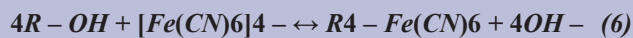
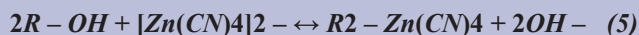
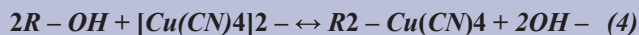
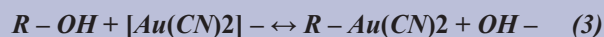
В руде в сотых и тысячных долях присутствуют окисленные и сульфидные меди, цинк. Полезным компонентом в пробе руды месторождения Акбакай является золото.

Известно, что для выщелачивания золота из такого вида сырья эффективно применять гравитационное обогащение с последующим процессом цианидного выщелачивания.

Для извлечения золота из продуктивных растворов, полученных выщелачиванием, эффективно применять сорбцию с активированными углями, выбор которой является важной проблемой на каждом месторождении золота.

Для выбора эффективного ионита проведены эксперименты по сорбции из модельных растворов с активированными углями NoritRO, Аквасорб и сорбента на основе шунгита.

Извлечение металлов сорбцией проводилось из модельного раствора цианида натрия с содержанием мг/л: Au – 11,66; Ag – 22,16; Fe – 0,68; Cu – 8,45; Zn – 8,12, цианид натрия – 811; pH 10,18. При сорбции цианистых комплексов металлов из растворов ионитами и/или активированными углями протекают реакции анионного обмена, которые описываются нижеследующими уравнениями:



При сорбции металлов необходимо учесть устойчивость цианистых комплексов целевых металлов и металлов примесей, соразмерность ионных радиусов анионов и пор сорбента, взаимодействие между цианистыми комплексами металлов с функциональными группами сорбентов, энергию притяжения между ионами и т.д. В зависимости от таких факторов определяется конечное количество сорбированных ионов в анионите и/или в активированном угле.

В результате проведения экспериментов по сорбции в статическом режиме определены статическая обменная

емкость сорбентов-активированных углей марок NoritRO, аквасорб и сорбента на основе шунгита. Полученные результаты приведены в таблице 3.

Результаты сорбции золота в статическом режиме
Статикалық режимде алтын сорбциясының нәтижелері

Таблица 3

Кесте 3

Table 3

Results of gold sorption in static mode

Сорбенты	COE, мг/г
Активированный уголь NoritRO	0,88
Аквасорб	0,63
Активированный уголь на основе шунгита (СШ)	0,32

Из полученных данных видно, что самым наибольшим значением COE обладает активированный уголь марки NoritRO, затем последует активированный уголь Аквасорб. Наихудшие результаты по COE показал активированный уголь на основе шунгита: его значение почти в 2,75 раза ниже, чем у сорбента NoritRO, и в несколько раз ниже, чем у Аквасорба.

Далее были исследованы влияние продолжительности процесса сорбции и значения pH на извлечение золота с сорбентами NoritRO, Аквасорб и СШ. Результаты приведены на рис. 1 и 2.

Изучение сорбционной активности сорбентов от продолжительности процесса сорбции показали (рис. 1), что статистическая обменная емкость активированного угля марки NoritRO по сравнению сорбентом марки Аквасорб была выше. Полное насыщение сорбента ионами золота в количестве 99% для сорбента NoritRO достигается за 120 минут, тогда как сорбент Аквасорб за это время адсорбирует всего 85% золота. Активированный уголь на основе шунгита уступает по статической обменной емкости вышеназванным сорбентам почти в 2 раза и за 60 минут сорбционное извлечение золота составило 51%, а за 160 минут всего 52%.

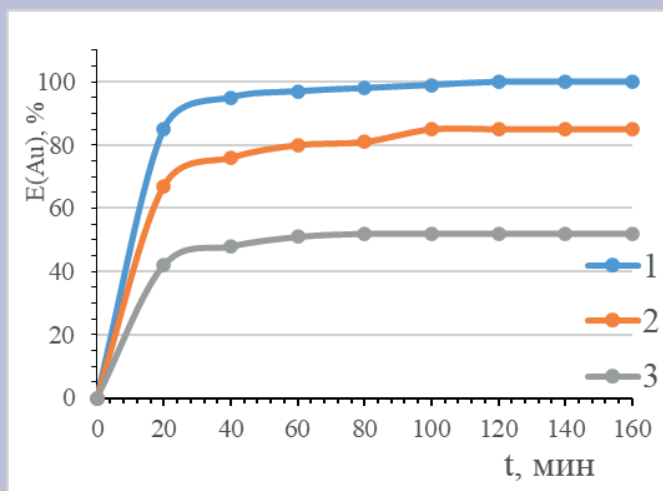


Рис. 1. Кинетические кривые извлечения золота из цианидных растворов различными сорбентами.

Сурет 1. Әр түрлі сорбенттермен цианидті ерітінділерден алтынды бөліп алудың кинетикалық қисықтары.

Figure 1. Kinetic curves of gold extraction from cyanide solutions by various sorbents.

Результаты исследования влияния pH на показатели процесса сорбции сорбентами NoritRO, Аквасорб и СШ показали (рис. 2), что сорбенты NoritRO и Аквасорб хорошо извлекают золото при всех значения pH раствора. Максимальное значение степени извлечения достигается при pH равном 10 и составляют 100 и 85% соответственно. С увеличением pH от 10 до 14 показатели сорбции Аквасорб и NoritRO снижаются и составляют 90 и 70% соответственно. Изменение pH сильно влияет на сорбционные свойства активированного угля на основе шунгита – его сорбционные свойства улучшаются при сильноокислотной области, при pH 2 извлечение золота составило 64%, затем с повышением pH от 2 до 6 показатели сорбции резко падают, т.е. в среде с pH, равном 6, сорбция золота из раствора практически не идет. Дальнейшее повышение pH раствора от 6 до 14 приводит к улучшению сорбционных свойств и степень извлечения золота увеличивается с 0 до 52%.

На основе полученных результатов экспериментов по изучению влияния различных параметров для дальнейших исследований в качестве оптимального сорбента золота был выбран сорбент NoritRO.

Исследования влияния примесей металлов на извлечение золота сорбентами марки NoritRO проводились с использованием раствора вышеприведенного состава. Результаты приведены на таблице 4.

Как показывают результаты, все примеси сорбируются активированным углем из-за его высокой сорбционной емкости. Однако, при увеличении продолжительности сорбции до 2-х суток содержание примесей металлов в сорбенте снижается. Это подтверждает вывод о том, что ионы примесей металлов замещаются ионами золота и извлекаются в раствор [11].

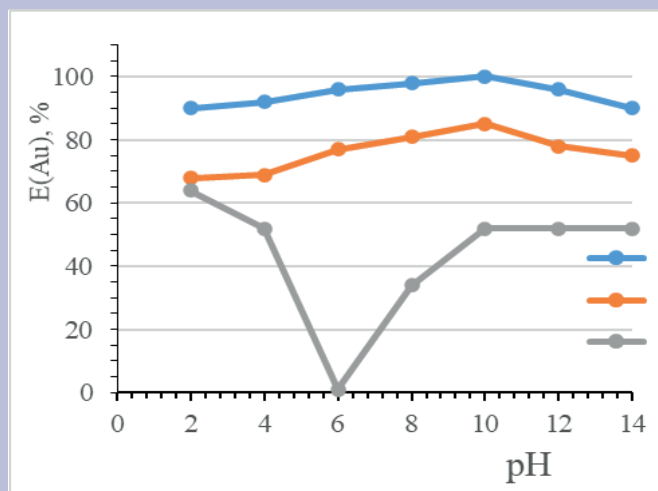


Рис. 2. Влияние pH среды на извлечение золота из цианидных растворов различными сорбентами.

Сурет 2. Әр түрлі сорбенттермен цианид ерітінділерінен алтын алуға қоршаған ортаның pH әсері.

Figure 2. The effect of the pH of the medium on the extraction of gold from cyanide solutions by various sorbents.

Таблица 4

Результаты извлечения металлов сорбентами на основе активированных углей

Кесте 4

Белсендірілген көмір негізіндегі сорбенттермен металдарды бөліп алу нәтижелері

Table 4

Results of metal extraction by sorbents based on activated carbons

Продолжительность сорбции, мин	Извлечение металлов примесей, %				
	Au	Ag	Fe	Cu	Zn
30	75,2	66,1	12,4	9,2	7,5
60	90,3	85,2	14,8	11,4	9,2
90	92,1	88,2	15,6	13,2	10,1
120	96,8	89,3	16,2	15,1	12,1
150	96,7	90,4	18,7	13,2	9,7
180	97,6	91,5	26,3	10,3	5,6
1440	98,7	97,5	14,7	7,4	4,2
2880	99,5	98,6	10,2	5,1	4,0

Далее было изучено влияние числа стадии сорбции на сорбционную способность ионита NoritRO примесей серебра, меди, железа и цинка из цианистого раствора. Результаты приведены ниже на рис. 3-4.

Определение содержания металлов в растворе после каждого этапа сорбции проводилось химическим и атомно-абсорбционным спектрометрическим методами анализа. Результаты экспериментов приведены на рис. 5-6.

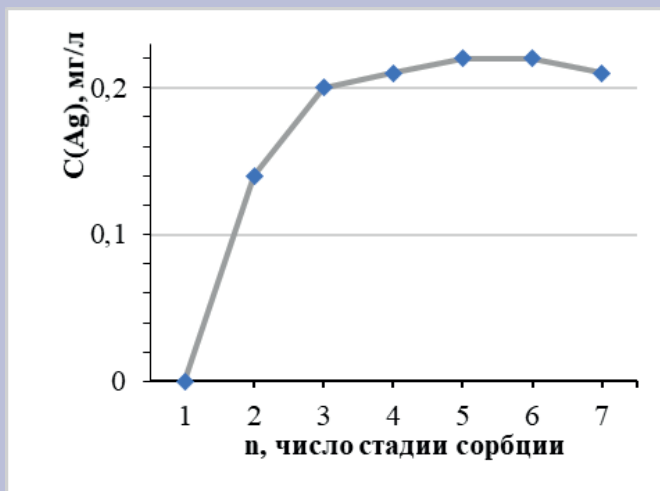


Рис. 3. Зависимость концентрации серебра в растворе от цикла сорбции.

Сурет 3. Ерітіндідегі күміс концентрациясының сорбция цикліне тәуелділігі.

Figure 3. Dependence of the silver concentration in solution on the sorption cycle.

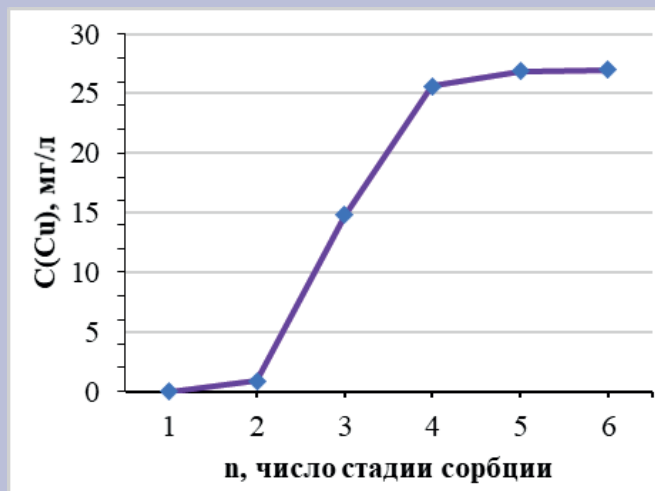


Рис. 4. Зависимость концентрации меди в растворе от цикла сорбции.

Сурет 4. Ерітіндідегі мыс концентрациясының сорбция цикліне тәуелділігі.

Figure 4. Dependence of the copper concentration in solution on the sorption cycle.



Рис. 5. Зависимость концентрации железа в растворе от цикла сорбции.

Сурет 5. Ерітіндідегі темір концентрациясының сорбция цикліне тәуелділігі.

Figure 5. Dependence of the concentration of iron in solution on the sorption cycle.

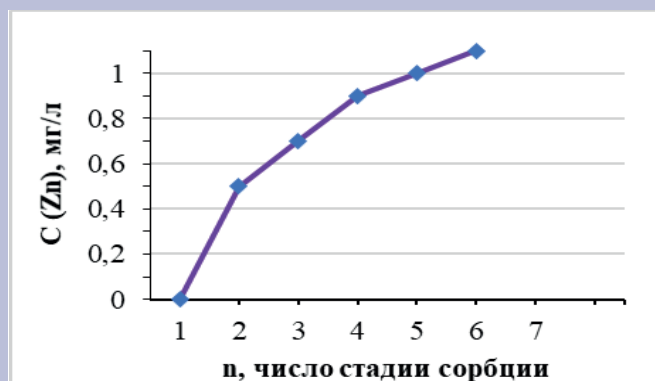


Рис. 6. Зависимость концентрации цинка в растворе от цикла сорбции.

Сурет 6. Ерітіндідегі мырыш концентрациясының сорбция цикліне тәуелділігі.

Figure 6. Dependence of zinc concentration in solution on the sorption cycle.

Как показали результаты наших исследований, выбранный активированный уголь хорошо извлекает наряду с ионами золота ионы примесей металлов – серебра, меди, железа и цинка. В последующие стадии, т.е. начиная со второй стадии сорбции наблюдается вытеснение примесей металлов и замещение ионами золота из структуры активированного угля, что заметно при определении концентрации примесей в растворе. Среди всех ионов примесей плохо вытесняются ионы меди и серебра, что подтверждается выводами приведенных исследований [12]. Но, несмотря на это, использованный в экспериментах активированный уголь показал высокую селективность к золоту и серебру.

Золотосодержащая руда состава (таблица 1) месторождения Акбакай поступает на гравитационное обо-

гащение, где степень обогащения составляет 53-56%. Концентрат далее направляется на цианидное выщелачивание, в результате которого извлекается от 69,42 до 78,33% золота. При цианидном выщелачивании руд месторождения Акбакай получают продуктивный раствор состава, мг/л: золото 500-600 мг/л, железо 80-90 мг/л, медь – 0,40-0,50 мг/л, серебро – 100-150 мг/л. Процесс сорбции проводится с использованием сорбента NoritRO с содержанием твердой фазы 40%, продолжительностью цикла 8 часов.

Цикл процесса сорбции происходит на установке Pumpcell Plant компании Kemix, где любой чан может быть первым или последним. Система питания сорбции спроектирована с расчетом подачи пульпы в любой из чанов сор-

бции. То есть головной чан сорбции отсекается для вывода золотосодержащего угля, и питание сорбции переводится в следующий чан. После вывода золотосодержащего угля с головного чана и перекачки в него обеззолоченного угля после десорбции, данный чан становится хвостовым (последним). В системе Pumpcell межкаскадный грохот, насос для угля и агитатор пульпы встроены в один механизм только с одним первичным приводом. Всего установлено шесть резервуаров Pumpcell, каждый из которых имеет полезный объем 78 м³ и общий объем составляет 468 м³, общее время сорбции или контакта составляет 1,5 часов. Каждый резервуар содержит 2 тонны активированного угля, что составляет одну порцию элюирования. С целью компенсировать сокращенное время контакта с углем, его концентрация в каждом резервуаре увеличивается до 50 г/л. Пульпа, выходящая с установки Pumpcell, характеризуется содержанием золота в растворе не выше 0,02 мг/л, серебра – 0,2-0,3 мг/л, меди – 10-15 мг/л, железа – 50-65 мг/л. Это показывает высокую степень сорбции золота и сорбционной активности сорбента NoritRo.

Насыщенный уголь собирается из резервуаров Pumpcell для дальнейшего элюирования. Из первого резервуара Pumpcell извлекается 2 тонны насыщенного угля, который после сбора будет направлен для дальнейших этапов обработки. Когда насыщенный уголь извлекается, его заменяют восстановленным углем из цикла элюирования или из печи для термической регенерации угля. Хвостовая пульпа процесса под действием силы тяжести стекает на контрольный грохот для угля. Подрешетный продукт гро-

хота откачивается в цикл обезвреживания от цианидов для следующей стадии обработки.

Заключение

Для переработки золота из руд месторождения Акбакай эффективно применять цианидное выщелачивание. Физико-химическими исследованиями установлено, что руда содержит свободное золото и основные золотосодержащие минералы, такие как пирит, арсенопирит, лимониты. Содержание золота и серебра составляют 5,73 и 1,22 г/т соответственно. Содержание мышьяка в руде очень низкое и составляет всего 0,043%. Основными минералами пустой породы в руде являются кремнезем, глинозем, полевой шпат, слюды, хлориты и др.

Сорбционное извлечение золота с различными сорбентами (активированными углями различных марок) показали, что эффективность сорбента падает в следующем порядке NoritRO > Аквасорб > СШ, степень извлечения золота с сорбентов NoritRO составляет 99%. На показатели степени извлечения золота влияет pH среды и продолжительность сорбции. Эксперименты по извлечению золота с активированным углем NoritRO из цианидного раствора, содержащего примеси металлов, такие как серебро, медь, железо, цинк показали, что при сорбции все примеси металлов извлекаются сорбентом, но в последующих циклах они вытесняются цианидным комплексом золота.

При сорбции золота из продуктивных растворов на месторождении Акбакай сорбентом NoritRO степень извлечения составляет 95-96%. Содержание в пульпе после сорбции не превышает 0,02 мг/л.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Beladi H. Цены на золото, культурные факторы и пандемия Covid-19: международный анализ. / H. Beladi, C.T. Trinh, C. Chao. // Исследования в области международного бизнеса и финансов. 2023. Т. 66. Ст. №102051 (на английском языке)
2. Gui Q. / Извлечение золота с использованием альтернатив цианиду: Ультразвуковое упрочнение и его кинетика обучения. / Q. Gui, L. Fu, Y. Hu, H. Di, M. Liang, S. Wang, L. Zhang. // Разработка полезных ископаемых. 2022. Т. 191. Ст. №107939 (на английском языке)
3. Staunton W.P. Углерод в пульпе при переработке золотой руды, под ред. Адамса М., издательство Elsevier: Амстердам, Нидерланды, 2016, С. 515-552 (на английском языке)
4. Sun C. Обзор процесса извлечения золота с использованием нецианидных выщелачивателей: основы, достижения и проблемы, связанные со щелочными серосодержащими выщелачивателями. / C. Sun, X. Zhang, J. Kou, Y. Xing. // Int. J. Miner. Metall. Mater. 2020. Т. 27. С. 417-431 (на английском языке)
5. Sousa R. Систематический обзор устойчивой добычи золота из необработанных руд с использованием альтернативных реагентов для выщелачивания. / R. Sousa, M.J. Regufe, A. Fiuza, M.M. Leite, A. Futuro. // Добывающая промышленность и общество. 2022. Т. 9. Ст. №101018 (на английском языке)
6. Yefremova S.V. Углеродный сорбент на основе специального мелкодисперсного кокса для извлечения золота, химии твердого топлива. / S.V. Yefremova, A.A. Kablanbekov, K.K. Anarbekov, L.V. Bunchuk, Y.I. Sukharnikov, N.I. Bogdanovich, A.Z. Terlikbaeva, A.A. Zharmenov. // Химия твердого топлива. 2019. Т. 53. С. 208-213 (на английском языке)
7. Fleming S.A. Факторы, влияющие на скорость выщелачивания и адсорбции цианида золота на активированном угле, и их влияние на конструкцию систем CIL и CIP. / S.A. Fleming, A. Mezei, E. Bourricaudy, M. Canizares, M. Ashbury. // Minerals Engineering. 2011. Т. 24 (6). С. 484-494 (на английском языке)
8. Soleimani M. Активированная твердая оболочка абрикосовых косточек: перспективный адсорбент для извлечения золота. / Soleimani M., Kaghazchi T. // Китайский журнал химической инженерии. 2008. Т. 16. С. 112-118 (на английском языке)

9. Jia and Steele C.J. Механизм адсорбции частиц золота и серебра на активированных углях. / Jia and C.J. Steele, I.P. Hayward, K.M. Thomas. // Углерод. 1998. Т. 36. С. 1299-1308 (на английском языке)
10. Van Deventer, Bazhko J., Yahorava V. Сравнение ионообменных смол, селективных по отношению к золоту, и активированного угля для извлечения золота из медных растворов для выщелачивания золота. // Конференция ALTA 2014 по золоту и драгоценным металлам, Мельбурн, Австралия, ALTA Металлургический сервис, 2014. – С. 18 (на английском языке)
11. Dai A. Обзор технологий извлечения цианида меди для цианирования медьсодержащих золотосодержащих руд. / A. Dai, P. Simons, A. Breuer. // Инженерное дело в области добычи полезных ископаемых. 2012. Т. 25. С. 1-13 (на английском языке)
12. Sayiner B. Влияние цианидов серебра, никеля и меди на адсорбцию золота на активированном угле в растворах цианидного выщелачивания. / B. Sayiner, N. Acarkan. // Физико-химические проблемы переработки полезных ископаемых. 2014. Т. 50. С. 277-287 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Beladi H. Алтын бағасы, мәдени факторлар және Covid-19 пандемиясы: халықаралық талдау. / H. Beladi, C.T. Trinh, C. Chao. // Халықаралық бизнес және қаржы саласындағы зерттеулер. 2023. Т. 66. Мақ. №102051 (ағылшын тілінде)
2. Gui Q. Пайдалану арқылы алтын алу цианидке балама: ультрадыбыстық қатайту және оның оқу кинетикасы. / Q. Gui, L. Fu, Y. Hu, H. Di, M. Liang, S. Wang, L. Zhang. // Пайдалы қазбаларды игеру. 2022. Т. 191. Мақ. №107939 (ағылшын тілінде)
3. Staunton W.P. Алтын кенін өңдеу кезіндегі пульпадағы көміртегі, ред. Адамс М., Elsevier баспасы: Амстердам, Нидерланды, 2016, Б. 515-552 (ағылшын тілінде)
4. Sun C. Цианидті емес ликсивианттарды қолдану арқылы алтын алу процесін шолу: сілтілі күкірті бар ликсивианттармен байланысты негіздері, жетістіктері және проблемалары. / C. Sun, X. Zhang, J. Kou, Y. Xing. // Int. J. Miner. Metall. Mater. 2020. Т. 27. Б. 417-431 (ағылшын тілінде)
5. Sousa R. Баламалы сілтілеу реагенттерін қолдана отырып, өңделмеген кендерден тұрақты алтын өндіруге жүйелі шолу. / R. Sousa, M. J. Regufe, A. Fiúza, M.M. Leite, A. Futuro. // Өндіруші өнеркәсіп және қоғам. 2022. Т. 9. Мақ. №101018 (ағылшын тілінде)
6. Yefremova S.V. / Алтын қатты отын алу үшін арнайы ұсақ дисперсті кокс негізіндегі көміртекті сорбент. S.V. Yefremova, A.A. Kablanbekov, K.K. Anarbekov, L.V. Bunchuk, Y.I. Sukharnikov, N.I. Bogdanovich, A.Z. Terlikbaeva, A.A. Zharmenov. // Қатты отынның химиясы. 2019. Т. 53. Б. 208-213 (ағылшын тілінде)
7. Fleming C.A. Белсендірілген көмірдегі алтын цианидінің шаймалау және адсорбция жылдамдығына әсер ететін факторлар және олардың CIL және CIP жүйелерінің дизайнына әсері. / C.A. Fleming, A. Mezei, E. Bourricaudy, M. Canizares, M. Ashbury. // Minerals Engineering. 2011. Т. 24 (6). Б. 484-494 (ағылшын тілінде)
8. Soleimani M. Өрік шұңқырларының белсендірілген қатты қабығы: алтынды алу үшін перспективалы адсорбент. / M. Soleimani, T. Kaghazchi. // Қытайдың химиялық инженерия журналы. // 2008. Б. 16. Б. 112-118 (ағылшын тілінде)
9. Jia and Steele C.J. / Белсендірілген көмірдегі алтын мен күміс бөлшектерін адсорбциялау механизмі. / Jia and C.J. Steele, I.P. Hayward, K.M. Thomas. // Көміртек. 1998. Т. 36. Б. 1299 -1308 (ағылшын тілінде)
10. Van Deventer, Bazhko J., Yahorava V. Алтынға селективті ион алмастырғыш шайырлар мен алтынды шаймалау үшін мыс ерітінділерінен алтын алу үшін белсендірілген көмірді салыстыру. // Алтын және бағалы металдар бойынша 2014 ALTA конференциясы, Мельбурн, Австралия, ALTA металлургиялық қызмет, 2014. – Б. 18 (ағылшын тілінде)
11. Dai A. Құрамында мыс бар алтын кендерін цианидтеу үшін мыс цианидін алу технологияларына шолу. / A. Dai, P. Simons, A. Breuer. // Тау-кен саласындағы инженерия. 2012. Т. 25. Б. 1-13 (ағылшын тілінде)
12. Sayiner B. Күміс, никель және мыс цианидтерінің цианидті шаймалау ерітінділеріндегі белсендірілген көмірдегі алтынның адсорбциясына әсері. / B. Sayiner, N. Acarkan. // Пайдалы қазбаларды өңдеудің физика-химиялық мәселелері. 2014. Т. 50. Б. 277-287 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Beladi H. Gold prices, cultural factors, and Covid-19 pandemic: An international analysis. / Beladi H., Trinh C.T., Chao C. // Research in International Business and Finance. 2023. V. 66. Art. №102051 (In English)

2. *Gui Q. Gold extraction using alternatives to cyanide: Ultrasonic reinforcement and its leaching kinetics. / Gui Q., Fu L., Hu Y., Di H., Liang M., Wang S., & Zhang L. // Minerals Engineering. 2022. V. 191. Art. №107939 (In English)*
3. *Staunton W.P. Carbon-in-pulp, In Gold Ore Processing, ed.: Adams, M., Elsevier: Amsterdam, Netherlands, 2016, P. 515-552 (In English)*
4. *Sun C. A review of gold extraction using noncyanide lixivants: Fundamentals, advancements, and challenges toward alkaline sulfur-containing leaching agents. / Sun C., Zhang X., Kou J., Xing Y. // Int. J. Miner. Metall. Mater. 2020. V. 27. P. 417-431 (In English)*
5. *Sousa R. A systematic review of sustainable gold extraction from raw ores using alternative leaching reagents. / Sousa R., Regufe M. J., Fiúza A., Leite M.M., Futuro A. // The Extractive Industries and Society. 2022. V. 9. Art. №101018 (In English)*
6. *Yefremova S.V. / Carbon sorbent based on special fine coke for the extraction of gold. / Yefremova S.V., Kablanbekov A.A., Anarbekov K.K., Bunchuk L.V., Sukharnikov Y. I., Bogdanovich N.I., Terlikbaeva A.Z., Zharmenov A.A. // Solid Fuel Chem. 2019. V. 53. P. 208-213 (In English)*
7. *Fleming C.A. Factors influencing the rate of gold cyanide leaching and adsorption on activated carbon, and their impact on the design of CIL and CIP circuits. / Fleming C.A., Mezei A., Bourricaudy E., Canizares M., Ashbury M. // Minerals Engineering. 2011. V. 24 (6). P. 484-494 (In English)*
8. *Soleimani M. Activated hard Shell of apricot stones: a promising adsorbent in gold recovery. / Soleimani M., Kaghazchi T. // Chinese Journal of Chemical Engineering. 2008. V. 16. P. 112-118 (In English)*
9. *Jia and Steele C.J. Mechanism of adsorption of gold and silver species on activated carbons. / Jia and Steele C.J., Hayward I.P., Thomas K.M. // Carbon. 1998. V. 36. P. 1299-1308 (In English)*
10. *Van Deventer, Bazhko J., Yahorava V. Comparison of Gold-Selective Ion Exchange Resins and Activated Carbon for the Recovery of Gold from Copper Gold Leach Liquors. // ALTA 2014 Gold – precious metals Conference, Melbourne, Australia, ALTA Metallurgical Service, 2014. – P. 18 (In English)*
11. *Dai A. A review of copper cyanide recovery technologies for the cyanidation of copper containing gold ores. / Dai A., Simons P., Breuer A. // Mining Engineering. 2012. V. 25. P. 1-13 (In English)*
12. *Sayiner B. Effect of silver, nickel, and copper cyanides on gold adsorption on activated carbon in cyanide leach solutions. / Sayiner B., Acarkan N. // Physico-chemical problems of mineral processing. 2014. V. 50. P. 277-287 (In English)*

Сведения об авторах:

Нургабыл Н.К., магистрант кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), nazerke.nurgabyl@stud.satbayev.university; <https://orcid.org/0009-0004-2319-7114>

Мамырбаева К.К., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), k.mamyrbayeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-1094-5345>

Авторлар туралы мәліметтер:

Нұргабыл Н.К., Satbayev University «Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар технологиясы» кафедрасының магистранты (Алматы қ., Қазақстан)

Мамырбаева К.К., Ph.D докторы, Satbayev University «Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Nurgabyl N.K., master's student of the Department «Metallurgical Processes, Heat Engineering and Technology of Special Materials» Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Mamyrbayeva K.K., Doctor Ph.D., Associate Professor of the Department of «Metallurgical Processes, Heat Engineering and Technology of Special Materials» Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)



VI МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ И МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ

kmf-expo.kz

23-25 апреля 2025

Международный выставочный центр «EXPO»
г. Астана, Казахстан

Организаторы:



Министерство
промышленности и строительства
Республики Казахстан



АСТАНА
EXPO

Соорганизатор:



Код МРНТИ 53.01.91:53.01.94

А.А. Абілберікова¹, *Б.Т. Уахитова², М.М. Тайжигитова², Қ.Т. Есқалина²
¹Қарағанды индустриялық университеті (Теміртау қ., Қазақстан),
²ZHUBANOV UNIVERSITY (Ақтөбе қ., Қазақстан)

ФЕРРОҚОРЫТПА ӨНДІРІСІН ЭКО-БАҒДАРЛАНҒАН ДАМУ: АҚТӨБЕ ОБЛЫСЫНЫҢ ТӘЖІРИБЕСІ

Аннотация. Мақала ферроқорытпа өндірісімен айналысатын кәсіпорындар қызметінің экологиялық аспектілерін зерттеуге, қалыптасқан мәселелерді анықтауға және олардың қоршаған ортаға теріс ықпалын төмендету үшін тиімді шешімдерді табуға бағытталған. Мақалада Ақтөбе облысының экологиялық жағдайына ерекше назар аударып, ферроқорытпалар өндірісіне байланысты экологиялық мәселелерге талдау жасалды. ҚР СЖРА Ұлттық статистика бюросының деректері негізінде атмосфераға шығарындылар мен су объектілеріне ластанушы за Өндірістің қоршаған ортаға теріс әсерін азайту мақсатында қалдықтарды қайта өңдеу және экологиялық бағдарланған технологияларды енгізу сияқты «Қазхром» ТҰК» АҚ филиалы – Ақтөбе ферроқорытпа зауытында қолданылатын инновациялық шешімдер қарастырылдытардың төгінділерін қоса алғанда, ағымдағы экологиялық көрсеткіштер зерттелді.

Түйінді сөздер: ферроқорытпа өндірісі, экологиялық мәселелер, Ақтөбе ферроқорытпа зауыты, ауаның ластануы, зиянды заттар шығарындылары, экологиялық зиянды азайту.

Eco-oriented development of ferroalloy production: the experience of Aktobe region

Abstract. The article is devoted to the analysis of environmental aspects of ferroalloy production enterprises, consideration of existing problems and search for possible solutions to reduce the negative impact. The article analyzes the environmental problems associated with the production of ferroalloys, with a special focus on the environmental situation of the Aktobe region. Current environmental indicators, including emissions into the atmosphere and discharges of pollutants into water bodies, are being investigated based on data from the Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan. The article considers innovative solutions used at the Aktobe Ferroalloy Plant, a branch of TNK Kazchrome JSC, such as waste recycling and the introduction of environmentally oriented technologies in order to minimize the negative impact of production on the environment.

Key words: ferroalloy production, environmental problems, Aktobe ferroalloy plant, air pollution, emissions of harmful substances, reduction of environmental damage.

Экоориентированное развитие ферросплавного производства: опыт Актюбинской области

Аннотация. Статья посвящена анализу экологических аспектов деятельности предприятий по производству ферросплавов, рассмотрению существующих проблем и поиску возможных решений для снижения негативного воздействия. В статье проведен анализ экологических проблем, связанных с производством ферросплавов, с особым акцентом на экологическую обстановку Актюбинской области. На основе данных Бюро национальной статистики АСПР РК исследуются текущие экологические показатели, включая выбросы в атмосферу и сбросы загрязняющих веществ в водные объекты. Рассматриваются инновационные решения, применяемые на Актюбинском заводе ферросплавов – филиале АО «ТНК «Казхром», такие как переработка отходов и внедрение экологически ориентированных технологий, с целью минимизации негативного воздействия производства на окружающую среду.

Ключевые слова: ферросплавное производство, экологические проблемы, Актюбинский завод ферросплавов, загрязнение воздуха, выбросы вредных веществ, снижение экологического ущерба.

Кіріспе

Ферроқорытпа өндірісі-жоғары сапалы болаттар мен қорытпаларды өндіру үшін шикізат қорын қамтамасыз ететін металлургия саласының негізгі элементтерінің бірі. Стратегиялық маңыздылығына қарамастан өнеркәсіптің бұл түрі қоршаған ортаға айтарлықтай әсер етуімен сипатталады [1, 2].

Саладағы ағымдағы жағдай. Соңғы жылдардағы мәліметтерге сәйкес, әлемдік ферроқорытпа өндірісі жыл сайын шамамен 35-37 млн тоннаны құрайды. Өндірілетін ферроқорытпалардың негізгі сегменті – феррохром, 2021 жылы әлемдік феррохром өндірісі 13,91 млн тоннаны құрады. Әлемдік феррохром нарығы 2021 жылы 18,52 миллиард долларға бағаланды және 2027 жылға қарай орташа есеппен 5,55%-ға өсіп, 25,61 миллиард долларға жетеді деп күтілуде [3]. Ферроқорытпа саласы – Қазақстанның отандық металлургиясының маңызды салаларының бірі. Өндірілетін ферроқорытпалардың көлемі, сұрыпталымы мен сапасы жөнінен Қазақстандық өнеркәсіп әлем бойынша көшбасшы және ең ірі экспорттаушылардың бірі ретінде техникалық дамыған мемлекеттер қатарынан орын алады [4, 5]. ҚР-дағы металлургиялық өндіріс компоненттерінің негізгі өндірушісі – «Қазхром» ТҰК» АҚ. «Қазхром» ТҰК» АҚ құрамындағы Дөң КБК, Ақсу ферроқорытпа зауыты және Ақтөбе ферроқорытпа зауыты технологиялық қағидат бойынша соңғы өнімнің алынуымен ұйымдастырылған.

Ақтөбе ферроқорытпа зауыты түрлі маркадағы феррохром, сонымен бірге, отқа төзімді бұйымдар, көмірқышқыл газықыршық тас, сұйық шыны, феррошаң секілді қосымша өнімдер өндіреді, қождарды қайта өңдейді. Дөң тау-кен байыту комбинатының хром кені (45-50% Cr_2O_3) – ферроқорытпаларды өндіру басты шикізаты [6].

Зерттеулер. Негізгі экологиялық мәселелер

Ферроқорытпа өндірісінің қоршаған ортаға айтарлықтай кері ықпалы да бар. Негізгі мәселелердің ішінде келесілерді атап өтуге болады:

1. Атмосфералық ауаның ластануы:

- шығарындылар, себебі ферроқорытпаларды өндіру кезінде атмосфераға зиянды заттар шығарылады: құрамында аморфты шыны фазасы, SiO_2 , Al_2O_3CaO , K_2O , MgO , хромшпинель (Mg, Fe) $(Cr, Fe, Al)_2O_4$, $MgO+Al_2O_3+Cr_2O_3$ және т.б. бар бейорганикалық шаң;

- газ тәріздес шығарындылар – күкірт қостотығы (SO_2), көміртегі тотықтары (CO, CO_2), азот тотықтары (NO_x) [7].

Атмосфералық ауаға ластанушы заттардың 65-і шығарылады, оның ішінде 8 маркерлік зат бар: құрамында кремний қостотығы бар бейорганикалық шаң (2909), құрамында кремний диоксиді бар бейорганикалық шаң (2908), құрамында кремний қостотығы бар бейорганикалық шаң (2907), азот қостотығы (0301); азот тотығы (0304); күкірт қостотығы (0330); күкіртсутек (дигидросульфид) (0333), көміртегі тотығы (0337). Қалған заттар маңызды емес [6].

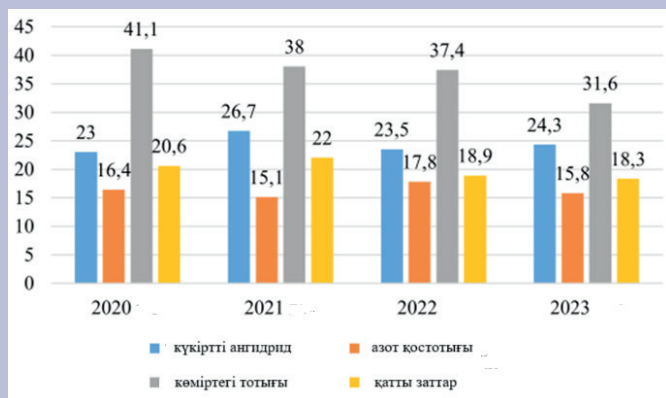
1-суретте Ақтөбе облысының атмосфералық ауасына негізгі ластанушы заттар шығарындыларының 2020-2023 жылдардағы динамикасы көрсетілген [8].

2. Су ресурстарының ластануы:

- салқындатқыш судың едәуір көлемін пайдалану;

- құрамында суспензияланған бөлшектер мен металл қосылыстары бар ағынды суларды ағызу.

Ферроқорытпа өндірісінде пайдаланылатын су негізінде тұйық циклмен айналып тұрады және өнеркәсіп кәсіпорындарының әр түрлі су көздеріне өндірістік ағындардың ағызылуы елеусіз. Мұндай су ағызулар кезінде ағынды су құрамында темір, қалайы, қорғасын, мырыш кадмий,



Сурет 1. Ақтөбе облысының атмосфералық ауасына 2020-2023 жылдардағы негізгі ластанушы заттардың шығарындылары, мың тонна.

Figure 1. Emissions of major pollutants into the atmospheric air of Aktope region in 2020-2023, thousand tons.

Рис. 1. Выбросы основных загрязняющих веществ в атмосферный воздух Актюбинской области за 2020-2023 годы, тыс. тонн.

мыс, никель, сияқты металдардың иондары болуы мүмкін. 1-кестеде Ақтөбе облысының 2022-2023 жылдары ағынды сулармен ластанушы заттардың төгінділерінің көлемі келтірілген [8].

Кесте 1

2022-2023 жылдардағы Елек өзенінің сапасы

Table 1

The quality of the Ilek River in 2022-2023

Таблица 1

Качество реки Илек за 2022-2023 годы

Су сапасының классы		Параметр-лер	2023 ж. концентрациясы, мг/дм ³
2022 жыл	2023 жыл		
4 класс	4 класс	Аммоний-ион	1,108
		Фенолы	0,0016
		Хром (+6)	0,059

3. Өндіріс қалдықтары:

- қождардың, шламдардың және басқа да қатты қалдықтардың түзілуі;

- қоймаларда және материалдарды қайта өңдеу кезінде пайда болатын ұйымдастырылмаған шығарындылар.

Қалдықтарды уақытша және тұрақты жинаған кезде келесідей факторлардың қоршаған ортаға ықпалы болуы мүмкін: шламдар, қалдық қоймалар, аршылған жыныстар үйінділерінің бетінен шаңдану кезінде; қалдықтар алаңдары ластанғанда атмосфералық жауын-шашын барысында ластанған ағындылар ағуы ықтимал; қоқыстың үйінділері салдарынан топырақтың ластануы, сондай-ақ қалдықтарды көметін орынға тасымалдау уақытында; қалдықтарды тұрақсыз шығару мезетінде бұл орындар шыбындардың дернәсілдерінің өсу орнына айналады, салдарынан санитарлық-бактериялық ластану қаупінің артуы мүмкін.

2023 жылы Ақтөбе облысында 68 628,62 мың тонна өнеркәсіптік қалдықтар пайда болды: тау-кен өндіру саласы – 68 160 410 тонна (99%), химия өнеркәсібі – 311 800 (0,5%), мұнай саласы – 156 410 (0,2%). Өнеркәсіптік қалдықтарды қайта өңдеу үлесі 18% – 12 291 660 мың тоннаны құрады [6].

Қалдықтарды басқару жүйесі барлық тау-кен кәсіпорындарында бар, ол қалдықтардың технологиялық циклінің барлық кезеңдерін қамтиды: қалдықтардың түзілуінің алдын алу және азайту, бақылау және есепке алу, жинау, жинақтау, қайтадан өңдеу, кәдеге асыру, тасымалдау, сақтау және жою. Мәселен, «Қазхром» ТҰК» АҚ филиалы – Дөң КБК-ның аршылған жыныстарын қоршаған ортаға теріс әсерін азайту үшін қазылған қарьер маңында орналастырады, бұл қалдықтардың үйінділерде жиналуын азайтуға себеп болады.

Ақтөбе ферроқорытпа зауытында қатты және паста тәрізді мұнай бар қалдықтарды, оның ішінде табиғи негізде пайдаланылған сорбенттерді, мұнаймен ластанған сүртілген шүберектерді және т.б. кәдеге жарату үшін «Костер-1М» қондырғылары пайдаланылады.

Сонымен қатар, жоғары көміртекті феррохромды балқыту кезінде алынған жоғары көміртекті қождан өңдеу арқылы тұтынушының сұранысына сәйкес 0-5, 5-20, 20-40 немесе 20-70 фракциялы қиыршық тастар алынады. Қиыршық тасты шығару мақсатында СТ 8618-1904-АО-06-2015 «Тазартылған феррохромның тұрақтандырылған қождарынан қиыршық тас пен құм алу» ұйымдастыру стандарты дайындалды [8].

Экологиялық зиянды азайту үшін кәсіпорындар бір-қатар инновациялық технологиялар мен іс-шараларды енгізуде. Құрамына «Қазхром» ТҰК» АҚ кіретін ERG-де кәсіпорындар өндірісінің қалдықтарымен байланысты қызметтер циклін орындауға маманданған ERG Recycling жаңа компаниясы құрылды. ERG Recycling тікелей қатысумен бірқатар қайта өңдеу және экологиялық бағдарланған жобалар жүзеге асырылды. 2021 жылы АФЗ-да іске қосылған газ тазарту шаңын брикеттеу жөніндегі жоғары технологиялық цех жарқын мысал болып табылады. Цехтың сапасы жоғары хром брикеттерін өндіру өнімділігі айына 4 мың тоннаға жетеді. Сондай-ақ кәсіпорын өз қажеттіліктері үшін ілеспе өндіріс ретінде құрылыс материалдарын (іргетас және қабырға блоктарын) шығарады. Жылына 200 000 тонна тұрақтандырылған қождар қайта өңделеді. Максималды өндіріс көлемі – 656 860 тонна, ең төменгі өндіріс көлемі – 378 558 тонна [6].

2023 жылы Ақтөбе қаласының топырақтың жай-күйіне «Қазгидромет» РМК бақылау жүргізді. Көктем, жаз және күз мезгілдерінде ауыр металдармен ластануын анықтау үшін топырақ сынамалары алынды (кесте 2) [8, 9].

4. Физикалық әсер: шу, діріл, иіс.

Өндірістегі діріл мен шудың ең маңызды көздері: шикіқұрам мен өндірістің өнімдерін тасымалдау және өңдеу; материалдарды ұнтақтау-ұсақтау үдерістері мен пирометаллургиялық үдерістер; желдеткіштер мен сорғыларды қолдану; автоматты дабыл жүйелерін іске қосу. Металлургиядағы иістің көздері: металл буы, органикалық майлар мен еріткіштер, ағынды суларды тазарту және қожды салқындату нәтижесінде бөлінетін, қышқыл газдар мен сульфидтер [10].

5. Ықтимал радиациялық қауіп.

Құрамында табиғи радионуклидтер бар шикізатты пайдалану. Қазақстан Республикасының қайталама шикізатты қайта өңдейтін Еуропа елдерінен айырмашы-

Кесме 2

Ақтөбе қ. топырағындағы ауыр металдардың 2023 жылғы концентрациясы, мг / кг

Table 2

Concentrations of heavy metals in the soils of Aktobe in 2023, mg/kg

Таблица 2

Концентрации тяжелых металлов в почвах г. Актөбе за 2023 год, мг/кг

Мезгіл	Ауыр металдар				
	Мыс	Қорғасын	Кадмий	Цинк	Хром
Көктем мезгілі	0,22-0,34	0,07-0,12	0,09-0,12	1,71-2,49	0,06-0,1
Жаз мезгілі	0,26-0,35	0,1-0,24	0,1-0,19	1,82-2,22	0,09-0,16
Күз мезгілі	0,31-0,46	0,16-0,25	0,1-0,2	1,87-2,37	0,1-0,15

лығы – бастапқы шикізат пайдалануы, бұл жағдай өз кезегінде радиоактивтіліктің көзі болып табылады. Дегенмен, отын мен қазба шикізатының көптеген түрлерінің құрамында табиғи болатын радиоактивті заттардың шығарындылары негізгі экологиялық мәселер қатарына жатпайды.

Ақтөбе облысы атмосферасының беткі қабатындағы радиоактивті түсулердің орташа тәуліктік тығыздығы 1,1-2,7 Бк/м² шегінде ауытқып отырады. Жауын-шашынмен түсулер тығыздығының орташа мәні 1,7 Бк/м² құрайды, бұл шама рұқсат етілген шекті деңгейден аспайды. 2023 жылы облыс аумағындағы радиациялық жағдайды бағалау мақсатында Санитариялық-эпидемиологиялық департаменті мониторинг шеңберінде елді мекендердің қоныстану аумағында гамма-сәулеленудің баламалы дозасының қуатын 6000 рет өлшеу жүргізді, жауын-шашын мен атмосфералық ауаға 408 радиометриялық зерттеулер жүргізілді. Белгіленген деңгейден асып кеткен шамалар анықталған жоқ. Ақтөбе облысы бойынша радиациялық жағдай тұрақты [8].

Қорытынды

Ферроқорытпа өндірісі – әлемдік экономиканың маңызды саласы, бірақ оның қоршаған ортаға әсері мұқият талдау мен шараларды қажет етеді. Заманауи технологияларды енгізу, үдерістерді оңтайландыру және экологиялық бақылау ластану деңгейін едәуір төмендетуге және өндірісті тұрақты етуге мүмкіндік береді. Өнеркәсіпті экологияландыру – бұл қажеттілік қана емес, сонымен қатар болашақ ұрпақ үшін табиғи ресурстарды сақтауға мүмкіндік беретін дамудың стратегиялық бағыты.

АЛҒЫС

Мақалада 2024-2026 жж. ғылыми, ғылыми-техникалық бағдарламалар бойынша бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде ЖТН - BR24992882 «Өңірдегі экологиялық жағдайды жақсартып отырып, өндірістік қалдықтарды қайта өңдеудің жаңа технологияларын әзірлеу» тақырыбындағы ғылыми-техникалық бағдарламаны іске асыру барысында алынған ғылыми зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Көпжасарова А.М. Ферроқорытпа өндірісі жұмысшыларының өндірістік ортасы мен еңбек үдерісінің факторларын бағалау (әдеби шолу). // Жас ғалым. 2022. № 20 (415). Б. 192-194 (орыс тілінде)
2. Проценко М.Ю. Темір-көміртекті балқымаларды пештен тыс өңдеу үшін конвертер және ферроқорытпа өндірістерінің қалдықтарын пайдалану. / М.Ю. Проценко, М.И. Воронько. // Донбасс экологиялық хабаршысы. 2021. №1. Б. 43-49 (орыс тілінде)
3. Калинганагар өнеркәсіптік кешеніндегі (Колумбия Округі) қуаты 96 000 тонна жоғары көміртекті феррохромды өндіру қондырғысын жасау. Алдын ала техникалық-экономикалық негіздеме Джаджнур, Одиша. Ұсынған: Indian Metals and Ferro Alloys Limited, M/s Global Tech Enviro Expert PVT. LTD, 2022 (ағылшын тілінде)
4. Сафаров Р. Ақсу ферроқорытпа зауытының қалдықтары элементтердің кеңістікте таралуы, қоршаған ортаға әсері, экономикалық әлеуеті [Қазақстан]. / Р. Сафаров, З. Берденов, Р. Урлибай, Ю. Носенко, З. Хроманова, З. Бексейтова және т.б. // PLoS ONE. 2023. №18 (4). Мақ. №e0283251 (ағылшын тілінде)
5. Ултаракон А. Хром өндірісінің қалдықтарынан өндірілген кальцийленген композиттік түйіршіктердің балқыту өнімдерін физика-химиялық зерттеу. / А. Ултаракон, Ю. Тастанова, Н. Садыков, А. Тастанова, З. Ержанова. // Ғылым. 2023. №7. Б. 386 (ағылшын тілінде)
6. «Ферроқорытпалар өндірісі» ең үздік қолжетімді техникалар жөніндегі анықтамалық Қазақстан Республикасы Үкіметінің қаулысы, Астана қ., 27.12.2023 (орыс тілінде)
7. Золочевский С.П. Металлургиялық комбинаттың агломерациялық цехының шығарындыларымен атмосфералық ауаның ластануын бағалау. / С.П. Золочевский, Л.Е. Подлипенская. // Донбасс экологиялық хабаршысы. 2022. №6. Б. 19-26 (орыс тілінде)
8. Қоршаған ортаның жай-күйі және Қазақстан Республикасының табиғи ресурстарын пайдалану туралы 2023 жылғы Ұлттық баяндама (орыс тілінде)

9. Чекмарева О.В. Ақтөбе ферроқорытпа зауытының әсер ету аймағындағы топырақ сапасының экотоксикологиялық сипаттамасы. / О.В. Чекмарева, М.Ю. Гарицкая, Т.В. Павлова. // ОМУ хабаршысы. 2015. №10 (185). Б. 448-450 (орыс тілінде)
10. Архипова А.В. Өндірістік үдерістердің тұрақтылығы мен қауіпсіздігі: оқу құралы: Н. Новгород, 2021, Б. 268 б(орыс тілінде)

REFERENCES

1. Kozhasarova A.M. Otsenka faktorov proizvodstvennoi sredy i trudovogo protsessa rabochikh ferrosplavnogo proizvodstva (literaturnyi obzor). / A.M. Kozhasarova. // Molodoi uchenyi. 2022. №20 (415). S. 192-194 [Kozhasarova A.M. Assessment of factors of the production environment and the labor process of workers in ferroalloy production (a literary review) / A.M. Kozhasarova. // Young scientist. 2022. №20 (415). P. 192-194] (in Russian)
2. Protsenko M.Yu. Ispol'zovanie otkhodov konvertornogo i ferrosplavnogo proizvodstva dlya vnepechnoi obrabotki zhelezouglerodistykh rasplavov. / M.Yu. Protsenko, M.I. Voron'ko. // Ekologicheskii vestnik Donbassa. 2021. №1. S. 43-49 [Protsenko M.Yu. The use of waste from converter and ferroalloy industries for furnace treatment of iron-carbon melts. / M.Yu. Protsenko, M.I. Voronko. // Ecological bulletin of Donbass. 2021. №1. P. 43-49] (in Russian)
3. Pre-feasibility report 96,000 tpa capacity of high carbon ferrochrome manufacturing unit At-KalingaNagar Industrial Complex, Dist.-Jajpur, Odisha. Submitted by: Indian Metals and Ferro Alloys Limited, By M/s Global Tech Enviro Expert PVT. LTD, 2022 (in English)
4. Safarov R. Spatial distribution of elements, environmental effects, and economic potential of waste from the Aksu ferroalloy plant [Kazakhstan]. / R. Safarov, Z. Berdenov, R. Urlibay, Y. Nossenko, Z. Shomanova, Z. Bexeitova et al. // PLoS ONE. 2023. №18 (4). Art. №e0283251 (in English)
5. Utlarakov A. Physical and Chemical Studies of Smelting Products of Calcinated Composite Pellets Produced from Chromium Production Waste. / Utlarakov A., Tastanov Y., Sadykov N., Tastanova A., Yerzhanova Z. // J. Compos. Sci. 2023. №7. P. 386 (in English)
6. Postanovlenie pravitel'stva Respubliki Kazakhstan «Spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnikam «Proizvodstvo ferrosplavov», g. Astana, 27.12.2023 [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)
7. Zolochevskii S.P. Otsenka zagryazneniya atmosfernogo vozdukha vybrosami aglomeratsionnogo tsekha metallurgicheskogo kombinata. / S.P. Zolochevskii, L.E. Podlipenskaya. // Ekologicheskii vestnik Donbassa. 2022. №6. S. 19-26 [Zolochevsky S.P. Assessment of atmospheric air pollution by emissions from the agglomeration shop of the metallurgical combine. / S.P. Zolochevsky, L.E. Podlipenskaya. // Ecological bulletin of Donbass. 2022. №6. P. 19-26] (in Russian)
8. Natsional'nyi doklad o sostoyanii okruzhayushchei sredy i ob ispol'zovanii prirodnnykh resursov Respubliki Kazakhstan za 2023 god [National Report on the state of the Environment and on the use of natural resources of the Republic of Kazakhstan for 2023] (in Russian)
9. Chekmareva O.V. Ekotoksikologicheskaya kharakteristika kachestva pochv, nakhodyashchikhsya v zone vliyaniya Aktyubinskogo zavoda ferrosplavov. / O.V. Chekmareva, M.Yu. Garitskaya, T.V. Pavlova. // Vestnik OGU. 2015. №10 (185). S. 448-450 [Chekmareva O.V. Ecotoxicological characteristics of soil quality in the zone of influence of the Aktobe ferroalloy plant. / O.V. Chekmareva, M.Yu. Garitskaya, T.V. Pavlova. // Bulletin of OSU. 2015. №10 (185). P. 448-450] (in Russian)
10. Arkhipova A.V. Ekologichnost' i bezopasnost' proizvodstvennykh protsessov: ucheb. posobie: N. Novgorod, 2021, S. 268 [Arkhipova A.V. Environmental friendliness and safety of production processes: studies. Manual: N. Novgorod, 2021, P. 268] (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Копжасарова А.М. Оценка факторов производственной среды и трудового процесса рабочих ферросплавного производства (литературный обзор). / А.М. Копжасарова. // Молодой ученый. 2022. №20 (415). С. 192-194 (на русском языке)
2. Проценко М.Ю. Использование отходов конвертерного и ферросплавного производств для внепечной обработки железоуглеродистых расплавов. / М.Ю. Проценко, М.И. Воронько. // Экологический вестник Донбасса. 2021. №1. С. 43-49 (на русском языке)
3. Предварительное технико-экономическое обоснование установки по производству высокоуглеродистого феррохрома мощностью 96 000 тонн в год в промышленном комплексе Калинганагар, округ Джаджпур, штат Одиша. Представлено компанией Indian Metals and Ferro Alloys Limited, компанией M/s Global Tech Enviro Expert PVT. LTD, 2022 (на английском языке)
4. Сафаров Р. Пространственное распределение элементов, воздействие на окружающую среду и экономический потенциал отходов Аксуского завода ферросплавов [Казakhstan]. / Р. Сафаров,

3. Берденов, Р. Урлибай, Ю. Носенко, З. Хроманова, З. Бексеитова и др. // PLoS ONE. 2023. №18 (4). Ст. №e0283251 (на английском языке)
5. Ультараков А. Физико-химические исследования продуктов плавки обожженных композитных окатышей, полученных из отходов хромового производства. / А. Ультараков, Ю. Тастанова, Н. Садыков, А. Тастанова, З. Ержанова. // Наука. 2023. №7. С. 386 (на английском языке)
6. Постановление правительства Республики Казахстан «Справочник по наилучшим доступным техникам «Производство ферросплавов», г. Астана, 27.12.2023 (на русском языке)
7. Золочевский С.П. Оценка загрязнения атмосферного воздуха выбросами агломерационного цеха металлургического комбината. / С.П. Золочевский, Л.Е. Подлипенская. // Экологический вестник Донбасса. 2022. №6. С. 19-26 (на русском языке)
8. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2023 год (на русском языке)
9. Чекмарева О.В. Экотоксикологическая характеристика качества почв, находящихся в зоне влияния Актюбинского завода ферросплавов. / О.В. Чекмарева, М.Ю. Гарицкая, Т.В. Павлова. // Вестник ОГУ. 2015. №10 (185). С. 448-450 (на русском языке)
10. Архипова А.В. Экологичность и безопасность производственных процессов: учеб. пособие: Н. Новгород, 2021, С. 268 (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Абилберикова А.А., «Қара және түсті металдар металлургиясы» ББ бойынша докторант, «Қарағанды индустриялық университеті» КЕАҚ (Теміртау қ., Қазақстан), abilberikova90@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0133-3005>

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

Тайжигитова М.М., «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасының аға оқытушысы, ғылым магистрі Қ. Жубанов атындағы Ақтөбе Өңірлік университеті КеАҚ (Ақтөбе қ., Қазақстан), kipma2020@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-2635-3431>

Есқалина Қ.Т., «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасының оқытушысы, техника және технологиялар магистрі Қ. Жубанов атындағы Ақтөбе Өңірлік университеті КеАҚ (Ақтөбе қ., Қазақстан), kuralai_escalina@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2804-7076>

Information about the authors:

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

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

Taizhigitova M., Master of Science, Department of Metallurgy and Mining, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov NCJSC (Aktobe, Kazakhstan)

Yeskalina K.T., Master of Engineering and Technology, Lecturer Department of Metallurgy and Mining, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov (Aktobe, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

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

Уахитова Б.Т., Ph.D, заведующий кафедры «Металлургия и горное дело» НАО Актюбинского Регионального университета им. К. Жубанова (г. Ақтөбе, Қазақстан)

Тайжигитова М.М., магистр наук, ст. преподаватель кафедры «Металлургия и горное дело» НАО Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова (г. Ақтөбе, Қазақстан)

Есқалина К.Т., магистр техники и технологии, преподаватель кафедры «Металлургия и горное дело» НАО Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова (г. Ақтөбе, Қазақстан)

Код МРНТИ 87.35.91:67.09.05

E.I. Kuldeyev, A.A. Ashimova, E.A. Bek, *M.B. Nurpeisova
Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

HIGH LAG FOR THE «GREEN KAZAKHSTAN» PROJECT

Abstract. Article examines key trends in implementation of the Green Kazakhstan project and the Concept for country's transition to a green economy. It provides overview of current situation regarding solid industrial waste management, with a focus on large industrial centers, which are the main sources of this waste. As potential solutions for closing waste loops, recovering secondary material resources, and developing industrial waste management system, article proposes establishment of production and technical complexes for waste processing. It also summarizes preliminary results of research conducted by Satbayev University on resource conservation and development of new technologies for producing in-demand materials. Utilization of waste from mining and metallurgical complexes is highlighted as a means of reducing environmental impact and ensuring efficient use of secondary raw materials.

Key words: green Kazakhstan, sustainable development, mining and metallurgical complex, production waste, processing, resource saving, new technologies, building materials.

«Жасыл Қазақстан» жобасының жоғары жолағы

Аннотация. Мақалада «Жасыл Қазақстан» жобасын іске асырудың негізгі тенденциялары және мемлекетіміздің осы экономикаға көшу Тұжырымдамасы қарастырылған. Қатты тұрмыстық қалдықтарды басқару саласындағы қазіргі жағдай ұсынылған, олардың көздері ірі өнеркәсіптік орталықтарда шоғырланған. Қалдықтар ағындарының жабылуын қамтамасыз етудің перспективалық шаралары ретінде қайталама материалдық ресурстарды алу, қалдықтарды қайта өңдеудің өндірістік-техникалық кешендерін құру арқылы өндірістік қалдықтарды басқару схемасын әзірлеу ұсынылады. Сатпаев Университетінің ресурстарды үнемдеу және сұранысқа ие құрылыс материалдарын алудың жаңа технологияларын әзірлеу бойынша жүргізген жұмыстарының алдын ала нәтижелері жинақталған. Тау-кен металлургия кешендерінің қалдықтарын қайта өңдеу қоршаған ортаға антропогендік жүктемені азайтуға және қайталама шикізатты ұтымды пайдалануды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: жасыл Қазақстан, тұрақты даму, тау-кен металлургия кешені, өндіріс қалдықтары, қайта өңдеу, ресурс үнемдеу, жаңа технология, құрылыс материалдары.

Высокая планка проекта «Зеленый Казахстан»

Аннотация. В статье рассмотрены основные тенденции реализации проекта «Зеленый Казахстан» и Концепции перехода нашего государства к этой экономике. Приведена текущая ситуация в сфере обращения с твердыми промышленными отходами, источники образования которых сосредоточены в крупных промышленных центрах. В качестве перспективных мер, обеспечивающих замыкание потоков отходов, получение вторичных материальных ресурсов и предлагаются развитие схемы обращения с промышленными отходами за счет создания производственно-технических комплексов по переработке отходов. Подведены предварительные результаты работ, проводимые Сатпаев университетом по ресурсосбережению и разработке новых технологий по получению востребованных материалов. Утилизация отходов горно-металлургических комплексов позволяет снизить техногенную нагрузку на окружающую среду и обеспечить рациональное использование вторичного сырья.

Ключевые слова: зеленый Казахстан, устойчивое развитие, горно-металлургический комплекс, отходы производств, переработка, ресурсосбережение, новая технология, строительные материалы.

Introduction

«Green» does not mean the spring color of awakening nature, «green» is not a reminder of the national currency of the United States, casually called «green» by the people. Here, it seems, everything comes together – it means young. In fact, the «green» economy deserves other definitions, more responsible and balanced in spiritual and moral terms: clean, like a newborn child, wise, like a mature and useful scientist for society, and finally, its main advantage is seen in the fact that it is the most reliable friend and partner of the environment.

Maybe you will say that such miracle in the totality of all above qualities does not exist in nature. Maybe we have really raised the bar for «Green Kazakhstan», but introduced the National Projects of the Republic, such as «Quality and affordable healthcare for every citizen «Healthy Nation», «Quality education», «Educated Nation», «Technological breakthrough through digitalization, science and innovation», «Strong regions are the driver of the country's development», «Sustainable economic growth aimed at improving the well-being of Kazakhstanis», «Green Kazakhstan», «Quality education «Educated nation», and you will understand what these projects represent.

«Green Kazakhstan» basically raises issues of efficient use of natural resources and improving the well-being of citizens through diversifying economy, creating new jobs, including: improving air quality, effective management of production and consumption waste, increasing the area of green spaces, instilling careful attitudes towards nature and wildlife, as well as modernization of ecological consciousness of the population [1].

The main content

By destroying the environment, modern society is destroying its own future. To ensure environmentally sustainable future, we first need:

- monitoring the state of the natural environment;
- regulation and prevention of industrial emissions;
- development and implementation of waste-free and resource-saving technologies.

According to the «Green Kazakhstan» Project, the key direction of economic development in the republic is to improve management system of technogenic mineral formations (TMF).

On the territory of the Republic, according to the State Cadastre, about 30 billion tons are stored in dumps, tailings ponds and storage tanks of mining enterprises. Industrial waste, including: 72% – dump rocks of overburden and substandard ores, 20% – dump tailings, 8% – other waste. With annual output of industrial waste of 1 billion tons no more than 100 million tons are usefully used. The rest pollutes the environment, gradually accumulating in it [2].

According to the bodies of State Control and Supervision of Natural Resources, share of waste used in the republic is 18-20%. For example, in 2007, the percentage of waste utilization was 16%, in 2008 – 18.98%, and in 2009 – 20%. However, this figure in the recent past in the industry of the former USSR was 29%. It remains extremely low compared to world practice. In Western Europe (France, Germany, Italy, England) this figure is up to 58%, in North America (USA, Canada) – up to 63%, in Japan – up to 87%, China – up to 37% [3].

Thus, accumulated waste is, on the one hand, the main environmental pollutant, and on the other hand, it represents valuable products that are potentially suitable for processing and reuse to produce commercial products with high added value. The main reason for progressive accumulation of waste in the country is the raw material orientation of our economy.

Currently, more than 22 billion tons of solid waste have been accumulated at 450 landfills in the country (Figure 1).

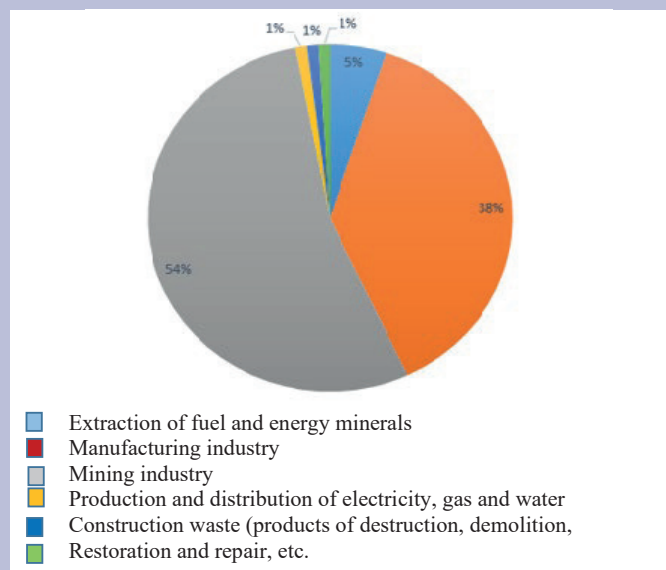


Figure 1. Main indicators of solid waste accumulated in the Republic by 2023.

Сурет 1. 2023 жылы республикада қатты қалдықтар жинақталуының негізгі көрсеткіштері.

Рис. 1. Основные показатели накопленных твердых отходов в республике к 2023 году.

Most of the technogenic mineral formations (TMF) are in Karaganda (29,4%), East Kazakhstan (25,7%), Kostanay (17%) and Pavlodar (14,6%) regions. Every year, the republic generates up to 20 million m³ of domestic waste, about one billion tons of industrial waste, including more than 150 million tons of toxic waste.

Technogenic mineral formations (TMF) are accumulations of mineral substances on the surface of the Earth or in mine workings, formed as a result of their separation from natural massifs and storage in the form of waste from mining, processing and metallurgical industries. The constant increase in the volumes of various types of waste generated in mining and processing industries and their storage in storage facilities and experience of using such objects in industry allows us to consider them as sources for obtaining secondary raw materials and building materials.

Purpose of the work is to consider possibility of integrated use of TMF in areas where mining waste is located based on their integrated use as secondary raw materials. Integrated use of raw materials and industrial products progress of metallurgical, mining and construction enterprises is pressing problem not only in Kazakhstan, but also in any economically developed state. As practice has shown, waste from these particular industries is produced in small quantities and

poses a serious economic threat. In these conditions, problem of environmentally rational use of industrial waste as secondary raw materials and development of scientific principles in the creation of new technological regulations for production of marketable products from industrial household waste becomes particularly acute. Thus, the introduction of environmentally friendly technology to produce building materials based on waste from mining and metallurgical complex is relevant for Kazakhstan.

To develop and implement effective environmental protection measures for waste management, it is necessary to have reliable information about their impact on natural ecosystems: surface, groundwater, air and land disturbance on an industry scale with increasing production volumes. The summarized materials will make it possible to obtain objective information about state of ecosystems in the region under study and to outline priority environmental protection measures, implementation of which will help reduce harmful impact on environment.

Intensification in this direction involves use of industrial waste instead of primary natural resources to reduce cost of building materials Project [4, 5]. In this direction, KazNRTU employees are conducting a large amount of research on production of building materials based on ash and slag waste.

Purpose of the work is to consider possibility of integrated use of TMF in areas where mining waste is located based on their integrated use as secondary raw materials.

Job objectives:

- ✓ *surveying of solid waste to create cadastral maps and determine their actual volumes;*
- ✓ *sampling of solid waste to study their composition with the participation of the customer;*
- ✓ *conducting research on solid waste in order to determine the direction of their disposal;*
- ✓ *improvement and implementation of technologies for the development of solid waste with complex extraction of valuable components.*
- ✓ *development of technology for producing effective building materials, such as: obtaining a silica component to produce portland cement; production of cinder blocks; production of cellular concrete; obtaining decorative and facing building materials; creation of foundations for highways.*

By burning coal, thermal power plants receive thermal energy and generate electricity. Negative side of this process is formation of by-products of coal combustion – fly ash and slag.

Composition of ash and slag material was determined by quantitative ratio of its constituent minerals, which depend on mineralogical composition of original part of fuel.

On the X-ray diffractometer DRON-3, X-ray diffraction pattern of the CHP-3 ash was obtained, which is shown in Figure 2.

As a result of the interpretation of this X-ray diffraction pattern, the following minerals were identified in the following amounts, in % of the crystalline phase: hematite Fe_2O_3 – 12.1%, quartz SiO_2 – 32.4%, sillimanite Al_2SiO_5 – 25.9%, mullite $Al_{4,95}Si_{1,05}$ – 29.6%.

Results of chemical analysis of ashes of TPP dumps from combustion of Ekibastuz coal are presented in Table. 1.

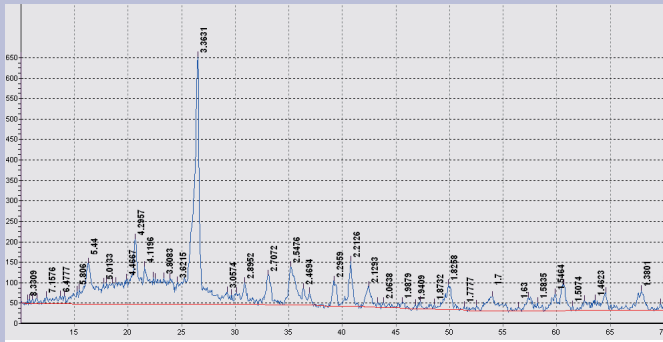


Figure 2. X-ray ash CHP-3.
Сурет 2. ЖЭО-3 рентген күлі.
Рис. 2. Рентгеновская зола ТЭЦ-3.

Table 1 clearly shows that main component contained in the ash is silicon and aluminum oxide (from 57.7 to 63.9%), there is also a high content of iron oxide, calcium oxide in samples from the ash dump is much less than in samples from the electrostatic precipitator. Most likely, free calcium oxide was converted into calcium carbonate by reaction with carbon dioxide dissolved in water, which washes away the ash through the slurry pipeline.

On figure 3 shows electromicroscopic image of fly ash, from which one can see:

- that particles are spherical, vitreous and hollow, ranging in size from 1 μm to 50 μm;
- that large particles contain smaller spherical particles in their cavities (shown by arrow);
- that on the surface of large particles there are, as a rule, tightly «glued» tiny granular balls.

One of the main indicators of raw materials is their granulometric composition.

Granulometric composition of the Ekibastuz SDPP by fractions is distributed as follows: up to 0.5 mm – 0.14%; 0.45 mm – 2.26%; 0.25 mm – 3.6%; 0.1 mm – 25.8%; 0.09 mm – 0.84%; 0.08 mm – 12.12%; 0.06 mm – 4.5%; 0.05 mm – 21.46%; 0.045 mm – 21.38%; 0.04 mm – 7.9%. In this case, piercing loss (LPP) is about 3% [6]. Table 2 shows distribution of phase composition of fly ash depending on its fractional composition.

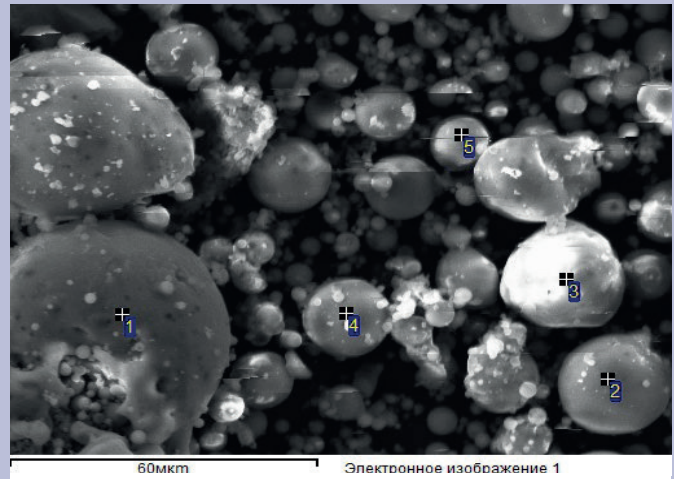


Figure 3. Microphotograph of ash fractions in a scanning electron microscope.
Сурет 3. Күл фракцияларының электронды микроскоптағы микрофотографиясы.
Рис. 3. Микрофотография зольных фракций в электронном микроскопе.

Knowledge of chemical composition of ASW is necessary condition for judging its properties and resolving issue of possibility of using it in various sectors of national economy. To determine chemical composition of ASW, ash samples were taken from electrostatic precipitators and ash disposal sites according to the methodology RD 34.09.603-88 «Guidelines for organizing control of the composition and properties of ash and slag sold to consumers by thermal power plants». Analysis of chemical composition of Ekibastuz ash gives idea of composition of mineral substances of coal, which is necessary to resolve issue of possibility of using it in various sectors of national economy. Data obtained indicate that ash and slag wastes belong to acidic type of ash. Acid ash has unstable chemical composition. They also do not have independent astringent properties, but when hardening intensifiers are added, they become astringent. Conducted studies confirmed production of ash-containing binder in the following content of ingredients, wt. %: Portland cement – 70-30, fly ash – 30-70, NeoLit-400 superplasticizer (top) – 0.3%.

Table 1
Results of chemical analysis of TPP ash dumps

ЖЭС күл үйінділеріне химиялық талдау нәтижелері

Результаты химического анализа золоотвалов ТЭС

Кесте 1

Таблица 1

Name of TPP, ash dumps and their elements	content, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	TiO ₂	SO ₃
Ekibastuz TPP	56,6	23,64	3,41	4,73	1,54	1,22	0,79	3,05
Ekibastuz State District Power Plant (SDPP)	63,9	25,50	0,80	5,70	0,10	0,90	1,20	0,20
Pavlodar CHPP	57,7	25,26	2,48	10,1	1,66	0,50	0,02	0,07
Almaty CHPP-3	57,7	29,6	1,1	6,24	0,35	0,03	-	1,3

Table 2

Distribution of phase composition of fly ash depending on its fractional composition

Кесте 2

Күлдің фракциялық құрамына байланысты фазалық құрамының таралуы

Таблица 2

Распределение фазового состава золы-уноса в зависимости от ее фракционного состава

Grid number sieves	Particle size, μm	Fraction maintenance on a sieve, %	Distribution of phase composition depending on fraction, %				
			Mullit	α - quartz	Sillimanite	Carbon	glass phase (occupied area, cm^2)
0,5	500	0,14	28	54	–	18	6
045	450	2,26	44	21	24	11	14
025	250	3,36					
01	100	25,8	46	18	28	8	14,5
009	90	0,84					
008	80	12,12	42	20	31	7	18
0063	63	4,5	47	17	29	7	20
005	50	21,46	50	21	29	–	22
0045	45	21,38	47	25	28	–	23
004	40	7,9	51	14	35	–	23

Invention relates to building materials and can be used as inorganic binder with a mineral additive in production of Portland ash cement from acid ash from thermal power plants [7, 8].

Thus, the processing and disposal of mining and metallurgical waste into construction materials is aimed at solving technological, environmental, social and economic problems in regions with developed mining and metallurgical industries. The development of technologies for the production of building materials based on technogenic waste, contributing to the development of the industrial and innovative potential of the state, careful attitude towards natural resources and the environment, should be considered as the most important scientific and practical task, the solution of which is directly related to environmental safety when disposing of billions of tons of waste in industrial regions [9, 10].

Expected effect (technological, economic, social and environmental):

Technological effect. As part of the implementation of the state program for industrial and innovative development of the Republic of Kazakhstan in the field of environmental protection, various methods of processing industrial waste through the introduction of waste-free technology are being considered.

The economic effect is the production of additional building materials and products.

Social effect: creation of new jobs in the vicinity of existing mining and metallurgical complexes due to the work of newly created solid waste recycling facilities; improvement of working conditions, since solid waste is located on the surface of the Earth.

Environmental effect – improvement of the environmental situation; reduction of new land areas allocated for dumps; reduction or elimination of costs associated with eliminating the environmental consequences of waste storage.

Conclusions

Thus, it can be argued that utilization of technogenic waste from mining and metallurgical industries into construction materials is aimed at solving environmental and social problems in regions with developed mining and metallurgical industries. Rational organization of waste recycling process in combination with efficient modern equipment makes it possible to obtain products from secondary raw materials at a cost 2-2,5 times lower than for similar products from primary raw materials, with comparable product quality.

Acknowledgments

Research was carried out with the financial support of Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No AR14871694 «Development of technology for processing ash and slag waste from a thermal power plant to produce popular building materials»).

REFERENCES

1. *Natsional'nyi proekt «Zelenyi Kazakhstan» Postanovlenie Pravitel'stva RK ot 12 oktyabrya 2021 goda №73 [National project «Green Kazakhstan» Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated October 12, 2021 №73] (in Russian)*
2. *Prospects for processing technogenic waste for the production of building materials. / Kuldeyev E.I., Nurpeissova M.B., Vek A.A., Ashimova A.A. // Mining Journal of Kazakhstan. 2023. №4. P. 57-64 (in English)*

3. *Proekt GF14871694 na 2022-2024 gody «Razrabotka tekhnologii pererabotki zoloshlakovykh otkhodov teplovoi elektrostantsii s polucheniem vostrebovannykh stroitel'nykh materialov» №263/30 ot 18.10.2022 [GF14871694 for 2022-2024 – «Development of technology for processing ash and slag waste from thermal power plants to produce popular building materials», dated October 18, 2022, №263/30] (in Russian)*
4. *Ashimova A., Kyldeyev E.I., Nurpeisova M.B. Processing of ash and slag waste from thermal power plants with production of building materials. // the 18th International Congress for Mine Surveying in Xuzhou, China from October 24th till October 29th 2023: China University of Mining and Technology (Beijing), 2023. – P. 248-252 (in English)*
5. *Waste management is one of the key directions development of «green» economy in Kazakhstan. / E.I. Kuldeyev, M.B. Nurpeisova, A.A. Bek, A.A. Ashimova. // Mine Surveying and Subsurface Use. №6. 2022. P. 67-75 (in English)*
6. *Mal'chik A.G. Izuchenie zoloshlakovykh otkhodov dlya ispol'zovaniya v kachestve vtorichnykh resursov. / A.G. Mal'chik, S.V. Litovkin. // Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2015. №9. S. 23-27 [Malchik A.G. Study of ash and slag waste for use as secondary resources. / A.G. Malchik, S.V. Litovkin. // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2015. №9. P. 23-27] (in Russian)*
7. *Patent RK na poleznuyu model' №8579 ot 27.10.2023. Sposob polucheniya zolosoderzhashchego vyazhushchego». / E.I. Kul'deev, M.B. Nurpeisova, Z.A. Estemesov, A.A. Bek, A.A. Ashimova, V.G. Lozinskii, 2 s. [Patent of the Republic of Kazakhstan №8579 for the utility model «Method for producing ash-containing binder». / E.I. Kuldeev, M.B. Nurpeisova, Z.A. Estemesov, A.A. Bek, A.A. Ashimova, V.G. Lozinsky dated October 27, 2023, 2 p.] (in Russian)*
8. *Patent RK na poleznuyu model' №8580 ot 27.10.2023. «Sostav zologazobetona neavtoklavnogo tverdeniya i sposob ego polucheniya». / E.I. Kul'deev, M.B. Nurpeisova, Z.A. Estemesov, A.A. Ashimova, V.G. Lozinskii, 2 s. [Patent №8580 of the Republic of Kazakhstan for the utility model «Composition and method of producing non-autoclaved ash concrete». / E.I. Kuldeev, M.B. Nurpeisova, Z.A. Estemesov, A.A. Bek, A.A. Ashimova, V.G. Lozinsky, dated October 27, 2023. 2 p.] (in Russian)*
9. *Study of agglomerite producibility from the ekibastuz coal ashes. / E.I. Kuldeyev, M.B. Nurpeisova, E.V. Fedorov, A.A. Ashimova. // Eurasian Mining. 2023. №2 P. 85-88 (in English)*
10. *Use of wastes of mining and metallurgical complexes for obtaining construction materials. / M.M. Begentayev, M.B. Nurpeisova, V.S. Fedotenko, A.A. Bek. // Eurasian mining. 2024. №1. P. 14-19 (in English)*

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Қазақстан Республикасы Президентінің «Жасыл Қазақстан» №73 Ұлттық Жобасы 12 қазан 2021 ж. (орыс тілінде)*
2. *Күлдеев Е.И. Құрылыс материалдарын өндіру үшін техногендік қалдықтарды қайта өңдеу перспективалары. / Е.И. Күлдеев, М.Б. Нұрпейісова, А.А. Бек, А.А. Әшімова. // Қазақстан тау-кен журналы. 2023. №1. Б. 57-64 (ағылшын тілінде)*
3. *«Танымал құрылыс материалдарын алу үшін жылу электр станцияларының күлі мен қож қалдықтарын өңдеу технологиясын әзірлеу» ГФ14871694 2022-2024 жылдарға арналған ғылыми жоба, №263/30, 18.10.2022 (орыс тілінде)*
4. *Әшімова А., Көлдеев Е., Нұрпейісова М.Б. Жылу электр станцияларының күл және қож қалдықтарын құрылыс материалдарын өндірумен өңдеу. // 2023 жылғы аралығындағы Қытайдың Сюйчжоу қаласында 18-ші халықаралық тау-кен маркшейдерлік конгресі: Қытай тау-кен және технология университеті (Пекин), 2023. – Б. 248-252 (ағылшын тілінде)*
5. *Көлдеев Е.И. Қалдықтарды басқару – Қазақстандағы «жасыл» экономиканы дамытудың негізгі бағыттарының бірі. / Е.И. Көлдеев, М.Б. Нұрпейісова, А.А. Бек, А.А. Ашимова. // Маркшейдер және жер қойнауын пайдалану. 2022. №6. Б. 67-75 (ағылшын тілінде)*
6. *Мальчик А.Г. Күл және қож қалдықтарын қайталама ресурстар ретінде пайдалану үшін зерттеу. / А.Г. Мальчик, С.В. Литовкин. // Қолданбалы және іргелі зерттеулердің халықаралық журналы. 2015. №9. Б. 23-27 (орыс тілінде)*
7. *Күл бар байланыстырғышты өндіру әдісі. №8579 Қазақстан Республикасының пайдалы модельге патенті» 06.03.2023 ж. / Е.И. Күлдеев, М.Б. Нұрпейісова, З.А. Естемесов, А.А. Бек, А.А. Әшімова, В.Г.Лозинский, 2 б. (орыс тілінде)*
8. *«Автоталмаған қатпайтын күлді бетонның құрамы және оны алу тәсілі. №8580 Қазақстан Республикасының 03.03.2023 жылғы пайдалы модельге патенті./Е.И. Күлдеев, М.Б.Нұрпейісова, З.А.Естемесов, А.А.Әшімова, В.Г. Лозинский, 2 б.(орыс тілінде)*

9. Кәлдеев Е.И. Екібастұз көмір күлінен аглопорит алуды зерттеу. / Е.И. Кәлдеев, М.Б. Нұрпейісова, Е.В. Федоров, А.А. Әшімова. // Еуразиялық тау-кен. 2023. №2. Б.85-88 (ағылшын тілінде)
10. Бегентаев М.М. Тау-кен металлургия кешендері қалдықтарын құрылыс материалдарында пайдалану. / М.М. Бегентаев, М.Б. Нұрпейісова, В.С. Федотенко, А.А. Бек. // Еуразиялық тау-кен. 2024. №1. Б. 14-19 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Национальный проект «Зеленый Казахстан» Постановление Правительства РК от 12 октября 2021 года №73 (на русском языке)
2. Кульдеев Е.И. Перспективы переработки техногенных отходов для производства строительных материалов. / Е.И. Кульдеев, М.Б. Нұрпейісова, А.А. Бек, А.А. Ашимова. // Горный журнал Казахстана. 2023. №1. С. 57-64 (на английском языке)
3. Проект ГФ14871694 на 2022-2024 годы «Разработка технологии переработки золошлаковых отходов тепловой электростанции с получением востребованных строительных материалов» №263/30 от 18.10.2022 (на русском языке)
4. Ашимова А., Кульдеев Е.И., Нурпейісова М.Б. Переработка золошлаковых отходов теплоэлектростанций с производством строительных материалов. // 18-й Международный маркшейдерский конгресс, Сюйчжоу: Китайский горно-технологический университет (Пекин), 2023. – С. 248-252 (на английском языке)
5. Кульдеев Е.И. Управление отходами – одно из ключевых направлений развития «зеленой» экономики в Казахстане. / Е.И. Кульдеев, М.Б. Нурпейісова, А.А. Бек, А.А. Ашимова. // Маркшейдерское дело и недропользование. 2022. №6. С. 67-75 (на английском языке)
6. Мальчик А.Г. Изучение золошлаковых отходов для использования в качестве вторичных ресурсов. / А.Г. Мальчик, С.В. Литовкин. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. №9. С. 23-27 (на русском языке)
7. Патент РК на полезную модель №8579 от 27.10.2023. Способ получения золосодержащего вяжущего». / Е.И. Кульдеев, М.Б. Нурпейісова, З.А. Естемесов, А.А. Бек, А.А. Ашимова, В.Г. Лозинский, 2 с. (на русском языке)
8. Патент РК на полезную модель №8580 от 27.10.2023. «Состав зологазобетона неавтоклавного твердения и способ его получения». / Е.И. Кульдеев, М.Б. Нурпейісова, З.А. Естемесов, А.А. Ашимова, В.Г. Лозинский, 2 с. (на русском языке)
9. Кульдеев Е.И. Исследование возможности получения аглопорита из золы экибастузских углей. / Е.И. Кульдеев, М.Б. Нурпейісова, Е.В. Федоров, А.А. Ашимова. // Горное дело Евразии. 2023. №2. С. 85-88 (на английском языке)
10. Бегентаев М.М. Использование отходов горно-металлургического комплекса для получения строительных материалов. / М.М. Бегентаев, М.Б. Нурпейісова, В.С. Федотенко, А.А. Бек. // Горное дело Евразии. 2024. №1. С. 14-19 (на английском языке)

Information about the authors:

Kuldeyev E., Vice-Rector of Satbayev University for Science and Corporate Development, Member of the Management Board, Candidate of Technical Sciences (Almaty, Kazakhstan), kuldeev_erzhan@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8216-679X>

Ashimova A.A., Ph.D student, Senior Researcher Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), ashimova.a@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2802-5459>

Bek A.A., Ph.D student, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), bek@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1671-297X>

Nurpeisova M.B., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Surveying and Geodesy» Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), marzhan-nurpeisova@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3956-5442>

Авторлар туралы мәліметтер:

Кәлдеев Е.И., техника ғылымдарының кандидаты, басқарма мүшесі, Satbayev University ғылым және корпоративтік даму жөніндегі проректоры (Алматы қ., Қазақстан)

Әшімова А.А., Ph.D докторанты, Satbayev University аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан)

Бек А.А., Ph.D докторанты, Satbayev University аға ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Нұрпейісова М.Б., техника ғылымдарының докторы, Satbayev University «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Кульдеев Е.И., к.т.н., член правления, проректор Satbayev University по науке и корпоративному развитию (г. Алматы, Казахстан)

Ашимова А.А., Ph.D докторант, старший научный сотрудник Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Бек А.А., Ph.D, докторант, старший научный сотрудник Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Нурпейісова М.Б., д.т.н., профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

KIOSH

13-я Казахстанская Международная Конференция и Выставка
ПО ОХРАНЕ ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ

28-30 мая 2025

Астана, Казахстан



ОРГАНИЗАТОРЫ

тел.: +7 727 258 34 34;
Выставка: Kulyash.Ablak@iteca.events
Конференция: Olga.Remorenko@iteca.events

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПАРТНЕР



Министерство труда и социальной защиты населения
Республики Казахстан

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И УСЛОВИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ в редакцию периодического печатного издания «Горный журнал Казахстана»

1. «Горный журнал Казахстана» принимает к публикации оригинальные статьи научного и научно-технического содержания, отражающие результаты исследовательской и научной деятельности, имеющие рекомендации к практическому применению решаемых вопросов, а также статьи обзорного характера, отвечающие критериям первичной научной публикации (полный перечень рубрик указан на сайте *minmag.kz*).

2. Основные требования к статьям, представленным для публикации в журнале:

- набор статьи производится в текстовом редакторе Word шрифтом Times New Roman 12 кеглем с полуторным интервалом;
- общий объем статьи, включая рисунки, таблицы, метаданные не должен превышать 8 печатных страниц;
- статьи (за исключением обзоров), должны содержать новые научные результаты;
- статья должна соответствовать тематике (см. п. 1), научному уровню журнала;
- статья должна быть оформлена в полном соответствии с требованиями, отраженными в п. 3;
- статья может быть представлена на казахском, русском или английском языке;
- в редакцию представляется окончательный, **тщательно выверенный вариант** статьи, исключающий необходимость постоянных доработок текста на этапах издательского процесса;
- перед отправкой статьи в редакцию журнала авторам необходимо проверить текст на предмет отсутствия плагиата.

3. Структура статьи должна содержать следующие разделы:

- код МРНТИ (ГРНТИ <http://grnti.ru/?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 (примерно 150...200 слов);
 - ключевые слова в количестве 6...10 устойчивых словосочетаний, по которым в дальнейшем будет выполняться поиск статьи (сокращения и аббревиатуры не допускаются): ключевые слова отражают специфику темы, объект и результаты исследования и предоставляются на казахском, русском и английском языках;
 - текст статьи, содержащий следующие разделы (введение, методы/исследования, результаты, обсуждение результатов, заключение/ выводы);
 - список использованных источников (10...12), в том числе не менее 3 зарубежных не ранее 2015 года, предоставляется на казахском, русском и английском языках.

РИСУНКИ должны иметь расширение графических редакторов CorelDraw, Photoshop, Illustrator и т. п.). Фотографии должны быть предельно четкими в графическом формате (TIFF, JPEG, CDR) с разрешением не менее 300 dpi. Все буквенные и цифровые обозначения на рисунках необходимо пояснить в основном или подрисовочном текстах. Надписи и другие обозначения на графиках и рисунках должны быть четкими и легко читаемыми. **ПОДПИСИ К РИСУНКАМ и ЗАГОЛОВКИ ТАБЛИЦ ОБЯЗАТЕЛЬНЫ.** Оформляются отдельным блоком на казахском, русском и английском языках.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ следует набирать в формульном редакторе MathTypes Equation или MS Equation, греческие и русские буквы в формулах набирать прямым шрифтом (опция текст), латинские – курсивом. **Обозначения величин и простые формулы в тексте и таблицах набирать как элементы текста** (а не как объекты формульного редактора). Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в последующем изложении. Нумерация формул сквозная.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ составляется в порядке цитирования и оформляется в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008. Ссылки на литературу в тексте отмечаются по мере их появления порядковыми номерами в квадратных скобках. Список приводится на казахском, русском и английском языках с указанием в скобках оригинала публикации. Образец оформления литературы и транслитерации размещен на сайте *minmag.kz*.

4. Условия приобретения журналов авторами.

С автором(ами) заключается договор о приобретении 10 (десяти) экземпляров журнала согласно установленным расценкам на текущий год, которые он(они) имеют право распространять среди горной общественности. После оплаты статья публикуется в номере журнала согласно очередности. Если существует необходимость опубликовать статью в одном из ближайших номеров журнала, авторы оплачивают ускорение в размере 50000 (пятьдесят тысяч) тенге.