

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 28.06.2022 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,
тел.: +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 «Эврика-Пресс»,
ТОО «Агентство «Евразия пресс»

Подписано в печать **30.05.2023 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»



INTERRIN

Главный редактор

М.Ж. БИТИМБАЕВ, mbitimbaev@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Л.А. КРУПНИК, leonkr38@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Х.А. ЮСУПОВ, yusupov_kh@mail.ru

Ответственный редактор

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

Редакционная коллегия:

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

М.Б. Барменшинова, канд. техн. наук

А.Б. Бегалинов, д-р техн. наук, профессор

А.А. Бекботаева, PhD

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

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

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

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

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

В.Ф. Демин, д-р техн. наук

А.И. Едильбаев, д-р техн. наук

Д.Р. Каплунов (Россия), д-р техн. наук, профессор

Ш.В. Каримов (Узбекистан), PhD

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

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

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

В.И. Нифадьев (Кыргызстан), д-р техн. наук, профессор

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

Е.Н. Ольшанский, член-корреспондент МАИН

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

Б.Т. Ратов, д-р техн. наук, профессор

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

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

П.Г. Тамбиев, канд. техн. наук

Ш.Н. Туробов (Узбекистан), PhD

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

Р.А. Хамидов (Узбекистан), PhD

АН. Шодиев, д-р техн. наук

Т.А. Чепуштанова, PhD

® – статья на правах рекламы

ⓘ – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

- 3** Колонка главного редактора
- 4** *TAKRAF*
Reducing downtime and improving production
- 6** *Олаф Друше, Акмарал Толысбаева, Джозель Бауэр, Ульрих Ментгес*
Как внутрикарьерное дробление и циклично-поточная технология могут сократить затраты и выбросы на крупных медных рудниках
- 10** Обзор по итогам экспозиции Mining World 2023
Новости ESAB в Центральной Азии
- 14** Warrior Edge 500 CX от ESAB на Kazakhstan Machinery Fair
Минерально-сырьевые ресурсы
- 15** **Б.Б. Амралинова, М.Ж. Битимбаев, М.С. Кунаев, С.Т. Солтабаева*
Роль науки в комплексном освоении и сохранении земных недр в историческом масштабе времени
Минерально-сырьевые ресурсы
- 24** *Е.Е. Жолдасбай, А.А. Аргын, *Н.К. Досмухамедов*
Инновационные технологии для утилизации отходов от сжигания угля – ядро устойчивого развития угольной отрасли
Обогащение полезных ископаемых
- 32** **У.В. Raiymbekov, P.A. Abdurazova, U.B. Nazarbek*
Thermodynamic analysis of enrichment of low-grade phosphate raw materials with organic acid
Маркшейдерское дело
- 40** **А.Б. Жиенбаев, Г.Ж. Жунусбекова, М.А. Жараспаев, М.Ж. Балпанова*
Исследование устойчивости горных выработок в зоне влияния очистных работ при повторной разработке месторождения
Маркшейдерское дело
- 48** **Ы. Жакыпбек, Т. Калыбеков, А.С. Эбен, С.В. Турсбеков*
Малеев кен орнының мысалында лазерлік сканерлеуді қолдану тиімділігі
Обогащение полезных ископаемых. Производственный опыт
- 54** **А. Доберсек, А. Курнарский, А. Райш*
Сгущение магнетитового концентрата на новом участке Полтавского ГОКа
Охрана труда и безопасность в горной промышленности
- 60** **А.Г. Акранбайева, Т.К. Isabek, B. Tolovkhan*
Basic measures to ensure safe mining operations at the Zhomart mine
Юбилей
- 66** 75 лет академику НАН РК Буктукову Николаю Садвакасовичу
- 68** Требования к оформлению и условия предоставления статей

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат
Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

*Уважаемые коллеги!
Дорогие читатели!*

Май месяц наполнен значительными событиями, которые влияют на наше настроение, готовность выразить свое мнение, принять участие в дискуссиях, и, наконец, выступить на страницах СМИ, потому что они не оставляют равнодушными нас ввиду своей непреходящей значимости или же важности в эти дни в нашем родном государстве.

Месяц начинается с 1-го Мая, который и в школьные годы, и в рабочей обстановке, и особенно теперь в пенсионных заботах напоминает нам о борьбе за свое светлое будущее пролетариата, которая и породила зарождение современных устоев демократии. Праздник в Казахстане под названием «День единства народов Казахстана» является логическим продолжением того, что было, в современном мире.

Грядет 7-ое Мая – День защитника Отечества, который в Казахстане наверняка нужен, потому что, даже будучи окруженным дружественными странами – нашими верными союзниками Россией, Китаем, Кыргызстаном, Узбекистаном и Туркменистаном, мы должны иметь боеспособную, вооруженную по последнему слову техники, обученную на современном уровне Армию. В ее рядах наша молодежь с контрактниками, солдаты и офицеры, которые в нужный момент готовы встать на защиту наших рубежей и мирный труд своих соотечественников, начиная со своих семей. Через такое тяжелое и знаковое испытание наша Армия прошла в январских событиях прошлого года и вместе с нашими союзниками из ОДКБ защитила нашу Родину от вражеской нечисти. Поэтому в этот день мы говорим: «Слава нашей Армии – нашим защитникам!» Армия наша является одновременно и конгломератом дружбы всех национальностей нашей страны, которые вместе стоят в боевом строю.

9-ое Мая – это день праздника со слезами на глазах, потому что нет семьи, которая не понесла утраты в этой войне, в которой против нашей большой Родины СССР объединились враги всех мастей и с Запада, и с Востока. Но советский народ ценой 27 млн жизней лучших своих сыновей и дочерей отстояли свою свободу. Казахстан внес неоценимую лепту в нашу общую Победу, отправив на фронт более 1200 тыс. воинов, из которых более 600 тыс., в том числе более 320 тыс. казахов остались навсегда на полях сражений в России, Украине, Белоруссии, республик Прибалтики и в освобожденных нами Польше, Чехословакии, Венгрии, Болгарии, Румынии, самого агрессора Германии, Австрии, Югославии, Албании, Норвегии, в партизанских отрядах Франции, Италии, Испании.

Имена Рахимжана Кошкарбаева, Маншук Маметовой, Али Молдагуловой, Хиуаз Доспановой, Тулегена Тохтарова, Султана Баймагамбетова, Нуркена Абдирова – всего их было 498 человек казахов, русских, татар, кыргызов, узбеков, башкир и многих других национальностей, ставших Героями Советского Союза – навсегда в нашей памяти как пример нам и будущим поколениям, что есть такая профессия – «Родину защищать».

Считаю, что для нас, казахстанцев, май 2023 г. значим и тем событием, которое прошло без фанфар и трубных звуков, но оно имеет отношение к человеку, с которым мы связываем надежды и ожидания. Исполнилось 70 лет нашему Президенту Токаеву Касым-Жомарту Кемелевичу. Поздравляя его на страницах с юбилейной датой, мы желаем, чтобы его мечты, воплотившиеся в жизненном кредо сделать Казахстан свободным, справедливым, новым по своей устремленности в будущее и благополучным по житейскому настроению народа воплотились в реальную жизнь!

У человечества развитие созданной им цивилизации строится на капитале, называемом «памятью поколений», потому что и техническая революция, и научный прогресс, и достижения на производстве зависят от людей и их способности не забывать уроков прошлого и помнить о тех, кто был всегда на острие событий.

В связи с этим утверждением хочу вспомнить, что в этом году исполнилось 90 лет со дня рождения одного из выдающихся инженеров прошлого столетия, бывшего директора Текелийского свинцово-цинкового комбината, заместителя Министра цветной металлургии Казахской ССР, заведующего отделом промышленности ЦК Компартии Казахстана Едильбаева Ибрагима Баймуратовича.

Меня с ним долгие годы связывали профессиональная общность мыслей, товарищеское взаимопонимание и многие достижения в области познания природы, ее возможностей.

Он был одним из тех, кто сумел воссоединить и коммунистическое прошлое, не отрекаясь и не охаявая его, с идеологией рыночной экономики. Могу уверенно сказать, что достижения предприятий ERG (а это «ССГПО», Донской ГОК, Аксуский и Актюбинский ферросплавные заводы, марганцевые месторождения Жайрема, Краснооктябрьское и Торгайское бокситовые месторождения, Павлодарский алюминиевый завод, Экибастузский уголь, ГРЭС в Экибастузе – Аксу) во многом связано с провидческим инженерным талантом Ибрагима Баймуратовича. Его пример должен вдохновлять молодых инженеров – сегодняшних капитанов бизнеса, помогая в их становлении и в развитии горно-металлургического комплекса родной страны.

Вот таким был месяц май. Пусть он всегда, как и все месяцы года и грядущих лет будет наполнен успехами и радостью!

REDUCING DOWNTIME AND IMPROVING PRODUCTION

TAKRAF X-TREME class sizers are a new generation of crushing equipment designed for hard rock applications.

When it comes to primary crushing, operators are faced with a choice: use compression type crushers such as a jaw or gyratory machine, or use a roller style crusher such as a sizer, double roll or feeder breaker. Compression type crushers boast a proven reliability in hard rock applications, while roller style crushers, which have typically been employed in coal mining, are lightweight, offer a lower profile and allow for drastically reduced plant size and overall complex footprint. Significant savings in capital expenditure (capex) from reduced civil works and reduced plant weight are driving operators around the world to include sizers in their primary crushing plants, even when the material is much harder and more abrasive than coal.

«However, – notes **Conor Mitchell**, TAKRAF’s Product Manager for Comminution, – *you have to ensure that the crusher you choose is designed for the hardest rock that*

will be fed into the crusher. We have seen all sorts of roller type crushers being put into hard rock applications, but fundamentally, these machines are designed for coal and soft rock. As a result, operators are suffering from major reliability issues with hard rock, causing significant downtime and production losses».

It was at this point that TAKRAF saw a specific need in the industry for a low profile crusher that would operate reliably in hard rock applications. Employing experience gained in hard rock mining over the company’s near 300-year history, TAKRAF developed a new generation of sizer that fills this need: the X-TREME class sizer.

«When we developed the TAKRAF X-TREME class sizer, our main focus was where the coal-class machines were lacking: aggressive engagement with the rock and a robust torque train», – Mitchell said.



TAKRAF’s uniquely designed rhomboid tooth configuration allows even large rock pieces to be engaged and crushed



Crushing segments for an X-TREME class machine

The tooth configuration of the X-TREME class sizer is one of the principal differences in TAKRAF's product. TAKRAF's patented rhomboid tooth configuration allows the feed material to fall deeper in between the rolls, allowing the sizer's teeth to grip large rocks.

Once the rock is fully engaged, the machine then needs to be able to develop and deliver the force required to break the rock. Each component of the crushing train in the TAKRAF X-TREME class sizer is designed to transmit as much force as possible. The crushing segments are locked into the rolls via large shrink fit keys. The keys are far away from the centerline of the shaft, meaning the shaft diameter is as large as possible. The large shafts allow for larger and heavier duty bearings. Gearboxes are selected using high application factors and motors are crusher duty with very high breakdown torque.

The industry is taking note of TAKRAF's X-TREME class range, with sizer references steadily growing around the world and across various applications, including hard rock up to 225 MPa. Several operators are even retrofitting their existing plants to include a TAKRAF machine in order to reduce downtime, increase

production and improve their bottom line. «The sizer works well in retrofits because it is smaller and lower profile than other crushers so it naturally fits into the existing machine pocket of the structure».

TAKRAF's complete range of sizers covers primary, secondary and tertiary sizing applications, from standard to X-TREME class machines, with throughputs of 17000 t/h and beyond.

About TAKRAF Group

TAKRAF Group, through its established and well-known brands, TAKRAF and DELKOR, provides innovative technological solutions to the mining and associated industries. We leverage our experience, acquired over more than a century, to provide equipment, systems and services that best satisfy our clients' mining, comminution, material handling, liquid/solid separation and beneficiation requirements. Owners and operators around the world trust our engineered solutions to lower the total cost of ownership and reduce environmental impact by improving efficiency with safe and reliable equipment. For sustainable solutions backed by expert service you can rely on TAKRAF Group.

Visit us at www.takraf.com or e-mail info@takraf.com.

Innovation out of tradition – It pays to talk to a specialist!

Олаф Друше
Акмарал Толысбаева
Джозель Бауэр
Ульрих Ментгес
FLSmidth Mining Technologies

КАК ВНУТРИКАРЬЕРНОЕ ДРОБЛЕНИЕ И ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МОГУТ СОКРАТИТЬ ЗАТРАТЫ И ВЫБРОСЫ НА КРУПНЫХ МЕДНЫХ РУДНИКАХ

Аннотация: ускоряется тенденция к сокращению выбросов и переходу на возобновляемую энергию. Сокращение выбросов CO₂e – эквивалента станет настоящим поворотным моментом в стремлении горнодобывающих компаний к долгосрочной устойчивости и производительности. Горнодобывающие компании должны производить металлы ответственным образом, будь то за счет сокращения выбросов, технологических инноваций или безопасных методов работы. Учитывая обязательства ESG (природоохранные, социальные и управленческие риски), тенденции затрат и неустойчивое рыночное давление, с которыми в настоящее время сталкиваются горнодобывающие компании, дробление и циклично-поточная технология в карьере (ЦПТ) представляется специально разработанной концепцией для решения или смягчения по крайней мере некоторых из этих проблем. Следствием этого является переход на электрические и непрерывные системы. Переход на внутрикарьерную систему дробления и транспортировку на медном руднике в Казахстане снизит потребление дизельного топлива на 93% по сравнению с нынешними перевозками на базе самосвалов. Это сократит выбросы CO₂e – эквивалента рудника категории 1 на 73%, а также снизит затраты на добычу на 15%.

Ключевые слова: циклично-поточная технология и дробление в карьере, ЦПТ, выбросы категории 1, ответственная добыча полезных ископаемых.

CO₂e (CO₂ – эквиваленты) – это единица, используемая для описания воздействия ряда парниковых газов на парниковый эффект.



1. ВВЕДЕНИЕ

В будущем ресурсы неизбежно будут добываться глубже и с более низким содержанием, чем сегодня. Чтобы это стало возможным в нынешних условиях, количество самосвалов должно будет значительно увеличиться из-за увеличения расстояния перевозки и связанного с этим увеличения времени цикла, связанного с более глубокими карьерами. С увеличением количества самосвалов увеличивается трудоемкость и расход топлива. Эти факторы способствуют более высоким эксплуатационным расходам карьера, использующих автомобильные перевозки. Непрерывные системы ЦПТ привлекают внимание, так как признано, что они могут предложить многочисленные преимущества по сравнению с традиционными системами грузовых перевозок. Самосвалы являются крупнейшим источником выбросов в карьерах (Mohammadi, Hashemi, & Moosakazemi, 2011).

2. ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ (ЦПТ)

Внутрикарьерное дробление и циклично-поточная технология – это общий термин, обозначающий более непрерывный процесс добычи. Полумобильная установка первичного дробления расположена близко к забою с целью уменьшения размера материала, чтобы его можно было транспортировать, а не перевозить самосвалами. Решающим фактором, стоящим за этим, является то, что затраты на транспортировку являются наиболее значительными затратами в горнодобывающей промышленности. Непрерывные системы, оснащенные конвейерами, значительно экономичнее, чем грузовые автомобили (Braun, Hennig, & Lottermoser, 2017).

При открытой добыче мягких пород роторный экскаватор выполняет задачи по рыхлению и погрузке непосредственно на месте, так как добыча не требует взрывных работ, а прочность материала на сжатие низкая. Дальнейшая транспортировка материала осуществляется с помощью ленточных конвейеров.

При открытой добыче твердых пород материал в основном получают из горной породы буровзрывными работами. Затем экскаваторы выполняют задачу загрузки взорванной руды, подаваемой на мобильную или полумобильную дробильную установку.

В целом, существует два типа доступных систем ЦПТ:

Мобильная – в этой конфигурации дробилка устанавливается на гусеничном ходу, чтобы следовать за ковшем прямо у забоя. Полностью мобильная система устраняет необходимость в карьерных самосвалах и, следовательно, имеет гораздо больший потенциал для снижения эксплуатационных расходов по сравнению с двумя другими типами систем ЦПТ. Дробилка следует за ковшем, предпочтительно с электрическим приводом, по мере продвижения забоя, и поэтому необходим подвижный сегмент конвейера, соединяющийся со смещаемым конвейером. Во мно-

гих случаях подвижный самовыравнивающийся конвейерный мост имеет преимущество, поскольку он легче по весу и имеет гусеницы на каждом конце, что обеспечивает большую гибкость, чем тележка с ленточным транспортером.

Полумобильная – в этом случае экскаваторы загружают самосвалы, но самосвалы перемещаются только на короткое расстояние до дробильной станции. Это уменьшает размер парка самосвалов, особенно если дробилку периодически перемещают ближе к забою, а не оставляют в фиксированном месте на весь срок службы карьера. Это основано на принципе снижения веса при транспортировке. Собственная масса самосвала составляет примерно 35-39% от полной массы автомобиля. Это уже является недостатком на плоской поверхности, но становится дорогостоящей проблемой при движении по уклону (Oberrauner & Turnbull, 2013).

Дробленый материал транспортируется от выхода через рамповый конвейер. В зависимости от характеристик материала, включая распределение по размерам, насыпную плотность и влажность, рамповый конвейер может работать с уклоном от 5° до 18°. Это значительно больше, чем у дороги для грузовых автомобилей, максимальный уклон которой составляет всего 10% (Soofastae, Karimpour, Knights, & Kizil, 2018).

Какой тип системы предпочтительнее, зависит от множества факторов, но очевидно, что существует компромисс между затратами и гибкостью. Все первичное оборудование, используемое в работе ЦПТ, имеет электрический привод (дробилки, конвейеры и разгрузочные устройства), что снижает выбросы CO₂e и повышает эффективность использования ресурсов (Norgate & Naque, 2013).

3. КОНКРЕТНЫЙ ПРИМЕР: МЕДНЫЙ РУДНИК В КАЗАХСТАНЕ

В рамках исследования компания FLSmidth смогла провести оценку энергоэффективности для открытого карьера и технологий добычи, сравнивая непрерывное (поточное) и прерывистое (циклическое) использование оборудования. Для этого полный процесс добычи разбивается на «n» частичных процессов, каждый из которых содержит процесс дробления и/или транспортировки (Raaz & Mentges, 2011).

Преимущества ЦПТ были перечислены для медного рудника в Казахстане с годовой производственной мощностью около 40 миллионов тонн. В рамках исследования медное месторождение было интенсивно изучено и спланировано с учетом использования ЦПТ. В настоящее время карьер открыт, и в ближайшей перспективе использование полумобильных дробильных установок.

При среднем расстоянии транспортировки (плечо откатки) 0,75 км и глубине карьера 670 м эта работа с использованием самосвалов и экскаваторов потребляет около 50 миллионов литров дизельного топлива в год. Мы определили, что, перейдя на систему ЦПТ

(циклично-поточная технология), карьер получит значительные финансовые и экологические преимущества.

Для достижения требуемой производительности было запланировано строительство двух взаимно резервирующих дробильных установок производительностью 8000 т/ч каждая. Полумобильная конструкция установки позволит значительно сократить количество дизельных перевозок, в результате чего годовое потребление дизельного топлива снизится на 93% и составит всего 3,7 млн литров. И хотя использование ленточных конвейеров увеличивает общее потребление электроэнергии предприятием, годовые выбросы CO₂е все равно снизятся примерно на 99500 тонн по сравнению с перевозками на дизельном топливе: сокращение на 73%.

Долгосрочные тенденции в открытой добыче представляют собой проблему для горнодобывающих компаний, стремящихся сократить выбросы. Карьеры становятся все глубже и извлекают более низкое содержание полезных ископаемых, чем в прошлом. Это означает, что для поддержания уровня добычи необходимо транспортировать большее количество материала на большие расстояния с более медленным временем цикла. Поэтому размер парка грузовых автомобилей должен увеличиваться; численность персонала и потребление топлива также будут расти. Эти факторы, естественно, приведут к увеличению как ОПЕХ (операционных расходов), так и выбросов CO₂е. В этих условиях ЦПТ привлекает все большее внимание как проверенное решение этих проблем.

4. ПРЕИМУЩЕСТВА

Одним из основных преимуществ систем ЦПТ является их способность снижать эксплуатационные расходы и выбросы, что соответствует текущим отраслевым целям.

Сама по себе система ЦПТ, в зависимости от местного источника электроэнергии, практически не содержит выбросов углеводородов, менее трудоемка и более энергоэффективна, чем обычные грузовые перевозки. Соотношение перемещенного материала к общему перемещенному весу для карьерного самосвала грузоподъемностью 327 тонн составляет почти 1:2,6, что означает, что процент перемещенного материала составляет менее 40% за одну поездку туда и обратно. Средний наземный конвейер производительностью около 10000 т/ч и длиной 1000 м при скорости ленты 5 м/с обеспечивает более 80% перемещаемого материала при соотношении 1:1,2 перемещаемого материала к общему перемещаемому весу без порожних поездок (Carter, 2023). Кроме того, конвейерная лента приводится в движение электродвигателями, энергоэффективность которых составляет около 95% (Soofastaei, Karimpour, Knights, & Kizil, 2018).

Более того, последние технологические усовершенствования в конструкции конвейеров, такие как недавно разработанный рельсовый конвейер (RRC – Rail Running Conveyor) и его компоненты, обеспечивают повышенную гибкость систем ЦПТ, позволяя

приспосабливать их к различным планировкам горных работ.

ЦПТ уменьшает количество самосвалов в карьере и, следовательно, снижает интенсивность движения. Необходимость в меньшем количестве операторов уменьшает число людей, подвергающихся опасности, а также снижает вероятность человеческих ошибок. Кроме того, уменьшение количества самосвалов приводит к снижению образования пыли. Преимуществом для электрических карьеров в целом является снижение местных выбросов NOx (оксида азота).

Системы ЦПТ также имеют гораздо больший срок службы, чем парк самосвалов и экскаваторов, требуют меньших инвестиций в течение всего срока службы и, как следствие, больше подходят для проектов с длительным сроком эксплуатации.

5. ОГРАНИЧЕНИЯ

Во многих случаях эти системы требуют более высоких первоначальных капитальных затрат, чем автопарки, но их период окупаемости может быть компенсирован значительно более низкими эксплуатационными затратами. Однако, если установка проходит по плану, значительное снижение операционных затрат за счет минимизации затрат на техническое обслуживание и топливо, а также высокая эксплуатационная готовность могут означать, что эти системы являются разумной инвестицией в долгосрочной перспективе (Nehring, Knights, Kizil, & Hay, 2018).

Системы ЦПТ представляют собой сложные последовательно соединенные системы. Простой любого из компонентов системы приведет к отключению системы и остановке движения материалов. Сюда входят как потери доступности из-за технического обслуживания, так и потери использования из-за перемещения уступа или отвального конвейера.

Техническое обслуживание дробильной установки и конвейера обычно требует остановки всего завода. Здесь более важным является адекватное планирование технического обслуживания. Это время простоя компенсируется более высоким средним временем безотказной работы ЦПТ по сравнению с самосвалами, поскольку система ЦПТ, по сути, автоматическая, работает круглосуточно и требует только персонала для контроля. Нет потери времени, например, из-за смены водителей самосвалов.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дробление в карьере и транспортировка имеют несколько разновидностей. Полумобильные дробильные установки, питающиеся от карьерных самосвалов, обеспечивают определенную гибкость, в то время как полностью мобильные, не требующие использования самосвалов при выполнении горных работ, вероятно, обеспечивают наибольшую экономию затрат, но требуют очень детального предварительного планирования. Какая форма ЦПТ подходит для специалистов, имеющих реальные знания об успешной работе

ЦПТ, должен оценивать каждый конкретный горнодобывающий объект. Однако внедрение систем ЦПТ на открытых горных работах требует комплексного планирования для адекватного решения практических вопросов. FLSmidth предлагает своим клиентам комплексные консультационные услуги по планированию горных работ и переработке. Задача ЦПТ состоит в том, чтобы найти правильное мышление на стороне заказчика, чтобы включить ЦПТ в долгосрочное и краткосрочное планирование горных работ, управление остановками и техническим обслуживанием, а также интегрировать его в производственную деятельность. Разработка карьера может или должна быть спланирована заранее, чтобы благоприятствовать типичным операциям ЦПТ с транспортными рампами и меньшим количеством дорог или другой инфраструктуры для самосвалов.

В целом, ЦПТ предлагает более безопасную, экономичную и менее зависимую от ископаемого топлива альтернативу традиционным грузовым перевозкам. Вместо огромного парка самосвалов, который потребовался бы для этой операции, полумобильная дробилка и связанные с ней конвейеры, транспортирующие материал на обогатительную фабрику, получают материал от самосвала меньшего размера. Эта новая система не только снижает потребность в регулярном техническом обслуживании, таком как шины, фильтры и смазочные материалы, но и сокращает расход топлива примерно на 70%.

Более 20 лет компания FLSmidth проводила исследования, сравнивая ЦПТ с традиционными методами использования самосвалов и экскаваторов. Очень часто сравнения показывали более высокую энергоэффективность, более низкие выбросы CO₂ и экономические преимущества ЦПТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Braun, T., Hennig, A., & Lottermoser, B. G. (27. Juni 2017). *Необходимость устойчивого распространения технологий в горнодобывающей промышленности: Достижение использования систем ленточных конвейеров в немецкой отрасли разработки карьеров твердых пород. Журнал «Устойчивое горное дело».* – С. 24-30. Картер, Р. А. (5. Май 2023). *Более пристальный взгляд на ЦПТ. Системы дробления и транспортировки ЦПТ обеспечивают повышенную гибкость в соответствии с требованиями площадки.:* <http://www.womp-int.com/story/2022vol08/story024.htm> abgerufen.
2. Mohammadi, M. R., Hashemi, S. A., & Moosakazemi, S. F. (2011). *Обзор системы дробления и транспортировки в карьере (ЦПТ) и ее пример в медной промышленности. Первый Всемирный медный конгресс.*
3. Неринг, М., Найтс, П., Кизил, М. и Хей, Е. (3. Februar 2018). *Сравнение подходов к стратегическому планированию горных работ для внутрикарьерного дробления и транспортировки, а также систем грузовик/экскаватор. Международный журнал горной науки и техники.* – С. 205-2014.
4. Norgate, T., & Haque, N. (3. Januar 2013). *Воздействие на парниковые газы технологий ЦПТ и рудосортировки. Minerals Engineering, S. 13-21.*
5. Oberrauner, A., & Turnbull, D. (2013). *Основы внутрикарьерного дробления и транспортировки (ЦПТ). Sandvik Mining Systems.*
6. Raaz, V., & Mentges, U. (2011). *Сравнение энергоэффективности и выбросов CO₂ при грузовых перевозках и дроблении и транспортировке материалов в карьере: Методы расчета и тематические исследования. Эссен, Германия: ThyssenKrupp Fördertechnik.*
7. Soofastaei, A., Karimpour, E., Knights, P., & Kizil, M. (2018). *Энергоэффективные операции погрузки и транспортировки. К. Авуа-Оффей, Энергоэффективность в горнодобывающей промышленности (S. 121-146). Чам, Швейцария: Springer International Publishing.*

Рады предоставить подробную информацию по следующим контактам:

ТОО «FLSmidth Industrial Solutions Kazakhstan»

Республика Казахстан, г. Алматы

ул. Рубинштейна, 48, 5 этаж

Тел: + 7 727 352 74 77

murat.yesmukanov@flsmidth.com

ОБЗОР ПО ИТОГАМ ЭКСПОЗИЦИИ MINING WORLD 2023

Сегодня развитие недр – одна из приоритетных областей политики Казахстана, и региональные добывающие предприятия вместе с государством ищут возможности для роста и расширения. В рамках масштабного проекта Mining World Russia, свой потенциал раскрыли новые игроки рынка: российские производители, поставщики и преемники глобальных брендов.

По итогам экспозиции вместе с индустриальным агентством Маркетинг от Тимченко редакция издательства «Горный журнал Казахстана» представляет обзор по самым знаковым для горнодобывающей и горнообработывающей отраслей участникам, многие из которых уже успели зарекомендовать себя в Казахстане.



Первым не только в программе индустриальной экскурсии, но и по темпам роста в 2022 году стал завод **Металлист**. Уникальное и одно из крупнейших российских предприятий чёрной металлургии ведёт свою историю с апреля 1962 года. В 2022 году (по сравнению с 2021 годом) отгрузка готовой продукции завода увеличилась на 56%, что составило более 1,5 миллиарда рублей выручки. Выпуск новой продукции увеличился в 3 раза.

«80% оборудования, которое сегодня работает на горнометаллургических предприятиях – европейского производства. Это стало большой проблемой для отрасли в прошлом году, когда тех-

ническая и сервисная поддержка, обслуживание и замена запасных частей стали невозможны. Наш завод помогает решить эту проблему. Сегодня в ассортименте выпускаемой нами продукции представлены запасные части для дробильно-размольного оборудования Metso, Sandvik, Telsman, Norberg и других производителей. В общей сложности за прошлый год мы освоили производство 163 новых изделий. Среди них даже блок цилиндров для двигателей внутреннего сгорания, который представлен на стенде, а также мост для самосвалов Komatsu. Важно отметить, что мы не «копируем» технологию, а стремимся создать новый – более технологичный продукт,

дорабатываем его совместно с заказчиками на базе обратной связи, исходя из их задач», – прокомментировал **Виктор Жигалкин, коммерческий директор ОАО «Металлист»**.

С уходом европейских производителей импортозамещение заиграло новыми красками, однако для его жизнеспособности недостаточно одного лишь предложения. Многие российские предприятия занимаются наращиванием локальных промышленных мощностей уже давно. Так, компания **НПО «РИВС»**, созданная более 30 лет назад и поставившая перед собой главную цель – раз-

работать и внедрить отечественные решения, соответствующие мировому уровню, производит обогатительное оборудование премиум сегмента, которое всегда успешно конкурировало с европейскими брендами. Сегодня в числе заказчиков НПО «РИВС» такие крупнейшие компании, как Николаевская обогатительная фабрика, Актюбинская медная компания, АО «ГМК «Казахалтын» и многие другие. О том, как изменилась отрасль за последний год, новом лице конкурента и условиях для импортозамещения **рассказал генеральный директор НПО «РИВС» Анатолий Хасянов:**



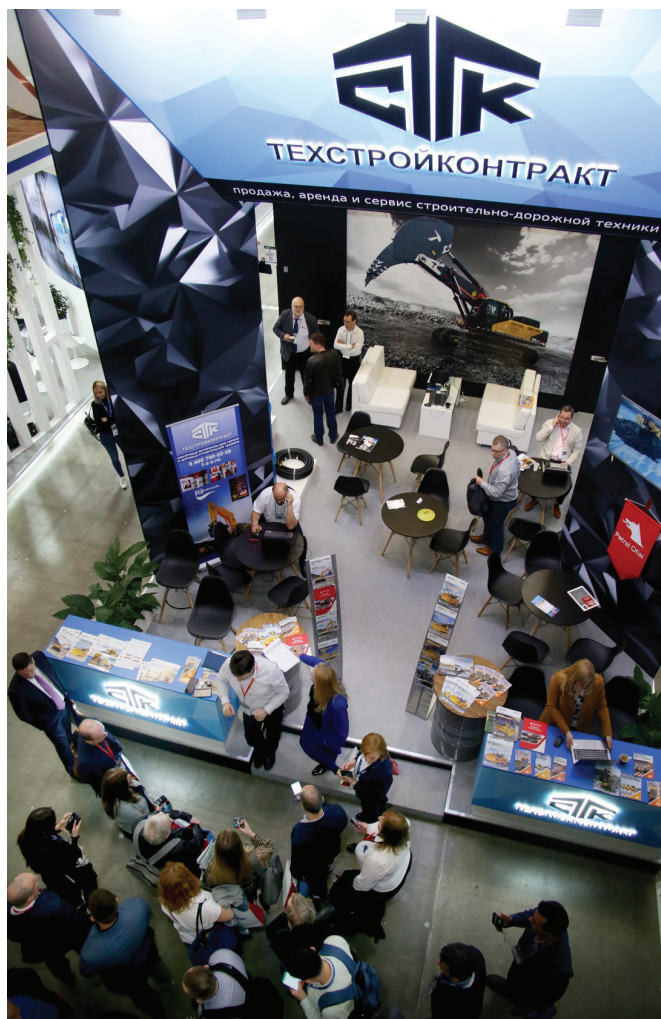
«Сегодня на рынке сложилась уникальная ситуация, которая открывает перед российским производителем большие перспективы, а вместе с этим и подводные камни. В России массово хлынули китайские и турецкие компании с оборудованием непроверенного качества в низкой ценовой категории, и такая ничем пока необоснованная разница в стоимости сильно смущает текущих участников рынка. В нашей нише переработки полезных ископаемых мы являемся отечественным разработчиком и поставщиком обогатительного оборудования премиум сегмента, и в основе наших решений лежат качество и комплектность. Наша визитная карточка – комплекс-

ный подход к каждому проекту, учитывающий особенности конкретного месторождения и географию предприятия, а также собственный научно-исследовательский центр, позволяющий разрабатывать оптимальные решения от технологий обогащения и металлургии, до поставки и монтажа оборудования. Это в совокупности позволяет гарантированно достигать технологических показателей проекта и выгодно отличает нас от прочих поставщиков отечественного обогатительного оборудования. На сегодняшний день у компании «РИВС» более 60 действующих патентов на технологические процессы, системы автоматизации и аналитического контроля и оборудование.

В начале 2023 получила аккредитацию наша цифровая дочерняя компания «РИВС-цифра», которая будет специализироваться на цифровизации и позволит развивать портфель собственных программных продуктов «РИВС» для автоматизации технологических процессов обогатительного производства. Как машиностроители, мы идём по пути импортозамещения, инвестируя в новые направления, однако этот подход должны разделять и наши заказчики, отдавая предпочтение добросовестному российскому производителю. Поэтому, чтобы ситуация работала на развитие внутреннего потенциала, российский рынок должен пересмотреть свое отношение, не искать предложения из дружественных на данный момент стран, а начать производить и применять оборудование и технологии, разработанные в России совместно с господдержкой.

Однако «импортозаместить» возможно не всё. Особенно острая нехватка отечественных разработок в сегменте спецтехники – российские промышленные предприятия продолжают нуждаться как в горных машинах, так и в компонентах. Здесь в игру вступает **«ТехСтройКонтракт»** – крупнейший эксклюзивный поставщик широкого модельного ряда горной, автодорожной и спецтехники для различных отраслей промышленности, включая открытые и подземные горные работы, строительство, сельское хозяйство. В ассортименте компании такие бренды как Hyundai, Shantui, Socma, Tonly, Weichai, Astrack, Deui. О принципах и особенностях работы компании, клиентском сервисе вне времени и обстоятельств **рассказал руководитель отдела продаж «ТехСтройКонтракта» Олег Попов:**

«Наша компания работает уже более 30 лет. Сейчас, несмотря на рост темпов отечественного производства, потребность в качествен-



ной спецтехнике по-прежнему не удовлетворена. Мы поставляем горную, дорожно-строительную, сельскохозяйственную технику, навесное оборудование, запасные части, смазочные масла и жидкости ведущих производителей мира: Hyundai, Shantui, Tonly, SOСМА, SITRAK, Astrack, Weichai, Airman, Denyo, Liutech, Tsurumi, ITM, CQMS Razer, Triangle, Westlake. Модельный ряд адаптируется и под актуальные потребности рынка. Так, в этом году на выставке мы представляем широкую линейку техники для открытых горных работ и подземной разработки месторождений полезных ископаемых. Практически всё поставляемое оборудование тестируется на проектах, где мы выступаем как подрядная организация. Активно развивается и направление аренды. Наш арендный парк оборудования – один из самых больших в стране – насчитывает более 800 машин как дорожностроительной, так и горнодобывающей техники. Все технические специалисты компании регулярно проходят обучение на заводах-производителей. Широкая сеть центров технического обслуживания



и складов запасных частей позволяет нам оперативно оказывать поддержку предприятиям практически в любой части страны».

Машиностроительный завод Поток уже 16 лет производит насосное оборудование, системы перемешивания и аэрирования, станции антигололедного и обеспыливающего смачивания для различных отраслей промышленности, включая горнометаллургическую. Визитная карточка предприятия – комплексность, индивидуальный подход и непрерывное развитие. Как и предыдущий участник, завод активно растет. Так, в этом году начато строительство новой производственной площадки почти в 1 500 Га.

«На выставке Mining World в этом году мы представляем нашу новинку – насосные станции с системой ZR-VAC, которая позволяет удаленно запускать и управлять станцией

в автоматическом режиме без участия человека. Кроме этого, на стенде мы показываем сразу четыре модели центробежных насосов линейки ZVEZDA RUS с допустимыми размерами включений до 51-76 мм, производительностью до 2 000 м³/ч, напором до 220 м. На этапе разработки проекта мы подбираем не только насосное оборудование, но и всю необходимую комплектацию: шланги, транспортировщики, системы пожаротушения и дистанционного управления. На сегодняшний день мы можем предложить электрические и дизельные станции, и даже станции на солнечных батареях. Мощности их аккумулятора хватает на обеспечение работы систем охраны, пожаротушения и дистанционного управления», – **рассказал Дмитрий Гальпер, руководитель проектов Машиностроительного завода Поток.**

«В сравнении с прошлым годом экспозиция выставки Mining World выросла почти в два раза. Это не отменяет множества вопросов, один из которых – кто все эти производители? Вместе с цепочками поставок 2022 год разрушил и множественные «Пи», такие как производитель-потребитель-партнер-поставщик. И наша авторская индустриальная экскурсия – это попытка проложить маршрут и составить актуальную карту для всех участников рынка без исключения», – **резюмировала Светлана Тимченко, генеральный директор агентства «Маркетинг от Тимченко».**

WARRIOR EDGE 500 CX ОТ ESAB НА KAZAKHSTAN MACHINERY FAIR



С 10 по 12 мая 2023 г. в Астане прошла IV-я Международная специализированная выставка по машиностроению и металлообработке Kazakhstan Machinery Fair. В рамках экспозиции дистрибьютор Welding Company представил ассортимент сварочного оборудования и материалов для тяжелой промышленности от компании ESAB.

Так, стратегический партнер компании ESAB в Казахстане Welding Company стал участником выставки, где презентовал многопроцессорный инвертор Warrior Edge 500CX, который разработан для оптимизации производства на металлургических, машиностроительных, станкостроительных предприятиях. Вместе

со сварочным аппаратом, представлены и вспомогательные решения: механизм подачи RobustFeed Edge CX и вакуумная упаковка (Vacpac) для хранения и транспортировки электродов.

Главное преимущество модели Warrior Edge 500 CX – возможность подключения к онлайн-приложениям InduSuite – WeldCloud Fleet и WeldCloud Productivity. Это дает сварщикам множество дополнительных возможностей, среди которых получение информации о сварочных операциях и возможных проблемах с оборудованием в режиме реального времени. Кроме этого, можно обновлять ПО и управлять сварочными работами в нескольких местах одновременно удаленно. Механизм подачи RobustFeed Edge CX оснащен цифровой технологией управления газом TrueFlow, за счет которой можно оптимизировать подачу газа на любом этапе сварки. Механизм также имеет SpoolSafe, защиту от грязи и пыли IP54, которая сохраняет проволоку сухой и чистой, улучшает ее подачу и снижает риск загрязнения сварного шва.

Kazakhstan Machinery Fair – ежегодное мероприятие, которое собирает на своей площадке производителей, поставщиков и потребителей оборудования и технологий для машиностроения и металлообработки, представителей государственного сектора и бизнес-сообществ. На выставке компании традиционно, среди прочего, представляют станки и оборудование для металлообработки, IT решения, аддитивные технологии, а также сварочное оборудование и материалы.



МРНТИ 52.01.11:52.01.75

*Б.Б. Амралинова¹, М.Ж. Битимбаев², М.С. Кунаев³, С.Т. Солтабаева¹

¹Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан),

²Национальная инженерная Академия Республики Казахстан (г. Алматы, Казахстан)

³Корпорация «Caspian Services Inc.» (г. Алматы, Казахстан)

РОЛЬ НАУКИ В КОМПЛЕКСНОМ ОСВОЕНИИ И СОХРАНЕНИИ ЗЕМНЫХ НЕДР В ИСТОРИЧЕСКОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

Аннотация. В статье приведена информация о роли науки в комплексном освоении и сохранении земных недр в историческом масштабе времени. Конечная цель совместного воздействия науки и образовательного процесса в решении вопросов освоения и сохранения недр – обеспечение экономики ресурсами и производством металлов. Горно-металлургический комплекс является стержнем государства, способствующим созданию развивающегося благополучного общества. Страны, имеющие минерально-сырьевые ресурсы, производят из них металлы и другую продукцию, страны, не имеющие их, но создающие высокотехнологичную экономику, должны обеспечить их импортом. Решение этих задач в совокупности становится конкретным требованием времени, и в его реализации определяющая роль принадлежит совместному развитию науки и образования, сопровождающимися друг друга.

Ключевые слова: наука, образование, геотехнологии, минералургия, ресурсоиспользование, ресурсосбережение, первичные и вторичные георесурсы.

Тарихи уақыт масштабында жер қойнауын кешенді игеру мен сақтаудағы ғылымның ролі

Абдәтпа. Мақалада тарихи уақыт арасындағы жер қойнауын кешенді игеру мен сақтаудағы ғылымның ролі туралы ақпарат берілген. Жер қойнауын игеру және сақтау мәселелерін шешуде ғылым мен білім беру процесінің бірлескен әсерінің түпкі мақсаты-экономиканы ресурстармен және металдар өндірісімен қамтамасыз ету. Тау-кен металлургия кешені дамып келе жатқан гүлденген қоғамды құруға ықпал ететін мемлекеттің жойқын жотасы болып табылады. Минералдық-шикізаттық ресурстары бар елдер олардан металдар мен басқа да өнімдерді өндіреді, оларда жоқ, бірақ жоғары технологиялық экономиканы құратын елдер оларды импортпен қамтамасыз етуі тиіс. Бұл міндеттерді жиынтықта шешу уақыттың нақты талабына айналады және оны жүзеге асыруда шешуші рөл бір-бірімен бірге жүретін ғылым мен білімнің бірлескен дамуына жатады.

Түйінді сөздер: ғылым, білім, геотехнология, минералогия, ресурстарды өндіру, ресурстарды үнемдеу, бастапқы және қайталама георесурстар.

The role of science in comprehensive development and preservation of the earth's resort on the historical scale of time

Abstract. The article provides information about the role of science in the complex development and preservation of the Earth's interior on a historical time scale. The ultimate goal of the joint impact of science and the educational process in solving the issues of development and conservation of mineral resources is to provide the economy with resources and production of metals. The mining and metallurgical complex is the backbone of the state, contributing to the creation of a developing prosperous society. Countries that have mineral resources produce metals and other products from them, countries that do not have them, but create a high-tech economy, should provide them with imports. The solution of these tasks together becomes a specific requirement of the time, and in its implementation the determining role belongs to the joint development of science and education, accompanying each other.

Key words: science, education, geotechnologies, mineralogy, resource reproduction, resource conservation, primary and secondary geo-resources.

Введение

Применяемые технологии горных работ и обогащения суммарно влияют на экономические результаты таким образом, что в характеристику запасов в недрах вынужденно введены понятия «бортовое содержание», «минимальное промышленное содержание», «балансовые и забалансовые запасы». Они искусственно разграничивают учет и определение запасов, которые экономически выгодно отрабатывать при существующей осваиваемой технике и технологии добычи и переработки с соблюдением требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды [1].

Эта мера добавляет к планируемым технологическим потерям дополнительные объемы скоплений металлов, которые оставляются в недрах практически навсегда, так как декларируемые требования по последующей добыче забалансовых запасов чаще всего невозможно восполнить из-за отсутствия безопасного доступа к району добычи.

Свою негативную лепту в искусственное истощение вынимаемых запасов металлов добавляет разубоживание вмещающими рудное тело пустыми породами. Оно становится обязательной частью процесса добычи с применением буровзрывных работ, и его объем достигает 5-100% и более. И объем добычи руды за вычетом добровольно оставленных в недрах потерь увеличивается на количество включенной в руду пустой породы, на транспорт, подъем,

переработку и укладку в хвостохранилища затрагиваются финансовые, трудовые, материальные энергетические ресурсы. Снижая качество добытой руды из-за разубоживания, теряется извлечение металла при обогащении.

Перечисленные объективные природные и техногенные проблемы объясняются, в первую очередь, отсутствием продуманных и действующих научно-практических программ, согласованно объединяющих совокупно желаемые благоприятные условия существования человека в природе и создаваемые человеком производственные условия их существования.

Переход от экстенсивного к интенсивному способу эксплуатации природы, несмотря на создание более полного, эффективного и разностороннего использования ресурсов с регулированием и ограничениями условий, не получил своего последовательного определения разумных границ взаимодействия человека и природы. Необходимость осмысленного переустройства материальных отношений человека с природой может и должна быть осуществлена наукой, которая определит характер и границы допустимого воздействия на природу, сохраняя и улучшая ее ресурсо-воспроизводящие и ресурсосберегающие способности.

Исходя из постулата превращения природы в разумно управляемый объект, мы, в первую очередь, обращаем внимание на освоение недр как базиса существования цивилизации. Причинно-следственные факторы, основан-

ные на исчерпание запасов металлов в последующие 30-150 лет в континентальной земной коре до глубины 5 км (она названа нами глубиной антропогенно-технических возможностей $H_{\text{АТВ}}$), определили цели горной науки и проистекающие из них задачи. Их можно разделить на основные обобщающие направления, реализация которых действительна и результативна, экономически и экологически эффективна, безопасна и технологически осуществима:

1. *Использование новых физико-технических и физико-химических геотехнологий, исключая (кратно уменьшая) потери и разубоживание, увеличивая таким образом «полезную» сырьевую базу;*

2. *Обеспечение разработки каждого конкретного месторождения с полным текущим циклом освоения недр;*

3. *Создание технологий циркулярной экономики с экономически эффективным многократным возвратом в производство однажды произведенной металлопродукции.*

Методы исследования

Естественно, методы исследований, направленные на создание доказательной базы решения целевых задач, которые оптимально определяют логическую связь и достаточность взаимодействующих обобщающих направлений, должны исходить из научного и статистического анализа темы нашей работы.

Методы должны основываться на комплексном решении задач, призванных создать ресурсовоспроизводящее и ресурсосберегающее освоение недр и техногенных образований. Эти задачи взаимосвязаны, состоят из сочетания направлений научной деятельности и одновременно формируют общий управляемый режим горного производства:

- *набора технологических схем открытых и подземных горных работ, в частности, комбинированного открыто-подземного способа с его вариантом разделения подземной части месторождения на дополнительные ярусы;*

- *отработки подземной части месторождения с развитием горных работ восходящим способом («снизу вверх») с опережающим вскрытием на всю проектную глубину или покаскадно с учетом принимаемых на вооружение подземных ярусов, слоевой очистной выемкой и вскрытием транспортными уклонами, проходимыми только по руде;*

- *создания новых вариантов физико-технических и физико-химических комбинированных геотехнологий и минералургии, совместное применение которых создает условия для освоения недр в результате единого производственного процесса добычи и обогащительного передела [2,3];*

- *организации отработки рудных месторождений с проектированием и реализацией горнотехнических систем с полным циклом освоения [4].*

Метод исследований, объединяющий полное освоение и сохранение недр и развитие геотехнологий и минералургии, должен результативно действовать по итогам выполняемых научно-исследовательских работ при совместной реализации с ними программы циркулярной экономики с технологиями и организационными решениями многократного с соблюдением экономических и экологических границ возврата металлов в начальное состояние (рис. 2).

В процессе выполняемых НИР по созданию физико-технических и физико-химических комбинированных геотехнологий и минералургии требуется применение принципов действия законов физики твердого тела, обеспечения проницаемости выщелачивающего раствора в сплошной скальный массив, создания управляемого транспорта пульпы выщелоченных металлов в водном составе на дальние расстояния, создание эффективных и безопасных технологий отсадки и разделения извлеченных металлов между собой и из несущего раствора без потерь.

При исследованиях геотехнологий нам понадобятся также методы химических взаимодействий, в частности, для выщелачивания, селекции и осаждения цветных и драгоценных металлов, что нами уже частично использовано.

Обсуждение результатов

Задачи ресурсовоспроизводящего и ресурсосберегающего освоения недр, в том числе с использованием в качестве источника металлов месторождений нового типа и объектов техногенеза, могут быть реализованы предлагаемыми на базе разработанных и частично испытанных физико-технических и физико-химических комбинированных геотехнологий.

В научно-образовательном процессе наряду с текущими научно-практическими вопросами в исследовательской сфере, являющихся, в первую очередь, творением самих ученых и их лабораторий, следует особое внимание обратить на создание новых геотехнологий, лишенных упомянутых выше недостатков. Переход на такую платформу деятельности технических университетов – это веление времени, определяющее место университетов, их выживаемость и востребованность.

Как известно, мы можем из недр извлекать нужные нам металлы с применением геотехнологий – физико-технических, физико-химических и комбинированных.

1) Физико-техническая геотехнология (ФТГ) – это горная наука, изучающая закономерности процессов извлечения полезных ископаемых недр без изменения химического состава исходного сырья или его агрегатного состояния. Проще говоря, изъятие нужных металлов из недр происходит в составе горной массы, названной людьми «рудой», а она, в свою очередь, добывается с применением механического (физического) воздействия на массив недр, главным образом, буровзрывными работами (БВР) [5,6].

Отсюда начинаются все недостатки этой геотехнологии (не будем говорить «беды», так как сегодня она – наша кормилица).

Буровзрывные работы создают травмоопасную среду в полостях изъятия руды, вызывают необходимость поддержания очистного пространства, начиная с крепления его, мы теряем от 5% до 40-50% руды, на разведку которой затрачены в свое время колоссальные ресурсы, происходит неприятное явление разубоживания пустой породой, из-за которого теряется качество, падает извлечение и уходят на ветер деньги. Надо организовывать вентиляцию, создавать циклический прерывный фронт работы, то есть терять много времени на дополнительные операции по погрузке, доставке, транспорту, снова бурению, зарядке, взрыванию, креплению.

Организация этого производственного процесса заканчивается на поверхности на обогатительной фабрике (ОФ) извлечением полезных ископаемых (ПИ) в концентрат. В итоге мы получаем в пользование от 90% до 40-50% того, что было в недрах, получив в качестве полезного продукта 40-60% из той массы руды, которую мы добыли. 60-40% бывшей руды уходит в хвостохранилище, в недрах зачастую безвозвратно теряется 10-50% металлов, на фабрике тоже часть металла уходит в хвосты.

2) Существует и имеет право на жизнь ныне бурно развивающаяся физико-химическая геотехнология (ФХГ) – горная наука, изучающая закономерность процессов извлечения ПИ из недр с изменением их агрегатного или химического состояния. Процессы могут быть химические, биохимические, микробиологические, методы позволяют извлекать ПИ из недр на месте их залегания [7,8]. Добыча ПИ производится переводом их в раствор в виде химических элементов или химических соединений подачей агента в растворе через скважины, которые могут быть пробурены как с поверхности, так и из подземных выработок. Эта технология практически лишена тех недостатков, которые присущи ФТГ-технологиям. Нет надобности в БВР и всех сопровождающих их операциях, потери в недрах можно практически свести к нулю, разубоживание будет анахронизмом, безопасность труда улучшается, подземный массив остается нетронутым. Резко снижается потребность в дизельном оборудовании и электроэнергии, не сжигается до 90% дизельного топлива. Для реализации нужно решить 3 проблемы:

- создать (найти) реагенты и режим их подачи;
- создать с использованием законов физики твердого тела искусственную проницаемость в скальном монолитном массиве;
- создать искусственный экран, предотвращающий переток выщелачивающего раствора во вмещающие породы. Еще одно преимущество ФХГ перед ФТГ – будут выщелачиваться металлы при любом содержании их в рудном массиве, т.е. исчезнут из обихода понятия о бортовом содержании и забалансовых запасах. В этом случае устраняется необходимость в создании искусственного экранирования, так как для выщелачивающего раствора не будет разницы, откуда металл будет выщелачиваться – из традиционного рудного тела или из вмещающих пород вокруг рудного тела. ФХГ позволит увеличить минерально-сырьевую базу (МСБ) предприятий на величину возвращаемых потерь плюс дополнительно бывших забалансовых запасов.

3) Третье направление – комбинированная геотехнология (КГ) – это освоение месторождений ПИ, сочетающая элементы ФТГ (открытым, подземным, открыто-подземным, подземно-подземным) и (или) ФГХ (расплавлением, выщелачиванием, возгонкой, газификацией и др.) технологий с созданием единой схемы вскрытия и подготовки запасов на весь период освоения месторождений и принятием общих технологических решений.

В этом направлении развитие ФТГ зависит, в первую очередь, от создания рациональных комбинаций геотехнологий, обеспечивающих в сравнительном аспекте с

традиционными проектными решениями полноту освоения ресурсов земных недр и комплексное использование сырья.

Такое освоение недр должно сопровождаться ресурсосбережением, энергоэффективностью, конкурентными экономическими показателями и созданием безопасных условий труда. За примерами далеко ходить не надо, потому что новые геотехнологии создаются и реализуются во всех ведущих горнодобывающих государствах мира.

На основе ФХГ и технологий осаждения и сорбции после выщелачивания нужно пойти далее по созданию единого производственного процесса геотехнологии и минералургии без традиционных ОФ, без дробления, измельчения, флотации, без хвостохранилищ, без отвалов забалансовых запасов и пустой породы.

Указанное техническое решение по созданию отдельных его составляющих идет полным ходом и будет в недалеком будущем создано. Появление работоспособных ФХГ и КГ само наталкивает на мысль, что традиционная ОФ в своем нынешнем наполнении не нужна. На смену ей должна получить развитие металлургия, архитектура которой может располагаться не обязательно на поверхности. Отсадка и сорбция цветных и благородных металлов из выщелоченных растворов может быть успешно проведена в подземных условиях, если только будет обеспечена полная безопасность в период выщелачивания, гидротранспорта и самого процесса отсадки и сорбции.

Новые направления научно-практической деятельности университетов – это создание технологий замкнутого цикла, сопровождающих текущий производственный процесс производства металлов, что особенно необходимо для традиционных рудников и ОФ и для комбинированных геотехнологий без участия ФХГ.

В свою очередь, технологии замкнутого цикла должны стать в одном ряду перед разработкой совмещенного технологического обоснования всех компонентов циркулярной экономики (ЦЭ). Она несет в себе одну из глобальных задач, могущих решать кардинально многие проблемы ресурсосбережения и воспроизводства запасов минерального сырья, в первую очередь, металлов, не участвуя непосредственно в процессах геологоразведки, добычи и переработки.

Суть ЦЭ заключаются в экономически и социально обоснованном многократном использовании однажды произведенного металла и сплава металлов, употребленного первоначально в конструкции машин, оборудования, изделий машиностроения и бытовой техники.

Для облегчения понимания этот продукт мы называем в быту «металлоломом», «скрапом».

Создание теории и практических основ расчета оборачиваемости минеральных ресурсов недр как одного из основных факторов создания работоспособной и эффективной металлургической отрасли является также задачей, которую должны решать университеты. Циркулярная экономика работает в начальной стадии в экономически развитых государствах и может сократить изъятие металлов из недр земли первичных георесурсов на 8-15%.

Достигнутые и ожидаемые результаты

Обоснованные технико-экономическими и экологическими расчетами технологические решения, обеспечивающие безопасное ресурсовоспроизводящее и ресурсосберегающее освоение недр, созданы по всем 5 направлениям производства металлов, определяющим облик горно-металлургического комплекса второй половины XXI века.

Нами предложены:

1) *Физико-технические комбинированные геотехнологии, включающие параллельную и последовательно-параллельную добычу руды открытым и подземным способами, подземно-подземным способом с разделением месторождения на 3 (как минимум) подземных яруса, развитие подземных горных работ в восходящем порядке «снизу вверх» с добычей руды преимущественно горизонтальными слоями с закладкой. Вскрытие и транспорт руды производится рудными уклонами, применение которых в предлагаемых технологических схемах возможно со значительным экономическим эффектом.*

2) *Физико-химическая геотехнология с выщелачиванием сульфидных полезных компонентов из рудного массива в недрах без нарушения его естественного равновесного состояния с гидротранспортом выщелоченных в раствор металлов на переработку с селективной или с коллективно-селективной отсадкой их сорбцией драгоценных металлов. Для сульфидных руд успешно испытан раствор NaCl с постоянным воздействием на него электрического тока под напряжением 6-8 вольт. Практическая реализация предлагает создание комплекса на подземном горизонте и на промышленной площадке рудника и вскрывающих выработок по извлечению металлов из продуктивного раствора и возврата очищенного раствора в голову процесса для доукрепления выщелачивающим реагентом. Исполнение такого проектного решения позволит реализовать экономически эффективный и безопасный совместный единый производственный процесс геотехнологий и минералургии, объединяющий изъятие металлов из рудного массива и получение товарного продукта для передачи в металлургический цикл без буровзрывных работ, погрузки и транспорта, без дробления-измельчения-обогащения.*

3) *Обеспечение полного замкнутого цикла текущего освоения недр в каждом конкретном месторождении с переработкой рудных отвалов и хвостов обогащения с улучшенными технико-экономическими показателями, применение рентгено-радиометрической сепарации, электрохимического и кучного выщелачивания.*

4) *Создание основ циркуляционной экономики с достижением экономически эффективного и безопасного для людей и окружающей среды максимально кратного использования отходов однажды добытых металлов (рис.1-2.).*

Если говорить о цифровой трансформации, следует принять ее как инструмент управления технологиями в содружестве с окружающей неживой природой, который находится в руках создателя и обладателя.

Основы управления производством, позволяющим наиболее эффективно, с минимальными затратами и безопас-

но получать необходимый товарный продукт, были созданы еще в 1922 году Гостевым А.К., правда, без компьютерного программного обеспечения.

Они получили название «Научная организация труда» (НОТ), в которой технологические процессы, объединенные в общий производственный, должны были иметь рассчитанный «критический путь». Так работали на производстве на подземных горных работах на Ачисайском полиметаллическом комбинате с 1965 по 1985 гг. Кроме НОТ на производстве и в науке (в частности на горном факультете Казахского политехнического института) было внедрено в рабочем режиме обязательное выявление зависимостей параметров горных работ на основании данных реальных показателей за продолжительное время.

В то время, если сравнить с нынешним уровнем развития науки, в НИИ работали, но той же цифровой трансформацией с применением теории вероятности и математического аппарата теории очередей и теории массового обслуживания на платформе «big data».

Каждые кандидатские и докторские диссертации шли на защиту только с такими формулами функциональных зависимостей необходимых технико-экономических показателей.

Ведь корни цифрового управления лежат в 1936 г., когда А.М. Тьюринг описал гипотетический универсальный преобразователь дискретной информации, предтечей которого был механический арифмометр Б. Паскаля, изобретенный в 17 веке. Релейно-контактные схемы аппарата математической логики были созданы в 1938 г. К. Шэнноном (США) и в 1941 г. В.И. Шестаковым (СССР). И в 1948 г. Н. Винер опубликовал «Кибернетику» и создал компьютерную «мышь». Вот так «росли ноги» цифрового управления.

Заключение

Образовательный процесс, кроме обычного формата лекций и семинаров, должен сделать крен в сторону создания лабораторных НИР и производственно-научных практик, в т.ч. с выездом в другие НИИ и производственные предприятия.

Создание отраслевых и предметных лабораторий, которые должны целенаправленно заниматься наиболее актуальными изысканиями в свете проблем, назревших в ГКМ, в котором образовательный процесс будет идти в ногу с мировым уровнем.

Если указанные лаборатории будут созданы и будет сформирована программа НИР, соответствующая насущным требованиям наступающей эры, можно будет уверенным, что при соответствующем уровне знаний, творческом отношении к своей профессии университетская наука займет свое достойное место в научной сфере горно-металлургического комплекса Казахстана.

Благодарность. Статья подготовлена в рамках ПЦФ проекта BR10264558 «Научная оценка инвестиционной привлекательности структур Казахстана, перспективных на выявление месторождений полезных ископаемых».

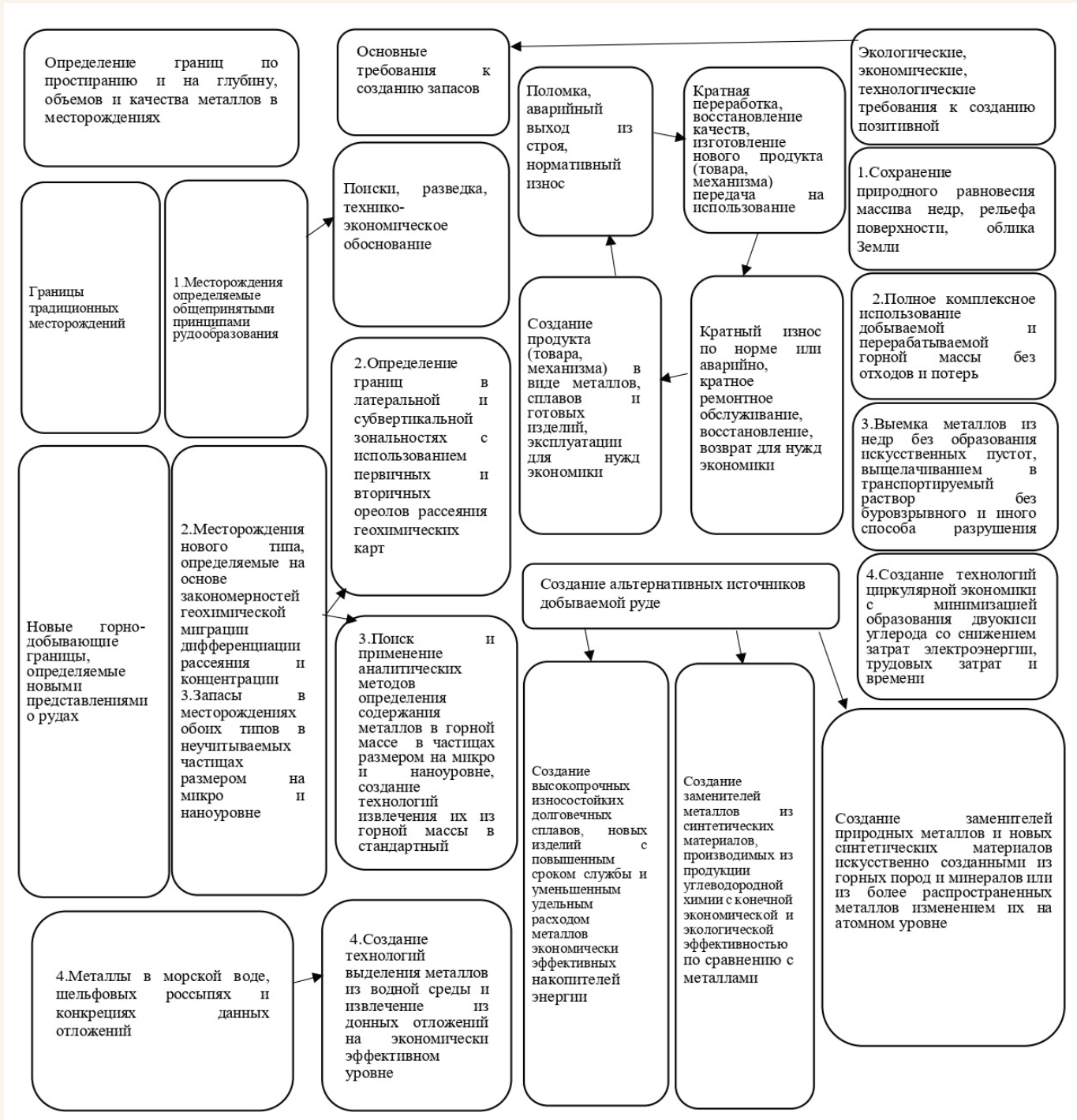


Рис. 1. Объединенная технологическая классификация циркулярной экономики в новых горнодобывающих границах.

Сурет 1. Жаңа тау-кен шекараларындағы айналмалы экономиканың бірыңғай технологиялық классификациясы.

Figure 1. Unified technological classification of the circular economy in the new mining frontiers.



Рис. 2. Классификация технологических принципов полного освоения первичных и вторичных георесурсов в замкнутом природно-техногенном цикле и в управляемом режиме.

Сурет 2. Тұйық табиғи-техногендік циклде және басқарылатын режимде бастапқы және қайталама георесурстарды толық игерудің технологиялық принциптерінің классификациясы.

Figure 2. Classification of technological principles for the complete development of primary and secondary georesources in a closed natural-technogenic cycle and in a controlled mode.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трубецкой К.Н. Состояние и основные направления комплексного освоения и сохранения земных недр. Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. – М.: ИПКОН РАН. – 2020. – С. 3-12 (на русском языке)
2. Битимбаев М.Ж., Юсупов Х.А., Абен Е.Х., Алишева Ж.Н., Джумабаев Е.И. Инновационные технологические схемы комбинированных геотехнологий. Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. – М.: ИПКОН РАН. – 2022. – С. 12-16 (на русском языке)
3. Битимбаев М.Ж. Технологическое обеспечение эффективного и комплексного развития добычи и обогащения полезного передела полезных ископаемых в XXI веке (проблемы, перспективы, приоритеты): Монография. – Алматы: «Print House Gerona». – 2020. – С.160 (на русском языке)
4. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Принципы проектирования и реализации горно-технических систем с полным циклом освоения рудных месторождений. Проблемы проектирования технологий подземной и комбинированной разработки рудных месторождений. – ГИАБ. – М.: – 2013. – №5. – С. 3-11 (на русском языке)
5. Битимбаев М.Ж., Крупник Л.А., Шапошник Ю.Н. Теория и практика закладочных работ при разработке месторождений полезных ископаемых. – Алматы. – ТОО РПИК «Дауир». – 2012. – С. 624 (на русском языке)
6. Bitimbayev V.Zh., Oryngozhin Y.S., Militenko N.A., Alisheva Zh.N. An innovative way of underground Mining. Eurasian Mining. – 2022. – №1. – P. 38-40 (на русском языке)
7. Закоршменный И.П., Блохин Д.И. Вовлечение в среду промышленного производства оставленных запасов за счет использования технологии термической переработки. Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. – М.: ИПКОН РАН. – 2022. – С. 193-196 (на русском языке)
8. Шумилова Л.В., Хатькова А.Н. Факторы интенсификации ресурсопользования при реализации принципов наилучших доступных технологий. Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. – М.: ИПКОН РАН. – 2020. – С. 45-48 (на русском языке)
9. Ермоленко А.Е., Сенишин П.И. и др. Отчет «Составление прогнозных металлогенетических карт масштаба 1:50 000 на центральную часть золоторудного месторождения Калба», 1977 г. (на английском языке)
10. Куйбыда М.Л., Крук Н.Н., Владимиров А.Г., Полянский Н.В., Николаева И.В. – 2009. U-Pb-изотопный возраст, состав и источники плагиогранитов Калбинского хребта (Восточный Казахстан). Доклады Российской академии наук. – Т. 424, №1., – С. 84-88 (на английском языке)
11. Зимановская Н.А., Ойцева Т.А., Хромых С.В., Травин А.В., Бисатова А.Ю., Анникова И.Ю., Айтбаева С.С. – 2022. Геология, минералогия и возраст литийсодержащих пегматитов на примере месторождения Точка (Восточный Казахстан). Минералы, 12 (12), 1478. – С. 1-17 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Трубецкой К.Н. Жердің ішкі кеңістігін кешенді дамыту мен сақтаудың жағдайы және негізгі бағыттары. Жердің ішкі қабатын кешенді дамыту және сақтау мәселелері мен болашағы. – М.: ИПКОН РАН. – 2020. – Б. 3-12 (орыс тілінде)
2. Бітімбаев М.Ж., Юсупов Х.А., Әбен Е.Х., Әлішева Ж.Н., Джумабаев Е.И. Біріктірілген геотехнологиялардың инновациялық технологиялық схемалары. Жердің ішкі қабатын кешенді дамыту және сақтау мәселелері мен болашағы. М.: ИПКОН РАН. – 2020 – Б. 12-16 (орыс тілінде)
3. Бітімбаев М.Ж. XXI ғасырда пайдалы қазбаларды өндіру мен өңдеуді тиімді және кешенді дамытуды технологиялық қамтамасыз ету (проблемалары, перспективалары, басымдықтары): Монография. – Алматы: «Герона баспасы». – 2020. – Б. 160 (орыс тілінде)
4. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Кен орындарын игерудің толық циклімен тау-кен-техникалық жүйелерді жобалау және енгізу принциптері. Кен орындарын жерасты және аралас өндіру технологияларын жобалау мәселелері. – ГИАБ. – М.: – 2013. – №5. – Б. 3-11 (орыс тілінде)
5. Бітімбаев М.Ж., Крупник Л.А., Шапошник Ю.Н. Пайдалы қазбалар кен орындарын игерудегі қоймалау операцияларының теориясы мен тәжірибесі. – Алматы: – ЖШС РПИК «Дәуір». – 2012. – Б. 624 (орыс тілінде)
6. Бітімбаев В.Ж., Орынгожин Ю.С., Милитенко Н.А., Әлішева Ж.Н. Жерасты тау-кен өндірудің инновациялық тәсілі. Eurasian Mining. – 2022. – №1. – Б. 38-40 (орыс тілінде)
7. Закоршменный И.П., Блохин Д.И. Термиялық өңдеу технологиясын қолдану арқылы қалдырылған қорларды өнеркәсіптік өндірістік ортаға тарту. Жердің ішкі қабатын кешенді дамыту және сақтау мәселелері мен болашағы. – М.: ИПКОН РАН. – 2022. – Б. 193-196 (орыс тілінде)

8. Шумилова Л.В., Хаткова А.Н. Ең жақсы қолжетімді технологиялардың қағидаларын жүзеге асыруда ресурстарды пайдалануды интенсификациялау факторлары. Жердің ішкі қабатын кешенді дамыту және сақтау мәселелері мен болашағы. – М.: ИПКОН РАН. – 2020. – Б. 45-48 (орыс тілінде)
9. Ермоленко А.Е., Синишин П.И. және т.б. «Қалба алтын кен орнының орталық бөлігі үшін 1:50 000 масштабтағы болжамды металлогендік карталарды құрастыру», 1977 (ағылшын тілінде)
10. Куйбида М.Л., Крук Н.Н., Владимиров А.Г., Полянский Н.В., Николаева И.В. – 2009. U-Pb-изотоптық жасы, Қалба жотасының плагиограниттерінің құрамы және көздері (Шығыс Қазақстан). Ресей ғылым академиясының баяндамалары. – Шығ. 424, №1. – Б. 84-88 (ағылшын тілінде)
11. Зимановская Н.А., Ойцева Т.А., Хромых С.В., Травин А.В., Биссатова А.Ю., Анникова И.Ю., Айтбаева С.С. – 2022. Точка кен орнын зерттеу мысалында құрамында литий бар пегматиттердің геологиясы, минералогиясы және жасы. Пайдалы қазбалар, 12 (12), 1478. – Б. 1-17 (ағылшын тілінде)

REFERENCE

1. Trubetskoy K.N. The state and main directions of the integrated development and conservation of the earth's interior. Problems and prospects for the integrated development and conservation of the earth's interior. – М.: ИПКОН РАН. – 2020. – P. 3-12 (in Russian)
2. Bitimbaev M.Zh., Yusupov Kh.A., Aben E.Kh., Alisheva Zh.N., Dzhumabaev E.I. Innovative technological schemes of combined geotechnologies. Problems and prospects for the integrated development and conservation of the earth's interior. – М.: ИПКОН РАН. – 2022. – P. 12-16 (in Russian)
3. Bitimbaev M. Zh. Technological support for the effective and integrated development of mining and processing of minerals in the XXI century (problems, prospects, priorities): Monograph. – Almaty: «Print House Gerona». – 2020. – P. 160 (in Russian)
4. Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Principles of design and implementation of mining and technical systems with a full cycle of development of ore deposits. Problems of designing technologies for underground and combined mining of ore deposits. – GIAB. – М.: – 2013. – №5. – P. 3-11 (in Russian)
5. Bitimbaev M.Zh., Krupnik L.A., Shaposhnik Yu.N. Theory and practice of stowing operations in the development of mineral deposits. – Almaty: – LLP RPIK «Dauir». – 2012. – P. 624 (in Russian)
6. Bitimbayev V.Zh., Oryngozhin Y.S., Militenko N.A., Alisheva Zh.N. An innovative way of underground Mining. Eurasian Mining. – 2022. – №1. – P. 38-40 (in Russian)
7. Zakorshmennyy I.P., Blokhin D.I. Involvement of abandoned stocks into the industrial production environment through the use of thermal processing technology. Problems and prospects for the integrated development and conservation of the earth's interior. – М.: ИПКОН РАН. – 2022. – P. 193-196 (in Russian)
8. Shumilova L.V., Khatkova A.N. Factors of intensification of resource use in the implementation of the principles of the best available technologies. Problems and prospects for the integrated development and conservation of the earth's interior. – М.: ИПКОН РАН. – 2020. – P. 45-48 (in Russian)
9. Ermolenko A.E., Sinishin P.I., etc. Report «Compilation of predictive metallogenic maps at a scale of 1:50 000 for the central part of the gold ore Kalba», 1977 (in English)
10. Kuibida M.L., Kruk N.N., Vladimirov A.G., Polyansky N.V., Nikolaeva I.V. – 2009. U-Pb-isotopic age, composition and sources of plagiogranites of the Kalbinsky ridge (East Kazakhstan). Reports of the Russian Academy of Sciences, Vol. 424, No.1. – P. 84-88 (in English)
11. Zimanovskaya N. A., Oitseva T.A., Khromykh S.V., Travin A. V., Bissatova A. Y., Annikova I. Yu., Aitbayeva S.S. – 2022. Geology, Mineralogy, and Age of Li-bearing Pegmatites: Case Study of Tochka Deposit (East Kazakhstan). Minerals, 12 (12), 1478. – P. 1-17 (in English)

Сведения об авторах:

Амралинова Б.Б., доктор PhD, директор института управления проектами КазННТУ им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), b.amralinova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-0716-5265>

Битимбаев М.Ж., д-р техн. наук, профессор, академик Национальной инженерной Академии Республики Казахстан, академик Международной инженерной академии (г. Алматы, Казахстан) mbitimbayev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0870-8591>

Қунаев М.С., д-р геол.-минерал. наук, академик Российской академии естественных наук, член Правления Корпорации «Caspian Services Inc.» (г. Алматы, Казахстан), k.mirgali@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1627-2054>

Солтабаева С.Т., канд. техн. наук, доцент кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» КазННТУ им. К.И. Сатпаева, (г. Алматы, Казахстан), s.soltabayeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-1330-2174>

Минерально-сырьевые ресурсы

Авторлар туралы мәлімет:

Амралинова Б.Б., PhD докторы, Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ жобаларды басқару институтының директоры (Алматы қ., Қазақстан)

Битимбаев М.Ж., т.ғ.д., профессор Қазақстан Республикасы Ұлттық Инженерлік Академиясының академигі, Халықаралық Инженерлік академиясының академигі, техника ғылымдарының докторы, профессор (Алматы қ., Қазақстан)

Құнаев М.С., геология-минералогия ғылымдарының докторы, Ресей жаратылыстану ғылымдары академиясының академигі, «Caspian Services Inc.» корпорациясының Басқарма мүшесі (Алматы қ., Қазақстан)

Солтабаева С.Т., т.ғ.к., Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының доценті (Алматы қ., Қазақстан)

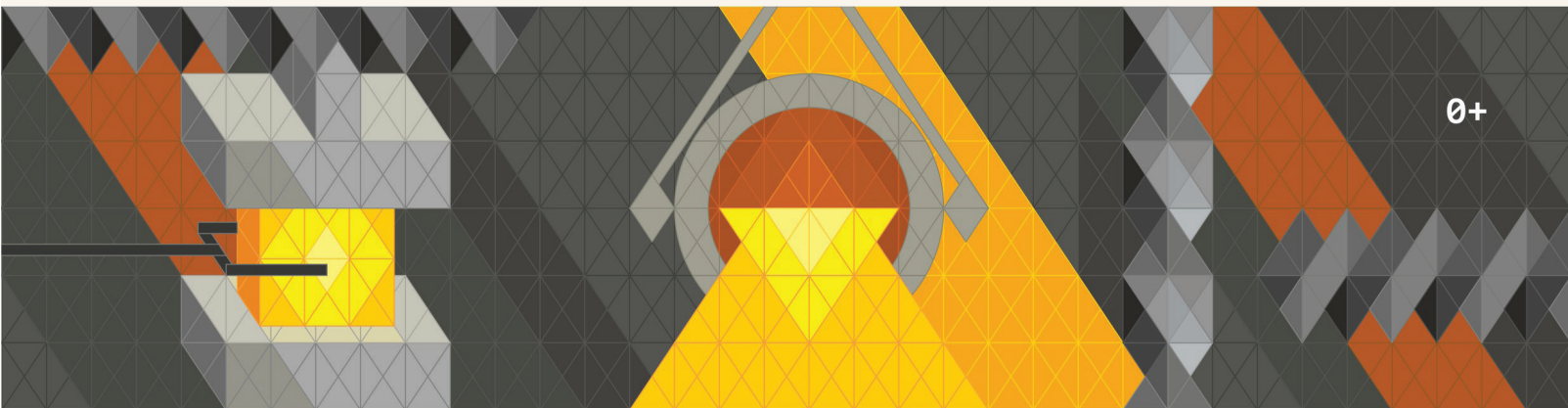
Information about the authors:

Amralinova B. B., Doctor PhD, Director of the Project Management Institute of KazNRTU named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Bitimbayev M.Zh., Doctor of Technical Sciences, Professor Academician of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, Academician of the International Engineering Academy, Doctor of Technical Sciences, Professor (Almaty, Kazakhstan)

Kunaev M.S., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Member of the Board of the Caspian Services Inc. Corporation (Almaty, Kazakhstan)

Soltabayeva S.T., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, KazNRTU named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)



Металлообработка . Металлургия

26–29
сентября

16-я выставка современных технологий, оборудования, материалов для машиностроения, металлообрабатывающей промышленности, подготовительного и литейного производства

2023, Пермь

крупнейший
специализированный
региональный проект
в России

(342) 264-64-27
egorova@expoperm.ru
metal.expoperm.ru


PRO
EXPO



Код МРНТИ 52.01.75

Е.Е. Жолдасбай, А.А. Аргын, *Н.К. Досмухамедов
Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ОТ СЖИГАНИЯ УГЛЯ – ЯДРО УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Аннотация. В настоящей работе на основании анализа современного состояния угольной отрасли показаны перспективы устойчивого развития угольной отрасли. Проведен краткий сравнительный анализ существующей технологии сжигания угля, применяемой в энергетическом комплексе, с альтернативными источниками выработки электроэнергии. Указаны пути решения, позволяющие повысить эффективность угольной отрасли за счет внедрения новых технологий, направленных на утилизацию отходов от сжигания угля – глубокую очистку отходящих газов ТЭЦ от SO₂ и NO_x и переработку золошлаковых отходов. Приведены основные технологические показатели разработанных авторами статьи инновационных технологий, позволяющих обеспечить глубокую санитарную очистку газов и комплексную переработку золошлаковых отходов с получением товарных продуктов.

Ключевые слова: уголь, продукты сжигания, отходящие газы, золошлаковые отходы, утилизация, инновационные технологии, извлечение, ценные элементы, товарные продукты.

Көмір жағудан алынған қалдықтарды кәдеге жаратудың инновациялық технологиялары – көмір саласының тұрақты дамуының өзегі

Андатпа. Бұл жұмыста көмір саласының қазіргі жағдайын талдау негізінде көмір саласының тұрақты даму перспективалары көрсетілген. Электр энергиясын өндірудің баламалы көздерімен энергетикалық кешенде қолданылатын көмірді жағудың қолданыстағы технологиясына қысқаша салыстырмалы талдау жүргізілді. Көмір жағудан алынатын қалдықтарды кәдеге жаратуға – ЖЭО-нан шығатын газдарды SO₂ және NO_x-тан терең тазартуға және күлшлак қалдықтарын қайта өңдеуге бағытталған жаңа технологияларды енгізу есебінен көмір саласының тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретін шешу жолдары көрсетілген. Мақаланың авторларымен зерттелген газдарды терең санитарлық тазартуды және тауарлық өнімдерді ала отырып, күлшлак қалдықтарын кешенді өңдеуді қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін инновациялық технологиялардың негізгі технологиялық көрсеткіштері көрсетілген.

Түйінді сөздер: көмір, жану өнімдері, шығатын газдар, күлшлак қалдықтары, кәдеге жарату, инновациялық технологиялар, бөліп алу, бағалы элементтер, тауарлы өнімдер.

Innovative technologies for waste disposal from coal burning are the core of the sustainable development of the coal industry

Abstract. In this paper, based on the analysis of the current state of the coal industry, the prospects for sustainable development of the coal industry are shown. A brief comparative analysis of the existing coal burning technology used in the energy complex with alternative sources of electricity generation is carried out. The ways of solutions that allow to increase the efficiency of the coal industry through the introduction of new technologies aimed at the disposal of waste from coal combustion – deep cleaning of waste gases of the CHP from SO₂ and NO_x and the processing of ash and slag waste are indicated. The main technological indicators of innovative technologies developed by the authors of the article are given, which allow for deep sanitary purification of gases and complex processing of ash and slag waste to obtain commercial products.

Key words: coal, combustion products, waste gases, ash and slag waste, recycling, innovative technologies, extraction, valuable elements, marketable products.

Введение

Изменения глобальной конъюнктуры на мировой площадке, связанные с политическими и экономическими сдвигами, привело к нарушению баланса структуры производства объемов, использования и экспорта угля. Это значительно повлияло на технические возможности казахстанских предприятий. Рынок производства и потребления угля вынужденно полностью переориентирован на внутренний спрос. Несмотря на сравнительно низкое качество углей до определенного времени угольной отрасли удавалось осуществлять определенные квоты угля на экспорт в страны ближнего зарубежья. Санкции, наложенные на Россию ведущими западными странами, привели к нарушению транспортной логистики и сбыта угля, что привело к нарушению экономического баланса экспорта угля из Казахстана. Экспорт угля практически свелся к минимуму. Сегодня основным источником спроса на казахстанский энергетический уголь остается внутренняя угольная генерация. Рост потребления электроэнергии промышленными предприятиями и населением республики сильно усилил зависимость энергетического комплекса от угля. Одной из ключевых задач для угольной отрасли на сегодняшний день остается не только сохранение существующих объемов добычи угля, но и их увеличение.

Основным приоритетом, влияющим на условие устойчивого развития угольной отрасли, является индустриализация – ключевой драйвер развития отечественной экономики. Индустриализация предполагает усложнение экономики страны, наращивание компетенций, создание высокотехнологичных и наукоемких решений, а также усиление научно-технологической базы, что позволит наращивать продвижение продукции с высокой добавленной стоимостью.

В рассматриваемом ракурсе создание технологических линий по комплексной переработке угля и продуктов его сжигания представляет категорию стратегически важных направлений для всей энергетической системы страны. Уголь и его отходы от сжигания необходимо рассматривать как дополнительное сырье для производства новых видов продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Развитие угольной отрасли в Казахстане и решение основных ключевых его задач – минимизации эмиссий в окружающую среду диоксида серы и парниковых газов, внедрения новых безотходных технологий по утилизации золошлаковых отходов позволит повысить технологическую и инновационную сложность экономики. В рамках нового технологического тренда как индустриализация, вся промышленность, в том числе, и угольная отрасль,

должна быть направлена на увеличение эффективности и производительности существующих технологий за счет принятия высокотехнологичных решений по переработке продуктов сжигания угля путем автоматизации, роботизации и цифровизации производства.

В практике международных сравнений принято, что уровень потребления металлов в стране достаточно точно характеризует степень развития промышленности. Нарастание технологического-экономического потенциала угольной отрасли за счет внедрения новых передовых технологий по переработке, как угля, так и продуктов его сжигания с получением товарных продуктов с высокой добавленной стоимостью, активизирует инновационное развитие в отрасли и даст мультипликативный эффект на другие отрасли экономики.

Рентабельная переработка нетрадиционных источников сырья – золошлаковых отходов, напрямую связана с техническим и технологическим обновлением действующих, и созданием новых предприятий. В этих условиях рост эффективности функционирующей угольной отрасли может быть обеспечен только за счет тесной интеграции науки и производства, широкой реализации научных достижений и ускоренного внедрения новых технологий и техники. Это и явилось предпосылкой для разработки инновационных технологий для утилизации продуктов, получаемых от сжигания угля – отходящих газов ТЭЦ и золошлаковых отходов.

В настоящей работе на основании сравнительного анализа современной ситуации, сложившейся в угольной отрасли, проведена оценка возможных оптимальных решений, обеспечивающих устойчивое развитие энергетического комплекса республики за счет внедрения инновационных технологий для утилизации отходов от сжигания угля.

Методы исследования

В основу методологического принципа положен анализ результатов исследования Международных энергетических агентств и институтов, направленных на изучение влияния отходов от сжигания угля – золошлаковых отходов и отходящих газов на окружающую среду и жизнедеятельность человека. Рассмотрены возможности использования альтернативных «зеленых технологий», обеспечивающих снижение эмиссий вредных выбросов в окружающую среду. Сравнительный анализ новых технологий, получаемых широкое внедрение в мире и на территории Казахстана, проведен на основании детального изучения Программ по развитию возобновляемых источников энергии Европейского союза. Анализ современного состояния и перспективы дальнейшего развития угольной отрасли республики рассматриваются с точки зрения возможности внедрения новых технологий по утилизации отходов от сжигания угля. При сравнительном анализе существующих и новых технологий по очистке отходящих газов ТЭЦ особое внимание, наряду с экологическими аспектами, уделено технологическим и экономическим преимуществам новых технологий. Анализ новых технологий проведен в разрезе наблюдаемой динамики внедрения «зеленых технологий» в развитых странах с учетом специфики имеющейся мате-

риально-сырьевой базы, и обеспечения условия устойчивого развития энергетической отрасли. Для выработки оптимальных решений по развитию энергетической отрасли республики рассмотрены новые инновационные технологии, обеспечивающие эффективное использование дешевого топлива – угля с обеспечением глубокой утилизации продуктов его горения. В работе анализируются результаты исследований отечественных и зарубежных ученых, занятых в сфере создания безотходных чистых технологий выработки электроэнергии и тепла с вовлечением на переработку малозольных, высококалорийных углей Казахстана.

Результаты и их обсуждение

«Зеленые технологии» в энергетике

На развитие энергетики оказывают влияние ограниченность и неравномерность распределения ресурсов ископаемого топлива при росте потребления энергетических ресурсов, стремление стран к обеспечению энергетической безопасности, экологические ограничения по выбросам парниковых газов. Данные факторы приводят к необходимости увеличения доли возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе.

Как показывают исследования международных энергетических агентств и институтов, доля возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе 2050 г. может составить порядка 18% или даже выше, для удовлетворения возрастающего спроса на энергию и стабилизации содержания парниковых газов в атмосфере. Развитыми странами принимаются Программы по развитию возобновляемых источников энергии. Так, Европейским Союзом принято решение об увеличении доли производства электроэнергии от возобновляемых источников энергии до 20% к 2020 г. (без учета крупных гидроэлектростанций). В Казахстане доля электроэнергии, выработанной на крупных гидроэлектростанциях, составляет порядка 12%.

Одним из наиболее динамично развивающихся коммерческих видов возобновляемых источников энергии является ветроэнергетика. В 2009 году установленная мощность ветроэлектростанций (ВЭС) составила около 160 000 МВт, на ВЭС произведено около 340 млрд. кВт·ч электроэнергии в год, или 2% мирового объема потребления электроэнергии. Ветроэнергетика демонстрирует постоянный прирост мощности, до 20-30% в год.

В настоящее время около 76 стран мира имеют ВЭС в структуре электроэнергетики. 43 страны мира имеют Национальные Программы развития ветроэнергетики с установкой сотен и тысяч МВт мощности в ближайшей и среднесрочной перспективе. Данные Программы, как правило, сопровождаются развитием собственной базы ветроэнергостроения, что позволяет снизить стоимость оборудования ветроустановок.

В рамках немецкой правовой основы Германия планирует обеспечить 30% своего электроснабжения за счет ВИЭ. В плане финансовой поддержки содействия возобновляемой энергетики, в Германии используется четыре механизма: прямая инвестиционная поддержка, льготные тарифы, льготные займы и налоговые льготы. Финансо-

вые инициативы и Программы поддержки осуществляются на национальном уровне, а также на уровне федеральных земель, при этом некоторые местные органы власти, а также местные поставщики электроэнергии разработали дополнительные схемы поддержки.

Одной из стран с наиболее развитым использованием возобновляемых источников энергии выступает Королевство Нидерланды. Солнечные технологии являются экспортным продуктом. В Мали это привело к успешному созданию солнечной энергоцентрали. Изобильная энергия солнца, поступающая с панелей компании Ubbink Solar, сохраняется в аккумуляторах и через мини-сеть направляется жителям.

В Испании утвержден План по возобновляемым источникам энергии Советом Министров Испании, цель которого заключается в том, чтобы к концу 2010 года 12% потребляемой в стране энергии производилось за счет использования возобновляемых источников. Испания выступает одним из лидеров по производству энергии с использованием энергии ветра. От всей используемой в стране энергии из возобновляемых источников 27% производится ветряными турбинами.

Доведение выработки электроэнергии в 2014 году составило 97,9 млрд. кВт·ч при обеспечении объема добычи угля ~123 млн тонн. При этом достижение объема выработанной электроэнергии в 2014 году возобновляемыми источниками энергии составило 1 млрд кВт·ч в год, что эквивалентно доле возобновляемых источников энергии в общем объеме электропотребления 1%. Низкая доля используемых в Казахстане «зеленых технологий» свидетельствует о том, что уголь останется основным источником твердого топлива для выработки электроэнергии. Несмотря на стремительное развитие и широкое внедрение ВЭС и других источников возобновляемой энергетики, на наш взгляд, следует обращать внимание на следующие важные обстоятельства.

Для изготовления пропеллеров больших размеров используются материалы из пластика, а их обслуживание сопровождается расходом больших объемов смазочных материалов. Солнечные батареи, изготовленные из специфических материалов, также требуют больших расходов по ремонту и их обслуживанию. Использование ВЭС и выработка электроэнергии с использованием солнечных батарей далеко не долговечные технологии. При этом возникают следующие вопросы. Что будет с оборудованием, составляющим основу этих «зеленых технологий», когда наступит срок их эксплуатации? Разве мы не получим большой объем отходов специфических вредных материалов, требующих утилизации? Это, несомненно, потребует разработки новых, уже на высоком уровне, технологий по их утилизации, которые будут сопровождаться большими капитальными и материальными затратами. Таким образом, внедряя новое, мы непременно, уже в ближайшем будущем можем столкнуться с новыми вызовами, которые потребуют кардинальных решений.

Перспективы использования угля в энергетической отрасли

Не умоляя «временные» достоинства «зеленых технологий», можно провести оценку использования угля для

выработки электроэнергии и тепла несколько с другой, положительной точки зрения.

Сегодня угольная отрасль республики обеспечивает выработку в Казахстане 78% электроэнергии, практически стопроцентную загрузку коксохимического производства. Ресурсы энергетического угля в полной мере обеспечивают потребности тепловых электростанций. Для удовлетворения спроса коммунального сектора быстро растущих урбанизированных территорий и, соответственно, численности их населения планируется увеличение добычи малозольного угля на Шубаркульском и Майкубенском месторождениях.

Балансовые запасы угля позволяют полностью обеспечить внутренние потребности и экспортировать значительные объемы угольной продукции.

В Казахстане преобладают низкокачественные угли и с высоким содержанием серы, которые покрывают более чем на 40% спрос на первичные энергоресурсы. Используемые в энергетике и промышленности угольные ресурсы характеризуются низким уровнем обогащения. Несоответствующий международным стандартам экспортируемый уголь реализуется на внешнем рынке по сравнительно невысоким ценам.

Выработка электроэнергии в республике производится на традиционных источниках – тепло- и гидроэлектростанциях (соответственно 88% и 12%).

Дискуссии о том, какой вид выработки электроэнергии будет преобладать в будущем, зависит от особенностей используемой технологии, и от того, как она решает экологические, технологические и экономические вопросы. В рассматриваемом ракурсе использование дешевого угля в качестве топлива для выработки электроэнергии является безальтернативным и перспективным направлением, если обеспечить условия экологической безопасности на действующих ТЭЦ. Этого можно достичь созданием: **а)** – инновационной технологии глубокой очистки отходящих газов ТЭЦ от SO_2 , NOx и других вредных веществ; **б)** – новых эффективных технологий утилизации золошлаковых отходов с «нулевым отходом», обеспечивающих высокое комплексное извлечение широкого спектра ценных металлов в товарные продукты с высокой добавленной стоимостью.

Решение указанных вопросов позволит существенно повысить эффективность ТЭЦ за счет вовлечения в переработку низкосольных, высококалорийных углей. Использование этих углей сегодня сдерживается высоким содержанием в них серы и отсутствием рациональных технологий очистки отходящих газов от SO_2 , NOx и утилизации золошлаковых отходов.

Низкая стоимость высококалорийных углей (рис.1) [1, 2] и активный переход действующих ТЭЦ на их использование значительно снизит нагрузку на окружающую среду за счет сокращения объемов золошлаковых отходов. Кроме того, это обеспечит решение вопроса ресурсосбережения, и самое главное, значительно снизит стоимость выработанной электроэнергии, что сократит тариф на розничную торговлю и повысит социально-экономическую эффективность предприятий. Большая научно-исследовательская работа в направлении создания новых технологий по утилизации отходящих газов и золошлаковых

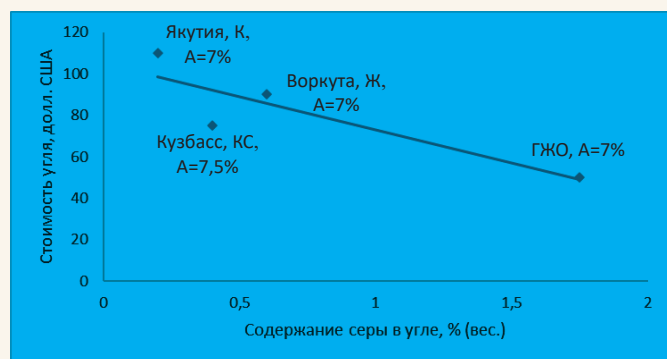


Рис. 1. Изменение цены коксующегося угля в зависимости от содержания серы в нем [1, 2].

Сурет 1. Кокстелетін көмірдің құрамындағы күкірт мөлшеріне байланысты бағасының өзгеруі [1, 2].

Figure 1. Change in the price of coking coal depending on the sulfur content in it [1, 2].

отходов ТЭЦ проведена и ведется по настоящее время учеными КазННТУ им. К.И. Сатпаева совместно с коллегами из Научного института имени Вейцмана (Израиль). Теоретические основы и экспериментальное обоснование новых инновационных технологий подробно освещены в ранее опубликованных работах [3-6].

На рис. 2 показана технологическая концепция технологии глубокой очистки отходящих газов ТЭЦ от SO_2 и NO_x с получением товарных продуктов – элементарной серы и/или серной кислоты.

Новая система десульфуризации дымовых газов (FGD) обеспечивает удаление диоксида серы (SO_2) из промышленных выхлопных газов с высокой эффективностью (до 95%) и значительно превосходит используемые в настоящее время технологии. Химический процесс отличается высокой селективностью по отношению к SO_2 и требует гораздо меньшего количества реагентов. Это снижает стоимость десульфуризации.

Методы улавливания SO_2 и NO_x на угольных электростанциях не менялись почти 40 лет. Внедрение разрабо-



Рис. 2. Концептуальная схема глубокой очистки отходящих газов ТЭЦ от SO_2 и NO_x .

Сурет 2. ЖЭО шығатын газдарды SO_2 және NO_x -тан терен газартудың тұжырымдамалық схемасы.

Figure 2. Conceptual scheme of deep purification of waste gases of CHP from SO_2 and NO_x .

танной технологии обеспечит более эффективное и безвредное для окружающей среды производство. При этом исключается образование шламовых отходов, получаемых по существующим технологиям.

Новая технология может избирательно перерабатывать SO_2 и NO_x в полезные соединения на основе серы, которые можно успешно направлять на сбыт. Эта процедура также может быть направлена на получение элементарной серы, инертного и нетоксичного соединения, которое можно хранить в течение длительного времени до тех пор, пока оно не потребуются для дальнейшего использования.

В настоящее время мир потребляет 80% добываемого угля, и с каждым годом извлекается все больше угля. Спрос на угольные электростанции, сталелитейные и цементные заводы в ближайшее время не уменьшится, однако, степень регулирования ими, несомненно, возрастет по мере роста осведомленности о воздействии на окружающую среду. Новая технология, обеспечивающая глубокую санитарную очистку отходящих газов ТЭЦ от SO_2 и NO_x при меньших затратах, создает потенциал для дальнейшего снижения затрат на вырабатываемую электроэнергию за счет использования переработанных продуктов серы.

Одним из принципиальных решений новых разработок является декарбонизация отходящих газов, предварительно очищенных от SO_2 и NO_x . Согласно технологии, утилизация CO_2 осуществляется электрохимическим способом, которая является заключительной стадией общей технологии очистки отходящих газов ТЭЦ от SO_2 , NO_x и CO_2 .

Технологическая схема декарбонизации отходящих газов и общий вид опытного электролизера показан на рис. 3.

При электролизе утилизируется 95% CO_2 с получением чистого кислорода и CO , пригодного для использования в качестве биотоплива [7].

Не менее важный вопрос, который решен нами – утилизация золошлаковых отходов и их использование в качестве дополнительного источника сырья для извлечения ценных металлов. Существующие методы переработки золы позволяют извлекать незначительный спектр ценных компонентов. В то же время, по вещественному составу золу можно рассматривать как самостоятельное сырье для комплексного извлечения целого спектра ценных металлов.

Создание и развитие новых наукоемких производств высоких переделов (5, 6 и 7 переделы), в первую очередь, требует применения редких и редкоземельных металлов, которые вполне могут быть получены из золы. Подход, направленный на извлечение из золы исключительно редкоземельных металлов (РЗМ) [8, 9, 10], не представляется перспективным, так как в этом случае теряется смысл комплексности использования сырья. В этой связи, разработанная в КазННТУ им. К.И. Сатпаева новая хлорирующая технология для утилизации золы с комплексным высоким извлечением из них ценных металлов в целевые товарные продукты представляется перспективной и актуальной.

Технологическая схема разработанной новой технологии представлена на рис. 4.

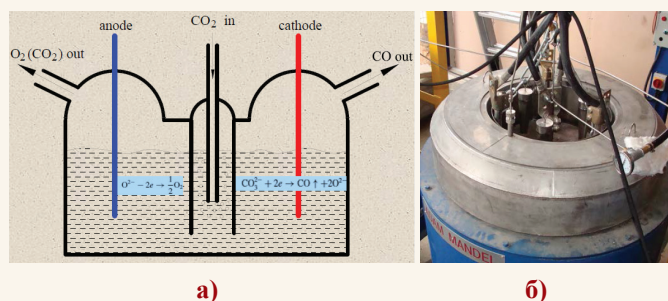


Рис. 3. Схема декарбонизации отходящих газов (а);
(б) – общий вид опытного электролизера.

Сурет 3. Шығатын газдарды декарбонизациялау
схемасы (а);

(б) – тәжірибелі электролизердің жалпы көрінісі.

Figure 3. Decarbonization scheme of exhaust gases (а);
(b) – a general view of the experimental electrolyzer.

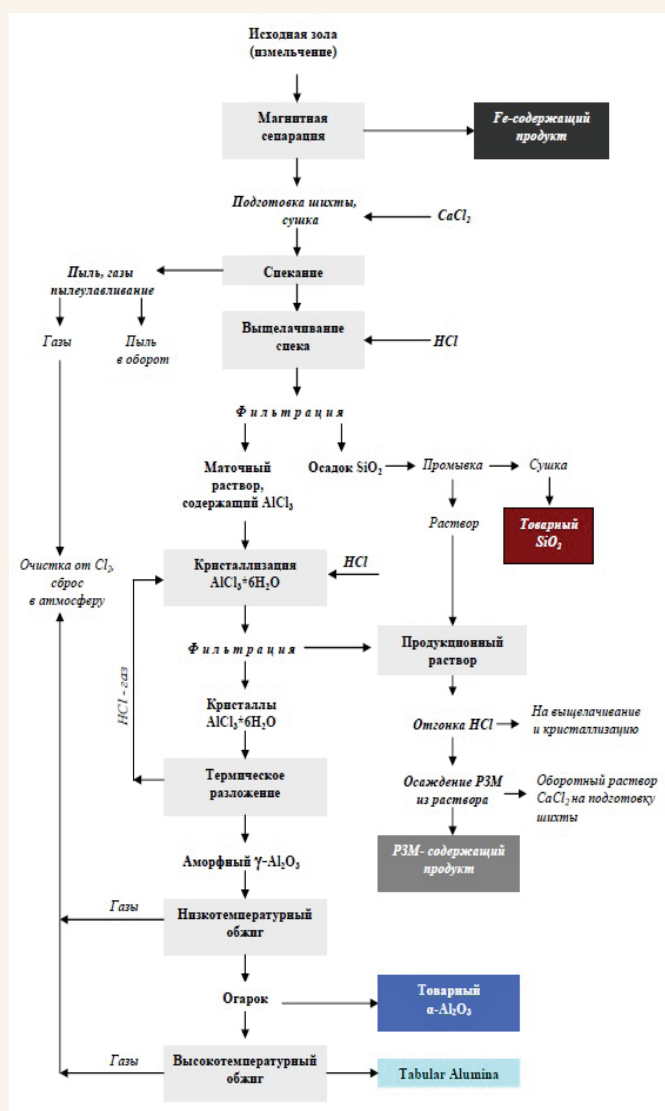


Рис. 4. Технологическая схема комплексной
переработки золы.

Сурет 4. Күлді кешенді өңдеудің технологиялық
схемасы.

Figure 4. Technological scheme of complex
ash processing.

Инновационная экологически чистая, эффективная безотходная технология для утилизации золы позволяет решить экологические проблемы и получить большой ассортимент конкурентоспособных товарных продуктов – железосодержащего концентрата, чистый оксид кремния, специализированный особо чистый оксид алюминия (Tabular Alumina) и РЗМ содержащий продукт в виде цинкового кека.

Заключение

Несмотря на рост альтернативных источников энергии во всем мире, уголь остается в числе наиболее важных источников энергии, на долю которого приходится около трети мирового потребления энергии со стабильным долгосрочным ростом. Уголь продолжает оставаться крупнейшим источником выработки электроэнергии в США. Также уголь является важным источником энергии в Азиатско-Тихоокеанском регионе с долей рынка почти 50%.

Рыночный потенциал технологии сжигания угля во многом определяется законодательством, направленным на сокращение выбросов парниковых газов, серы и золошлаковых отходов. Следует ожидать, что реализация Парижского соглашения повысит будущий спрос на системы FGD и новые технологии для утилизации золошлаковых отходов. Согласно последним отчетам, рынок FGD, как ожидается, достигнет 23,69 млрд долларов. Технология системы FGD в 2020 году достигла уровня 9,54 млрд долларов, увеличившись в среднем на 5,0%. Наибольший рост рынка FGD ожидается в Азиатско-Тихоокеанском регионе со среднегодовым темпом роста 7,7%.

Эффективность разработанных новых технологий подтверждена опытом эксплуатации на действующих промышленных ТЭЦ и котельных установках, а также результатами представительных полупромышленных (pilot plant) и промышленных испытаний [5, 7].

Внедрение разработанных инновационных технологий открывает широкие возможности для перспективного развития угольной отрасли и позволит обеспечить:

1. Экологизацию производства сжигания угля;
2. Интенсификацию производства выработки электроэнергии и тепла;
3. Развитие сопутствующих производств;
4. Извлечение ценных элементов из отходов;
5. Экспортный потенциал и конкурентоспособность предприятий;
6. Сохранение старых и создание новых рабочих мест.

Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2021-2023 годы по приоритетному направлению «Геология, добыча и переработка минерального и углеводородного сырья, новые материалы, технологии, безопасные изделия и конструкции» проекта №AP09259637 «Разработка высокоэффективной безотходной технологии для утилизации золы от сжигания угля с получением товарных продуктов».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Цена энергии: Формирование международных цен на уголь. Отчет Секретариата Энергетической Хартии. – Брюссель. – 2010. – С. 50 (на русском языке)
2. Gupta S., Singh Pahwa M., Gupta A. Инновационный метод корректировки цен на энергетический уголь: исследование функционирования в условиях меняющейся технологической среды // Глобальный журнал финансовых исследований в области менеджмента и бизнеса. – 2013. – №13(4). – С. 8-15 (на английском языке)
3. Dostmukhamedov N., Kaplan V. Очистка дымовых газов от SO₂ и NO_x с использованием расплавленной смеси карбонатов щелочных металлов // Международный журнал по подготовке и утилизации угля. – 2021. – С. 1-12 (на английском языке)
4. Досмухамедов Н.К., Егизеков М.Г., Жолдасбай Е.Е., Курмансейтов М.Б., Аргын А.А. Поведение NO_x при очистке отходящих газов ТЭС карбонатным расплавом щелочных металлов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2021. – №1. – С. 30-35 (на русском языке)
5. Kaplan V., Dostmukhamedov N., Zholdasbay E., Daruesh G., Argyn A. Глинозем и диоксид кремния, полученные хлорированием при переработке летучей золы электростанций // ЖМ. – 2020. – Вып. 72(10). – С. 3348-3357 (на английском языке)
6. Досмухамедов Н.К., Каплан В.А., Даруеш Г.С. Инновационная технология комплексной переработки золы от сжигания угля // Уголь. – 2020. – №1. – С. 58-63 (на русском языке)
7. Досмухамедов Н.К., Каплан В.А., Жолдасбай Е.Е., Курмансейтов М.Б., Аргын А.А. Электрохимическое восстановление CO₂ до CO в условиях электролиза карбоната лития при 900 °C // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2021. – № 3. – С. 59-66 (на русском языке)
8. Elliot Roth and other. Распределение и извлечение редкоземельных элементов из угля и побочных продуктов его переработки // Конференция «Мир угольной золы» в Лексингтоне. – 2017. – Май. – С. 9-11 (на английском языке)
9. Dwivedi A. and Jain M.K. Зола-унос – утилизация отходов и обзор: обзор последних исследований в области науки и техники. – 2014. – 6(1). – С. 30-35 (на английском языке)
10. Suhas V. Patil S.V., Nawle S.C., Kulkarni S.J. Промышленное применение золы-уноса: Обзор // Международный журнал научных, инженерных и технологических исследований (МЖНИТИ). – 2013. – Вып. 2, Т. 9. – Сентябрь. – С. 1659-1663 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Энергия бағасы: көмірдің халықаралық бағасын қалыптастыру. Энергетикалық Хартия Хатшылығының Есебі. – Брюссель. – 2010. – Б. 50 (орыс тілінде)
2. Gupta S., Singh Pahwa M., Gupta A. Энергетикалық көмір бағасын түзетудің инновациялық әдісі: өзгермелі жағдайларда жұмыс істеуді зерттеу // Менеджмент және бизнес саласындағы қаржылық зерттеулердің жаһандық журналы. – 2013. – №13(4). – Б. 8-15 (ағылшын тілінде)
3. Dostmukhamedov N., Kaplan V. Сілтілі металл карбонаттарының балқытылған қоспасын қолдана отырып, шығатын газдардан SO₂ және NO_x тазарту // Халықаралық көмірді дайындау және кәдеге жарату журналы. – 2021. – Б. 1-12 (ағылшын тілінде)
4. Досмухамедов Н.К., Егизеков М.Г., Жолдасбай Е.Е., Курмансейтов М.Б., Аргын А.А. ЖЭС шығатын газдарды сілтілі металдардың карбонатты балқымасымен тазарту кезінде NO_x бөлініп таралуы // Халықаралық қолданбалы және іргелі зерттеулер журналы. – 2021. – №1. – Б. 30-35 (орыс тілінде)
5. Kaplan V., Dostmukhamedov N., Zholdasbay E., Daruesh G., Argyn A. Электр станцияларының күл-ұшқындыларын хлорлау арқылы глинозем және кремний диоксидін алу // МЖ. – 2020. – Т. 72 (10). – Б. 3348-3357 (ағылшын тілінде)
6. Досмухамедов Н.К., Каплан В.А., Даруеш Г.С. Көмірді жағудан алынған күлді кешенді өңдеудің инновациялық технологиясы // Көмір. – 2020. – №1. – Б. 58-63 (орыс тілінде)
7. Досмухамедов Н.К., Каплан В.А., Жолдасбай Е.Е., Курмансейтов М.Б., Аргын А.А. 900 °C кезінде литий карбонатының электролизі жағдайында CO₂-ден CO-ға дейін электрохимиялық тотықсыздандыру // Халықаралық қолданбалы және іргелі зерттеулер журналы. – 2021. – №3. – Б. 59-66 (орыс тілінде)
8. Elliot Roth and other. Көмірден және оны өңдеудің жанама өнімдерінен сирек жер элементтерін бөлу және алу // Лексингтондағы «Көмір күлі әлемі» конференциясы. – 2017. – Мамыр. – Б. 9-11 (ағылшын тілінде)
9. Dwivedi A. and Jain M.K. Күл-ұшқындары – қалдықтарды басқару және шолу: шолу, ғылым мен техникадағы соңғы зерттеулер. – 2014. – 6 (1). – Б. 30-35 (ағылшын тілінде)

10. Suhas V. Patil S.V., Nawle S.C., Kulkarni S.J. Күл-ұшқындары өнеркәсінде қолданылуы: шолу // Халықаралық ғылыми, инженерлік және технологиялық зерттеулер журналы (XFITЗЖ). – 2013. – Т. 2, шығ. 9. – Қыркүйек. – Б. 1659-1663 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Cena energii: Formirovanie mezhdunarodnyh cen na ugol. [The price of energy: The formation of international coal prices]. Otchet Sekretariata Energeticheskoy Hartii. Bryussel. [Report of the Energy Charter Secretariat. – Brussels]. – 2010. – P. 50 (in Russian)
2. Gupta S., Singh Pahwa M., Gupta A. Innovative Price Adjustments Technique for Thermal Coal: A Study of operation Function under Changing Techno Environment // Global Journal of Management and Business Research Finance. – 2013. – Vol.13(4). – P. 8-15 (in English)
3. Dosmukhamedov N., Kaplan V. Flue gas purification from SO₂ and NO_x using molten mixture of alkali metal carbonates // International Journal of Coal Preparation and Utilization. – 2021. – P. 1-12 (in English)
4. Dosmukhamedov N.K., Egizekov M.G., Zholdasbay E.E., Kurmanseytov M.B., Argyn A.A. Povedenie NO_x pri ochistke othodyashih gazov TES karbonatnym rasplavom shelochnyh metallov [Behavior of NO_x during purification of waste gases of thermal power plants by carbonate melt of alkali metals] // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij [International Journal of Applied and Fundamental Research]. – 2021. – Vol.1. – P. 30-35 (in Russian)
5. Kaplan V., Dosmukhamedov N., Zholdasbay E., Daruesh G., Argyn A. Alumina and Silica Produced by Chlorination of Power Plant Fly Ash Treatment // JOM. – 2020. – Vol. 72(10). – P. 3348-3357 (in English)
6. Dosmukhamedov N.K., Kaplan V.A., Daruesh G.S. Innovacionnaya tehnologiya kompleksnoj pererabotki zoly ot szhiganiya uglya [Innovative technology of complex processing of ash from coal combustion] // Ugol' [Coal]. – 2020. – Vol.1. – P. 58-63 (in Russian)
7. Dosmukhamedov N.K., Kaplan V.A., Zholdasbay E.E., Kurmanseytov M.B., Argyn A.A. Elektrohimiicheskoe vosstanovlenie CO₂ do CO v usloviyah elektroliza karbonata litiya pri 900 °S [Electrochemical reduction of CO₂ to CO under conditions of electrolysis of lithium carbonate at 900 ° C] // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij [International Journal of Applied and Fundamental Research]. – 2021. – Vol.3. – P. 59-66 (in Russian)
8. Elliot Roth and other. Distributions and Extraction of Rare Earth Elements from Coal and Coal By-Products // World of Coal Ash Conference in Lexington. – 2017, May. – P. 9-11 (in English)
9. Dwivedi A. and Jain M.K. Fly ash – waste management and overview: A Review, Recent Research in Science and Technology. – 2014. – 6(1). – P.30-35 (in English)
10. Suhas V. Patil S.V., Nawle S.C., Kulkarni S.J. Industrial Applications of Fly ash: A Review // International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR). – 2013. – Vol. 2, Issue 9. – September. – P. 1659-1663 (in English)

Сведения об авторах:

Жолдасбай Е.Е., PhD, ведущий научный сотрудник кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), zhte@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9925-4435>

Аргын А.А., PhD, старший научный сотрудник кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), aidarargyn@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5001-4687>

Досмухамедов Н.К., к.т.н., профессор, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), n.dosmukhamedov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-1210-4363>

Авторлар туралы мәліметтер:

Жолдасбай Е.Е., PhD, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының жетекші ғылыми қызметкері Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Аргын А.А., PhD, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының аға ғылыми қызметкері Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

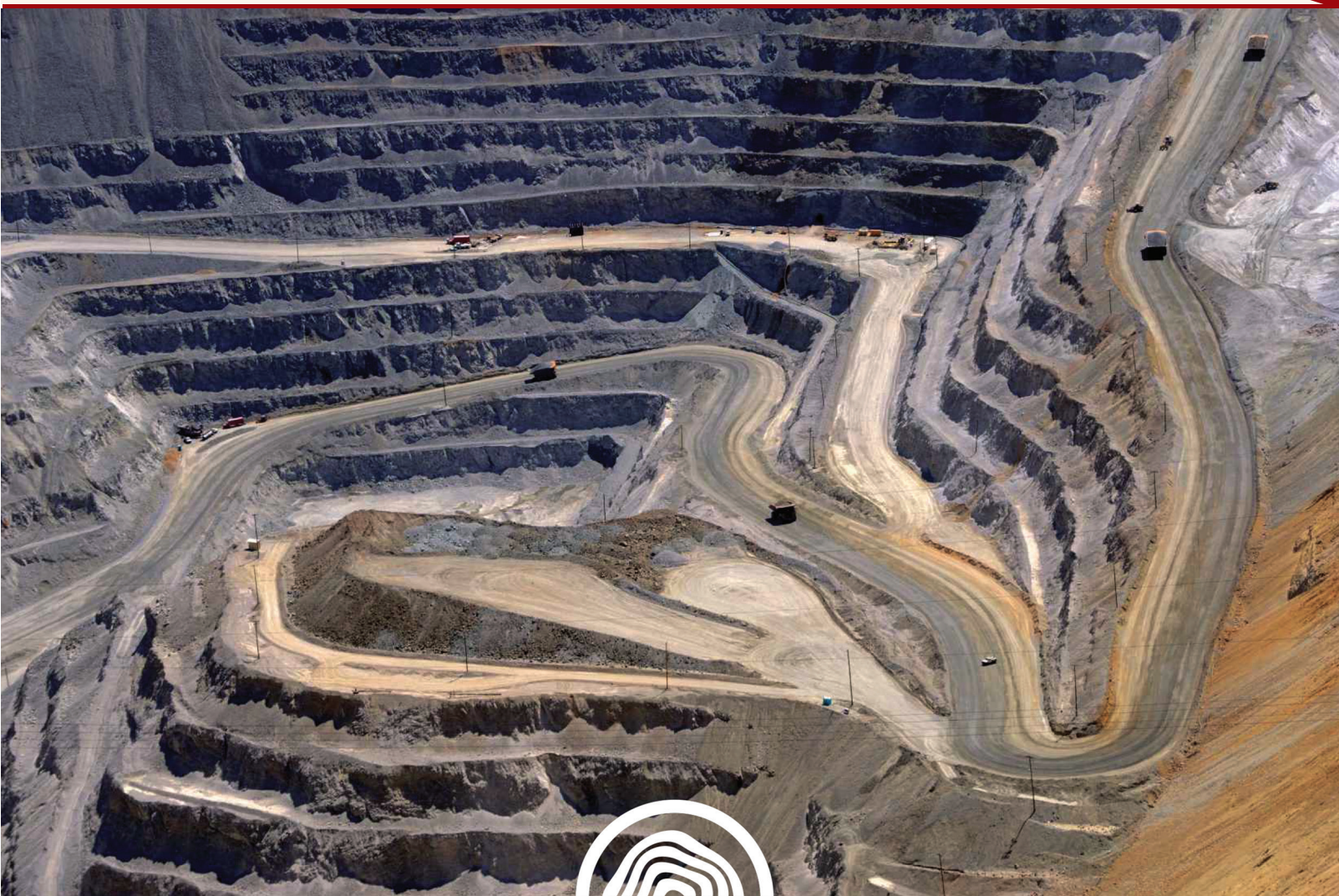
Досмухамедов Н.К., т.ғ.к., профессор, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Zholdasbay Ye. Ye., PhD, Leading researcher of the Department «Metallurgy and Mineral Processing» Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Argyn A.A., PhD, Senior Researcher of the Department of Metallurgy and Mineral Processing Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Dosmukhamedov N.K., Candidate of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Metallurgy and Mineral Processing Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)




AMM CONGRESS


1-2 июня 2023


Астана, Казахстан

ФОРУМ • ВЫСТАВКА • ЦЕРЕМОНИЯ НАГРАЖДЕНИЯ «ЗОЛОТОЙ ГЕФЕСТ»

+7 727 258 34 34

 amm.kz

 mining_shows_kaz

 miningmetals.kz

Код МРНТИ 52.45.23

*Y.B. Raiymbekov, P.A. Abdurazova, U.B. Nazarbek

Non-profit Joint Stock Company M. Auezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan)

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF ENRICHMENT OF LOW-GRADE PHOSPHATE RAW MATERIALS WITH ORGANIC ACID

Abstract. The phosphorus industry faces the challenge of developing low-grade phosphate reserves for industrial purposes, requiring technological solutions for enrichment. About 20 million tons of low-grade phosphorites are currently unsuitable for processing. Depleting phosphorite deposits and low phosphorus anhydride levels reduce global demand for domestic ore and necessitate research on enrichment and integrated use. This study aims to conduct a thermodynamic analysis of low-grade phosphate enrichment using acetic acid. Using the HSC Chemistry 9.3 program, developed by Finnish metallurgical company Outokumpu, the thermodynamic interactions of phosphate compounds and acetic acid were analyzed. It reveals that the reactions of phosphate raw materials with acetic acid are thermodynamically feasible, except for fluorapatite, iron (III) oxide, and silicon dioxide. Carbonate, aluminum-, and potassium-containing compounds in low-grade phosphate materials show the highest likelihood of interaction with acetic acid.

Key words: thermodynamic analysis, low-grade phosphate, enrichment, organic acid, acetic acid, phosphorite deposits, Gibbs energy, phosphate industry.

Төменсұрыпты фосфат шикізатын органикалық қышқылмен байытудың термодинамикалық талдауы

Аннотация. Фосфор өнеркәсібінің алдында байытудың технологиялық шешімдерін қажет ететін өнеркәсіптік мақсаттар үшін төмен сұрыпты фосфаттардың қорларын игеру міндеті тұр. Қазіргі уақытта 20 миллион тоннаға жуық төмен сұрыпты фосфориттер қайта өңдеуге жарамсыз. Фосфорит кен орындарының сарқылуы және фосфор ангидридін төмен деңгейі отандық рудаға жаһандық сұранысты төмендетеді және байыту мен кешенді пайдалану бойынша зерттеулерді қажет етеді. Бұл зерттеу сірке қышқылын қолдана отырып, төмен сұрыпты фосфаттарды байытуға термодинамикалық талдау жүргізуге бағытталған. Финдік Outokumpu металлургиялық компаниясы әзірлеген HSC Chemistry 9.3 бағдарламасының көмегімен фосфат қосылыстары мен сірке қышқылының термодинамикалық өзара әрекеттесуі талданды. Фосфат шикізатының сірке қышқылымен реакциясы фторпатит, темір (III) оксиді және кремний диоксидін қоспағанда, термодинамикалық тұрғыдан мүмкін екендігі анықталды. Төмен сұрыпты фосфат материалдарындағы карбонат, алюминий және калий бар қосылыстар сірке қышқылымен әрекеттесу ықтималдығын көрсетеді.

Түйінді сөздер: термодинамикалық талдау, төмен сұрыпты фосфаттар, байыту, органикалық қышқыл, сірке қышқылы, фосфорит кен орындары, Гиббс энергиясы, фосфат өнеркәсібі.

Термодинамический анализ обогащения низкосортного фосфатного сырья органическими кислотами

Аннотация. Перед фосфорной промышленностью стоит задача освоения запасов низкосортных фосфатов для промышленных целей, требующих технологических решений по обогащению. Около 20 млн тонн низкосортных фосфоритов в настоящее время непригодны для переработки. Истощение месторождений фосфоритов и низкий уровень ангидрида фосфора снижают глобальный спрос на отечественную руду и требуют исследований по обогащению и комплексному использованию. Это исследование направлено на проведение термодинамического анализа обогащения низкосортных фосфатов с использованием уксусной кислоты. С помощью программы HSC Chemistry 9.3, разработанной финской металлургической компанией Outokumpu, были проанализированы термодинамические взаимодействия фосфатных соединений и уксусной кислоты. Выявлено, что реакции фосфатного сырья с уксусной кислотой термодинамически осуществимы, за исключением фторпатита, оксида железа (III) и диоксида кремния. Карбонатные, алюминий- и калийсодержащие соединения в низкосортных фосфатных материалах проявляют наибольшую вероятность взаимодействия с уксусной кислотой.

Ключевые слова: термодинамический анализ, низкосортный фосфат, обогащение, органическая кислота, уксусная кислота, месторождения фосфоритов, энергия Гиббса, фосфатная промышленность.

Introduction

Phosphorus is one of the most abundant elements on earth. In terms of mineralogy, phosphorites are complex and varied in structure. Phosphorus is an integral part of all biological/physiological processes in plants and animals. In addition, phosphate minerals are a valuable natural resource widely used as mineral fertilizers [1].

Phosphorites occur in various geological environments and in many complex mineralogical structures. Representatives of the apatite group predominate in igneous and metamorphic rocks, in particular phosphorites of the fluorapatite type [2]. Depending on the form of formation, phosphorites are divided into two different genetic groups: marine and terrestrial. Marine phosphorites, in turn, consist of a lithologic classification as follows: fine-grained, granular, concretionary, and shelly. The assignment of such names is not accidental, since each of them depends on the characteristics of the geological formation, location at stratigraphic levels, geographical location.

In world practice, various methods of enrichment of phosphorites are known, such as flotation, separation, combined methods. Among the promising methods of enrichment of phosphorites are calcination and heat treatment, magnetic separation and treatment with various acids.

The mechanical method of enrichment of phosphorites is based on processes where drums of various types, sieves,

classifiers with crushers are used [3-4]. Thus, phosphorites required for industrial purposes by Kazphosphate LLP are subjected to mechanical cleaning and grinding at the Karatau mining complex. In the days of the Kazakh SSR, research work and practical tests were carried out on the basis of this institution on the use of various enrichment methods, including flotation. Flotation separation of carbonate-type phosphorite raw materials in an acidic medium was carried out with phosphoric acid as a reagent-suppressor of phosphate minerals (depressant), while synthetic fatty acids were used to separate carbonate-type compounds into a foamy product [5]. The use of the carbonate flotation method did not allow us to achieve the intended results. This is due to the fact that the flotation of phosphorites and carbonates plays an important role in the enrichment process, i.e. the size of the phosphorite grains.

In recent years, as one of the promising methods for the enrichment of low-grade phosphorites, researchers have proposed treatment with organic acid solutions. At the same time, the efficiency of dissolution of carbonates with these acids is high, they also have a low cost, technologically simple design. The possibilities for recovering used acid demonstrate the advantages of this method. In the course of analytical and patent research, organic acids such as formic, acetic, lactic, resinous, citric and maleic acids have been used in many studies to enrich low-grade phosphate raw materials. The main efficiency

of this method lies in the fact that organic acids have the property of selective decomposition of carbonate compounds in the composition of phosphorite. However, it does not affect the phosphate part.

One of the organic monocarboxylic acids, which is widely used in studies on the decomposition of carbonates, is acetic acid [6]. The availability and low cost of this acid on the market indicate the advantages of its use in the enrichment process.

Based on a systematic analysis and generalization of known data on methods, methods, technologies for enrichment of low-grade raw materials and waste from the phosphorus industry, researchers have proposed the use of organic acids as a promising method. In particular, the effectiveness of acetic acid in the selective leaching of carbonate compounds in phosphate raw materials has been proven. The aim of the study is to conduct a thermodynamic analysis of the process of enrichment of low-grade phosphate raw materials using acetic acid.

Research Methods

To conduct a thermodynamic analysis of the processes of enrichment of low-grade phosphorites with acetic acid, a modern, multifunctional, software package HSC 9.3 was used, based on the principle of maximum entropy and minimization of the Gibbs energy.

The calculation of changes in thermodynamic functions during a chemical reaction is an urgent and frequent problem, the solution of which allows answering a number of important questions. On the basis of a change in the Gibbs energy, one can assess the possibility of a spontaneous reaction proceeding in a certain direction. The magnitude of the enthalpy change is equal to the thermal effect of the reaction and opposite in sign, which means that the reaction is exo- or endothermic, releasing energy or absorbing it from the environment in the opposite direction. The value of the equilibrium constant determines the composition of the equilibrium with a given initial composition of the system in which the reaction occurs [7].

For heterogeneous reactions, the specified module Reaction Equations (Fig. 1) calculates the change in the values of enthalpy ΔH , entropy ΔS and Gibbs free energy ΔG in accordance with the following equations (1-3):

$$\Delta H_T = \sum s_i H_i(\text{product}) - \sum s_i H_i(\text{reagent}), \quad (1)$$

$$\Delta S_T = \sum s_i S_i(\text{product}) - \sum s_i S_i(\text{reagent}), \quad (2)$$

$$\Delta G_T = \sum s_i G_i(\text{product}) - \sum s_i G_i(\text{reagent}), \quad (3)$$

where: s_i – stoichiometric coefficients.

For a specific heterogeneous reaction, the value of the equilibrium constant (K) is closely related to the value of Gibbs free energy ΔG , and is calculated by the formula (4):

$$\ln K = -\frac{\Delta G_T}{RT}, \quad (4)$$

where: R – universal gas constant;
 T – temperature.

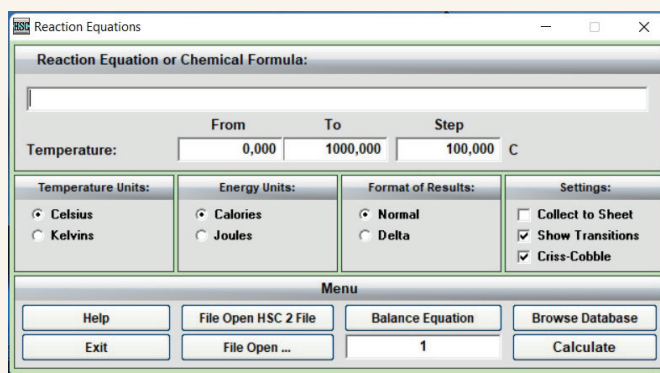
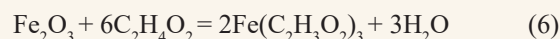
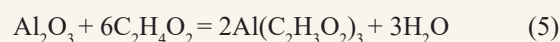
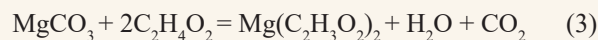
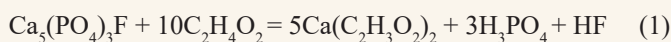


Figure 1. Reaction Equations Module.
Сурет 1. Реакция теңдеулерінің модулі.
Рис. 1. Модуль уравнений реакции.

The database of the program contains the values of the standard enthalpy, entropy, Gibbs energy of more than 17 thousand inorganic and organic compounds. The use of this database allows thermodynamic analyzes to be carried out in the temperature range chosen for a known reaction.

The interaction reactions of phosphate raw materials and the compounds contained in it with acetic acid are carried out according to the following equations:



It is shown that fluorapatite and acetic acid (1) proceed by reaction with the release of calcium acetate, phosphoric acid and hydrogen fluoride, which passes into the gas phase. As a result of the interaction of calcium and magnesium carbonates in phosphate raw materials with acetic acid, a substitution reaction occurs, acetate salts, water and carbon dioxide are released as a product. Since potassium and aluminate compounds are present in the composition of phosphate raw materials in the form of nepheline, their interaction with acetic acid is carried out with the formation of potassium and aluminum acetate products. The proposed chemical reactions are based on known data and, accordingly, are carried out on the basis of the mechanism of interaction of these compounds with acetic acid.

In the process of selective leaching under the action of acetic acid, carbonate, potassium and aluminate compounds contained in phosphate raw materials are involved. They are present in the solution in the form of acetate salts during the exchange reaction, and the phosphate part, compounds of silicon, iron, and calcium fluoride remain in the insoluble part of the pulp. Acetic acid, due to its chemical properties,

is a monocarboxylic acid, which is why it is among the protic polar solvents. This, in turn, is based on the fact that acetic acid contains hydrogen that can be split as the H^+ proton. The pK_a of acetic acid is $1.8 \cdot 10^{-5}$. In other studies [8], these data were substantiated and presented. Below are the results of the thermodynamic analysis of these chemical reactions and the mechanisms of their occurrence.

Results and Discussion

During the thermodynamic analysis, the temperature range of chemical processes from 0 to 100°C was chosen. The results of the thermodynamic analysis of chemical reactions during the enrichment of phosphorites with acetic acid, depending on the phosphate raw material and the compounds contained in it, are presented in the data of Tables 1-6.

Thermodynamic values of reaction (1)

(1) реакцияның термодинамикалық көрсеткіштері

Термодинамические показатели реакции (1)

Table 1

Кесте 1

Таблица 1

Therm. value	Temperature, °C										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
delta H, kcal	20.12	16.54	12.63	8.54	4.32	9.83	5.75	1.63	-2.52	-6.70	-10.89
delta S, cal/K	-222.20	-235.08	-248.63	-262.36	-276.05	-258.48	-270.91	-283.11	-295.04	-306.71	-318.11
delta G, kcal	80.82	83.10	85.52	88.08	90.77	93.36	96.01	98.78	101.67	104.68	107.8
K	2.132E-065	7.056E-065	1.713E-064	3.128E-064	4.407E-064	7.098E-064	1.023E-063	1.205E-063	1.184E-063	9.889E-064	7.137E-064
Log(K)	-64.67	-64.15	-63.76	-63.50	-63.35	-63.14	-62.99	-62.91	-62.92	-63.01	-63.14

From the data of table 1 above it follows that the reaction of interaction of fluorapatite with acetic acid thermodynamically does not proceed. As evidence, we can say that the Gibbs free energy (ΔG^0) has a positive value: at 10°C it is 80.82 kcal, increasing the temperature to 60°C it reaches $\Delta G^0 = 96.01$ kcal. It was shown that at 40°C there was a large change in the values of ΔH and ΔS , since the indicated reaction practically did not proceed. This situation is explained by the presence of entropy factors. That is, the slowing down of the enthalpy values in

Table 1 with increasing temperature leads to an increase in the values of ΔS , which, in turn, is explained by the property of the entropy factor to tend to the destruction and separation of particles.

The interaction of calcium and magnesium carbonates in the composition of fluorapatite with acetic acid indicates the thermodynamic probability of reactions (2)-(3), which have inverse values of ΔG^0 in the studied temperature zone according to the data in tables 2 and 3.

Thermodynamic values of reaction (2)

(2) реакцияның термодинамикалық көрсеткіштері

Термодинамические показатели реакции (2)

Table 2

Кесте 2

Таблица 2

Therm. value	Temperature, °C										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
delta H, kcal	-3.63	-2.82	-3.51	-4.25	-5.01	-5.80	-6.60	-7.42	-8.24	-9.07	-9.91
delta S, cal/K	-10.19	-7.18	-9.58	-12.05	-14.54	-17.01	-19.45	-21.86	-24.23	-26.55	-28.84
delta G, kcal	-0.85	-0.79	-0.70	-0.59	-0.46	-0.30	-0.12	0.08	0.31	0.56	0.84
K	4.78E+000	4.070E+000	3.360E+000	2.697E+000	2.110E+000	1.163E+000	1.207E+000	8.866E-001	6.405E-001	4.560E-001	3.205E-001
Log(K)	0.680	0.610	0.526	0.431	0.324	0.208	0.082	-0.052	-0.193	-0.341	-0.494

Table 3

Thermodynamic values of reaction (3)

Кесте 3

(3) реакцияның термодинамикалық көрсеткіштері

Таблица 3

Термодинамические показатели реакции (3)

Therm. value	Temperature, °C										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
delta H, kcal	-23.25	-19.71	-18.13	-16.88	-15.83	-14.91	-14.10	-13.38	-12.70	-12.08	-11.49
delta S, cal/K	-54.93	-42.07	-36.58	-32.39	-28.99	-26.11	-23.64	-21.49	-19.55	-17.81	-16.21
delta G, kcal	-8.25	-7.79	-7.40	-7.06	-6.75	-6.48	-6.23	-6.00	-5.80	-5.61	-5.44
K	4.024E+006	1.045E+006	3.332E+005	1.234E+005	5.185E+004	2.414E+004	1.225E+004	6.689E+003	3.892E+003	2.393E+003	1.544E+003
Log(K)	6.60	6.01	5.52	5.09	4.71	4.38	4.08	3.82	3.59	3.37	3.31

According to the results of the analysis, the interaction of calcium/magnesium carbonates with acetic acid leads to a decrease in the value of ΔG^0 as the process temperature increases. From the data in Tables 2 and 3 it follows that the ΔG values of magnesium carbonate exceed those of calcium carbonate. The values of enthalpy and entropy effect are also higher for magnesium.

In addition to carbonate compounds, the results of the analysis of the thermodynamic probability of the interaction of potassium and aluminum compounds in phosphate raw materials with acetic acid are shown in Tables 4, 5.

Table 4

Thermodynamic values of reaction (4)

Кесте 4

(4) реакцияның термодинамикалық көрсеткіштері

Таблица 4

Термодинамические показатели реакции (4)

Therm. value	Temperature, °C										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
delta H, kcal	-102.81	-100.52	-99.95	-99.57	-99.30	-99.10	-98.96	-98.86	-98.80	-98.76	-98.75
delta S, cal/K	-6.99	1.34	3.30	4.58	5.46	6.09	6.52	6.80	6.98	7.09	7.13
delta G, kcal	-100.90	-100.90	-100.92	-100.96	-101.01	-101.07	-101.13	-101.20	-101.27	-101.34	-101.41
K	5.481E+080	7.706E+077	1.769E+075	6.227E+072	3.199E+070	2.304E+068	2.249E+066	2.889E+064	4.766E+062	9.877E+060	2.522E+059
Log(K)	80.73	77.88	75.24	72.24	70.50	68.36	66.35	64.46	62.67	60.99	59.40

Table 5

Thermodynamic values of reaction (5)

Кесте 5

(5) реакцияның термодинамикалық көрсеткіштері

Таблица 5

Термодинамические показатели реакции (5)

Therm. value	Temperature, °C										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
delta H, kcal	-119.66	-109.97	-106.02	-102.95	-100.43	-98.26	-96.37	-94.70	-93.18	-91.79	-90.49
delta S, cal/K	-386.62	-351.49	-337.76	-327.46	-319.27	-312.44	-306.69	-301.75	-297.38	-293.49	-289.98
delta G, kcal	-14.05	-10.45	-7.01	-3.68	-0.45	2.70	5.79	8.84	11.83	14.79	17.70
K	1.774E+011	1.170E+008	1.683E+005	4.542E+002	2.072E+000	1.482E-002	1.568E-004	2.337E-006	4.725E-008	1.254E-009	4.247E-011
Log(K)	11.24	8.06	5.22	2.65	0.31	-1.82	-3.80	-5.63	-7.32	-8.90	-10.37

According to the above data, the fact that potassium and aluminum oxides can actively interact with acetic acid can be seen in the thermodynamic probability of reactions (4)-(5). Unlike alumina, potassium oxide reacts very actively because its ΔG^0 value is -100.90 kcal, and as the temperature increases, this value growth. However, since the value of the Gibbs free energy decreases between 10-40°C according to reaction (5), this value begins to acquire a positive value from 50°C.

The decomposition of potassium and aluminum oxides in acetic acid can be explained by the occurrence of these compounds in the composition of phosphate raw materials in the

form of a nepheline mineral. Nepheline is a rock-forming mineral, sodium/potassium aluminosilicate (Na,K)AlSiO₄ [9]. Dorfman M. D., Bussen I. V., Dudkin O. B. in studies conducted by the Academy of Sciences of the USSR, revealed some dissolution of nepheline in acetic acid [10]. Obviously, this information complements the data on the thermodynamic probability of these reactions.

The interaction of Fe₂O₃, another compound contained in phosphate raw materials with acetic acid, in the data of Table 6 shows that thermodynamic processes do not occur. The value of ΔG^0 in the temperature range of the subject has a positive value.

Table 6

Thermodynamic values of reaction (6)

Кесте 6

(6) реакцияның термодинамикалық көрсеткіштері

Таблица 6

Термодинамические показатели реакции (6)

Therm. value	Temperature, °C										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
delta H, kcal	-31.39	-28.89	-30.89	-33.01	-35.22	-37.49	-39.80	-42.14	-44.52	-46.91	-49.33
delta S, cal/K	-252.60	-243.31	-250.26	-257.38	-264.55	-271.67	-278.71	-285.65	-292.47	-299.16	-305.72
delta G, kcal	37.60	40.04	42.47	45.01	47.62	50.30	53.05	55.87	58.76	61.72	64.74
K	8.136E-031	1.319E-031	2.157E-032	3.535E-033	5.797E-034	9.511E-035	1.563E-035	2.575E-036	4.261E-037	7.088E-038	1.187E-038
Log(K)	-30.09	-30.88	-31.66	-32.45	-33.23	-34.02	-34.80	-35.58	-36.37	-37.14	-37.92

Conclusion

Thus, the determination of the thermodynamic probability of the interaction of phosphorite and the basic compounds contained in it with acetic acid allows us to draw the following conclusions:

- reactions of interaction of fluorapatite and iron oxide (III) with acetic acid are not carried out thermodynamically due to the positive value of the Gibbs free energy;
- thermodynamic probability of interaction of calcium and magnesium carbonates, potassium and aluminum oxides with

acetic acid in the composition of phosphate raw materials is carried out according to the following scheme: $K_2O > MgCO_3 > CaCO_3 > Al_2O_3$. In addition, since the value of ΔH^0 in these reactions has negative values, these reactions are exothermic.

Funding: The work was carried out at the M. Auezov South Kazakhstan University under the grant project AP15473115 for financing scientific research for 2022-2024, implemented by the Science Committee of the Ministry of Higher Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

REFERENCES

1. Aripov H.Sh., Dehkanov Z.K., Hoshimhonova M.A. Azotnokislotnoe obogashhenie fosforitov Central'nyh Kyzylkumov. Monografija. – London: LAP Lambert Academic Publishing, 2021. – P. 148 (in Russian)
2. Mihajlova I.A., Bondarenko O.B. Paleontologija. – M.: MGU, 2006. – P. 592 (in Russian)
3. Komarova Z.A. Material composition and washability of a sample of microgranular phosphorite ore of the Koku deposit (Kazakhstan) // Mining Information and Analytical Bulletin. – 2012. – No. 9. – P. 379-388 (in Russian)
4. Elkondieva G.B. The Karatau basin is the largest phosphate raw material base in Eurasia // Phosphate raw materials: production and processing: mater. intl. scientific-practical. conf. – M., 2012. – P. 21-30 (in Russian)
5. Kiperman Yu.A. Phosphates in the XXI century: monograph. – Almaty; Taraz; Zhanatas, 2006. – P. 208 (in Russian)

6. Gharabaghi M., Irannajad M., Noaparast M. A review of the beneficiation of calcareous phosphate ores using organic acid leaching // *Hydrometallurgy*. – 2010. – Vol. 103 (1). – P. 96-107 (in English)
7. Leal J.P. A análise do Programa «HSC Chemistry» // *Quimica*. – 1999. – Vol. 2 (75). – P.18. DOI: 10.52590/M3.P599.A3000899 (in French)
8. Fei X., Jie Zh., Jiyan Ch. Research on Enrichment of P₂O₅ from Low-Grade Carbonaceous Phosphate Ore via Organic Acid Solution // *J. Anal. Methods Chem.* – 2019. – Vol. 2019. – P. 9859580-1-985580-7. DOI: 10.1155/2019/9859580 (in English)
9. Bulakh A.G., Zolotarev A.A., Krivovichev V.G. *General mineralogy: textbook*. – M.: Academy, 2008. – P. 416 (in Russian)
10. Dorfman M.D., Bussen I.V., Dudkin O.B. Some data on the selective dissolution of minerals // *Proceedings of the Mineralogical Museum*. – 1959. – Vol. 9. – P. 167-171 (in Russian)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Арипов Х.Ш., Дехканов З.К., Хошимхонова М.А. Орталық Қызылқұмның фосфориттерін азот қышқылымен байыту. Монография. – Лондон: LAP Lambert Academic Publishing, 2021. – Б. 148 (орыс тілінде)
2. Михайлова И.А., Бондаренко О.Б. Палеонтология. – М.: ММУ баспаханасы, 2006. – Б. 592 (орыс тілінде)
3. Комарова З.А. Көксу кен орны (Қазақстан) микротүйіршікті фосфорит кені үлгісінің материалды құрамы және байытуға қабілеттілігі // *Тау-кен ақпараттық-аналитикалық бюллетень*. – 2012. – №9. – Б. 379-388 (орыс тілінде)
4. Елкондиева Г.Б. Қаратау бассейні – Еуразиядағы ең ірі фосфат шикізат базасы // *Фосфат шикізаты: өндіру және өңдеу: матер. халықаралық ғылыми-практикалық. конф.* – М., 2012. – Б. 21-30 (орыс тілінде)
5. Куперман Ю.А. 21 ғасырдағы фосфаттар: монография. – Алматы; Тараз; Жаңатас, 2006. – Б. 208 (орыс тілінде)
6. Gharabaghi M., Irannajad M., Noaparast M. Әк-фосфатты кендерді органикалық қышқылмен сілтілеу арқылы байытуға шолу // *Гидрометаллургия*. – 2010. – Шығ. 103 (1). – Б. 96-107 (ағылшын тілінде)
7. Leal J.P. «HSC Chemistry» бағдарламасын талдау // *Химия*. – 1999. – Шығ. 2 (75). – Б. 18. DOI: 10.52590/M3.P599.A3000899 (француз тілінде)
8. Fei X., Jie Zh., Jiyan Ch. Органикалық қышқыл ерітіндісімен төмен сұрыпты көміртегі фосфат кенінен P₂O₅ байытуды зерттеу // *Химиядағы аналитикалық әдістер журналы*. – 2019. – Шығ. 2019. – Б.9859580-1-985580-7. DOI: 10.1155/2019/9859580 (ағылшын тілінде)
9. Булах А.Г., Золотарев А.А., Кривовичев В.Г. *Жалпы минералогия: оқулық*. – М.: Академия, 2008. – Б. 416 (орыс тілінде)
10. Дорфман М.Д., Буссен И.В., Дудкин О.Б. Пайдалы қазбаларды іріктеп еріту туралы кейбір деректер // *Минералогиялық мұражай материалдары*. – 1959. – Шығ. 9. – Б. 167-171 (орыс тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арипов Х.Ш., Дехканов З.К., Хошимхонова М.А. Азотнокислотное обогащение фосфоритов Центральных Кызылкумов. Монография. – Лондон: LAP Lambert Academic Publishing, 2021. – С. 148 (на русском языке)
2. Михайлова И.А., Бондаренко О.Б. Палеонтология. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – С. 592 (на русском языке)
3. Комарова З.А. Вещественный состав и обогатимость пробы микрозернистой фосфоритовой руды месторождения Коксу (Казахстан) // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2012. – №9. – С. 379-388 (на русском языке)
4. Елкондиева Г.Б. Каратауский бассейн – крупнейшая фосфатная сырьевая база Евразии // *Фосфатное сырье: производство и переработка: матер. междунар. науч.-практ. конф.* – М., 2012. – С. 21-30 (на русском языке)
5. Куперман Ю.А. Фосфаты в XXI веке: монография. – Алматы; Тараз; Жанатас, 2006. – С. 208 (на русском языке)
6. Gharabaghi M., Irannajad M., Noaparast M. Обзор обогащения известково-фосфатных руд органохлоридным выщелачиванием // *Гидрометаллургия*. – 2010. – Вып. 103 (1). – С. 96-107 (на английском языке)
7. Leal J.P. Анализ программы «HSC Chemistry» // *Химия*. – 1999. – Вып. 2 (75). – С.18. DOI: 10.52590/M3.P599.A3000899 (на французском языке)

8. Fei X., Jie Zh., Jiyan Ch. Исследование обогащения P_2O_5 из низкосортной углеродофосфатной руды раствором органической кислоты // Журнал аналитических методов в химии. – 2019. – Вып. 2019. – С. 9859580-1-985580-7. DOI: 10.1155/2019/9859580 (на английском языке)
9. Булах А.Г., Золотарев А.А., Кривовичев В.Г. Общая минералогия: учеб. – М.: Академия, 2008. – С. 416 (на русском языке)
10. Дорфман М.Д., Буссен И.В., Дудкин О.Б. Некоторые данные по избирательному растворению минералов // Труды минералогического музея. – 1959. – Вып. 9. – С. 167-171 (на русском языке)

Information about authors:

Raiymbekov Y.B., PhD, Postdoctoral Fellow of the Department of Chemistry and Pharmaceutical Engineering, M. Auezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan), eplysr@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2119-2406>

Abdurazova P.A., PhD, Associate Professor of the Department of Chemistry and Pharmaceutical Engineering, M. Auezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan), abdurazova.perizat@okmpu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-5244-7678>

Nazarbek U.B., PhD, Associate Professor of the Department of Chemistry and Pharmaceutical Engineering, M. Auezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan), unazarbek@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8890-8926>

Авторлар туралы мәлімет:

Райымбеков Е.Б., PhD, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің, «Химия және фармацевтикалық инженерия» кафедрасының постдокторанты (Шымкент қ., Қазақстан)

Абдуразова П.А., PhD, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің, «Химия және фармацевтикалық инженерия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Шымкент қ., Қазақстан)

Назарбек У.Б., PhD, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің, «Химия және фармацевтикалық инженерия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Шымкент қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Райымбеков Е.Б., PhD, постдокторант кафедры «Химия и фармацевтическая инженерия» Южно-Казахстанского университета имени М.Ауэзова (г. Шымкент, Казахстан).

Абдуразова П.А., PhD, ассоциированный профессор кафедры «Химия и фармацевтическая инженерия» Южно-Казахстанского университета имени М. Ауэзова (г. Шымкент, Казахстан)

Назарбек У.Б., PhD, ассоциированный профессор кафедры «Химия и фармацевтическая инженерия» Южно-Казахстанского университета имени М.Ауэзова (г. Шымкент, Казахстан)

ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С УЧАСТИЕМ ИНОСТРАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ «ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГОРНОМ ДЕЛЕ»



ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

- Цифровые технологии и компьютерное моделирование объектов и процессов горного производства для решения задач рациональной и безопасной отработки месторождений полезных ископаемых
- Цифровые технологии в геомеханическом обеспечении горных работ
- Цифровые технологии для решения задач повышения полноты и комплексности извлечения полезных ископаемых из рудного и техногенного минерального сырья
- Цифровые технологии и компьютерное моделирование в решении экономических и экологических проблем горной отрасли

Заявки на участие принимаются по электронной почте conf2023@ksc.ru

Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, 184209 г. Апатиты Мурманской обл., ул. Фермана, д.24
Телефоны: (81555) 79567, (81555) 79268, факс: (81555) 74625



MinTech-2023

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ,
УГОЛЬНОЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

24-26 мая
г.Павлодар

30 мая - 1 июня
г.Усть-Каменогорск

18-20 октября
г.Актобе

КАЗАХСТАН



www.kazexpo.kz

БИЗНЕС-ТУРЫ НА ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ КАЗАХСТАНА



АО "УМЗ"



Акуская электростанция
АО "ЕЭК"



Донской ГЭК
АО ТНК "Казхром"



ТОО "Актюбинская
медная компания"

По вопросам участия
обращайтесь к организаторам:



тел: +7 (727) 250-75-19, 313-76-28,
моб: +7 707 456-53-07
e-mail: kazexpo@kazexpo.kz

Код МРНТИ 52.13.04

*А.Б. Жиенбаев¹, Г.Ж. Жунусбекова¹, М.А. Жараспаев², М.Ж. Балпанова¹¹Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан),²Товарищество с ограниченной ответственностью «Корпорация Казахмыс» (г. Жезказган, Казахстан)

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ ПРИ ПОВТОРНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. Экономическая целесообразность реализации подземной геотехнологии во многом зависит от эффективности управления состоянием горного массива вокруг подготовительных горных выработок. Анализ результатов исследований устойчивости горных выработок показывает их недостаточную адекватность реальным физическим процессам, происходящим в горном массиве вокруг подготовительных выработок при ведении горных работ, что сдерживает совершенствование способов управления его состоянием. Наибольшие трудности вызывает управление состоянием горного массива в районе сопряжений очистных и подготовительных выработок при повторной разработке запасов руды. Поэтому вопрос повышения эффективности разработки месторождений путем обеспечения соблюдения проектных параметров горных выработок с учетом зоны влияния очистных работ при повторной разработке месторождения является важной задачей как с практической, так и с научной точки зрения задачи, решение которой позволяет снизить затраты на единицу добываемого полезного ископаемого.

Ключевые слова: горная выработка, массив, смещения, деформация, напряжение, барьерный целик, междукамерный целик, прочность, крепление, горная порода.

Кен орнын қайта игеру кезінде тазарту жұмыстарының әсер ету аймағындағы тау-кен қазбаларының тұрақтылығын зерттеу

Андатпа. Жерасты геотехнологиясын іске асырудың экономикалық орындылығы көбінесе дайындық тау-кен жұмыстарының айналасындағы тау-кен массивінің жағдайын басқарудың тиімділігіне байланысты. Тау-кен қазбаларының орнықтылығын зерттеудің нәтижелерін талдау, олардың тау-кен жұмыстарын жүргізу кезінде дайындық қазбаларының айналасындағы тау-кен массивінде болатын нақты физикалық процесстерге жеткіліксіздігін көрсетеді, бұл оның жағдайын басқару тәсілдерін жетілдіруге кедергі келтіреді. Кен қорларын қайта өндіру кезінде тазарту және дайындау қазбаларының түйісу аймағындағы тау-кен массивінің күйін басқару үлкен қиындықтар туғызады. Сондықтан кенорнын қайта өндіру кезінде тазарту жұмыстарының әсер ету аймағын ескере отырып, тау-кен қазбаларының жобалық параметрлерін сақтауды қамтамасыз ету арқылы кен орындарын игерудің тиімділігін арттыру мәселесі практикалық және ғылыми тұрғыдан маңызды міндет болып табылады, және оны шешу өндірілетін пайдалы қазбалардың бірлігіне шығындарды азайтуға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: тау-кен қазбасы, сілем, жылжу, деформация, кернеу, тосқауыл кентірек, камерааралық кентірек, беріктік, бекітпе, тау-кен жыныстары.

Investigation of the stability of mine workings in the zone of influence of excavation work during the development of deposits

Annotation. The economic feasibility of implementing underground geo technology largely depends on the effective control of the mountain range condition around the preparatory mine workings. The analysis of the results of studies of the stability of mine workings shows their insufficient adequacy to the real physical processes originating in the mountain range around the preparatory workings during mining operations, which hinders the improvement of methods for controlling its condition. The greatest difficulties are caused by the control of the mountain range condition in the area of the interface of treatment and preparatory workings during the re-development of ore reserves. Therefore, the issue of improving the efficiency of field development by ensuring compliance with the design parameters of mine workings, taking into account the zone of influence of cleaning operations during the reconstruction of the field is the important task from both a practical and scientific point of view, the solution of which reduces the cost per unit of extracted minerals.

Keywords: mining excavation, massif, displacement, deformation, stress, barrier pillar, support pillar, strength, support, rock mass.

Введение

Актуальность исследования процессов изменения состояния пород вокруг горных выработок, особенно в зонах наиболее интенсивных проявлений опорного давления, в том числе и в зонах сопряжений очистных и подготовительных выработок всегда была важной задачей в горнодобывающей промышленности. Смещение пород в зонах сопряжений приводит к ухудшению их эксплуатационного состояния, снижению эффективности и безопасности ведения рабочих процессов. В основном это связано с отрицательным эффектом опорного давления в горном массиве [1, 2]. В определенной степени опорное давление в горном массиве связано со смещением боковых пород с образованием трещин в прилегающие горные выработки. Изменение естественной трещиноватости массива горных пород вокруг выработок – весьма важный вопрос, так как именно наличие и последующее развитие трещин способствуют разрушению приконтурного массива в виде обрушения,

вывалообразования и завала подготовительных выработок и на их сопряжениях.

Выявление закономерностей перераспределения горного давления при повторной разработке целиков, как правило, необходимо для комплексного обоснования геотехнологических решений, обеспечивающих устойчивость горных выработок, поддержание их в рабочем и безопасном состоянии в течение всего периода отработки и, следовательно, безопасное функционирование всех производственных структур шахты.

На сегодняшний день во многих рудных месторождениях (Жомарт, Саяк, Жаман-Айбат, Жиланды), где добыча ведется камерно-столбовой системой разработки с последующей выемкой целиков, устойчивость выработок в зоне влияния очистных работ является нерешенной проблемой. К примеру, после перехода ко второй стадии отработки запасов (извлечению целиков) на руднике Жомарт произошли многочисленные разрушения транспортных штреков, расположен-

ных вблизи выработанного пространства панелей. Постепенное извлечение междукамерных целиков и оседание налегающей толщи пород приводит к пригрузке опорным давлением самого жесткого предохранительного целика (барьерного целика) капитальных штреков шириной 85 м, расположенного в середине обширного выработанного пространства. Практически повсеместно наблюдался один и тот же механизм вывалов: раздавливание и осыпание многочисленных пропластков слабых пород и последующие отслоения крупных блоков крепких серых песчаников по субвертикальным природным трещинам или трещинам отрыва.

Методы исследований

В ноябре 2018 г. маркшейдерская служба выполнила массовые замеры (с шагом 1 м) габаритов транспортных и конвейерных штреков (табл. 1). Гистограммы, приведенные на рис. 1-2, показывают как наиболее часто встречающиеся (модальные) значения, так и существующие отклонения от средних. На локальных участках максимальные переборы высоты/ширины штреков бывают весьма значительными (до 2÷3 м).

Таблица 1

Размеры капитальных штреков

Кесте 1

Капитал штректерінің өлшемдері

Table 1

Dimensions of capital drifts

штреки	кол-во замеров	площадь сечения		средний перебор, м	
		факт. средняя, м ²	факт. проект.	высоты	ширины
транспортные 1,2,3,4	5181	33.0	140%	0.5	1.1
конвейерные 1, 2	684	37.3	160%	1.6	0.7

Площадь сечения транспортных штреков после отслоений (в среднем на длине 5,2 км) кровли на 0,5 м и бортов на 1,1 м увеличилась по сравнению с проектной на 40% и стала в среднем равной 33 м². Мощность разрушений (перебор габаритов) в бортах в 2 раза больше, чем в кровле. Этот факт означает, что основной причиной разрушений транспортных штреков является вертикальное опорное давление на предохранительный целик.

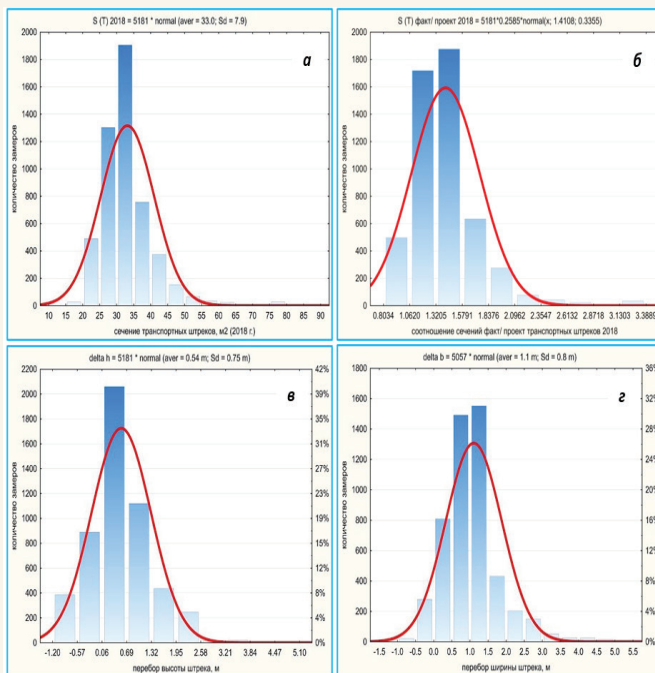


Рис. 1. Размеры транспортных штреков: а – фактическое сечение; б – соотношение фактического и проектного сечений; переборы габаритов после разрушений: в – высоты; г – ширины.

Сурет 1. Тасымалдау штректерінің өлшемдері: а – нақты қима; б – нақты және жобалық қиманың қатынасы; бұзылғаннан кейінгі өлшемдердің шектен шығуы: в – биіктігі; г – ені.

Figure 1. Dimensions of transport drifts: а – the actual cross-section; б – the ratio of the actual and design cross-sections; busting dimensions after destruction: в – height; г – width.

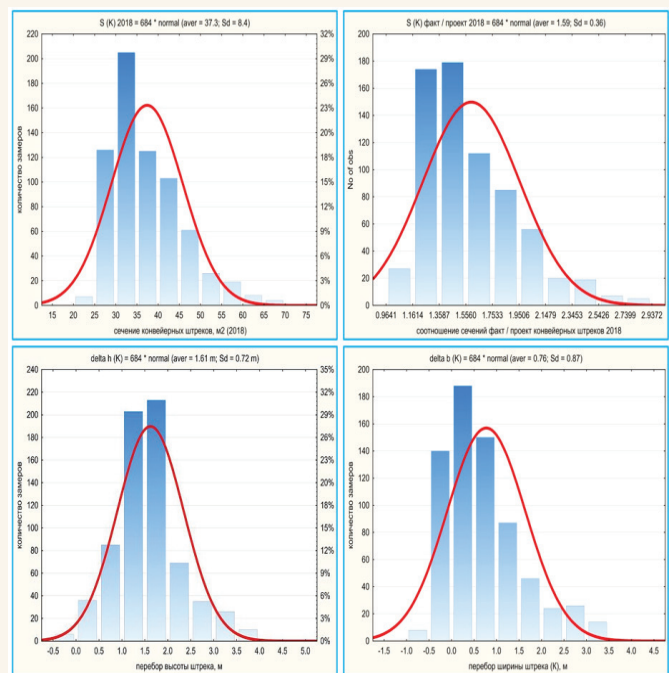


Рис. 2. Размеры конвейерных штреков (параметры сечений – те же).

Сурет 2. Конвейерлік штректерінің өлшемдері (қима параметрлері өзгермеген).

Figure 2. Dimensions of conveyor drifts (cross-section parameters are the same).

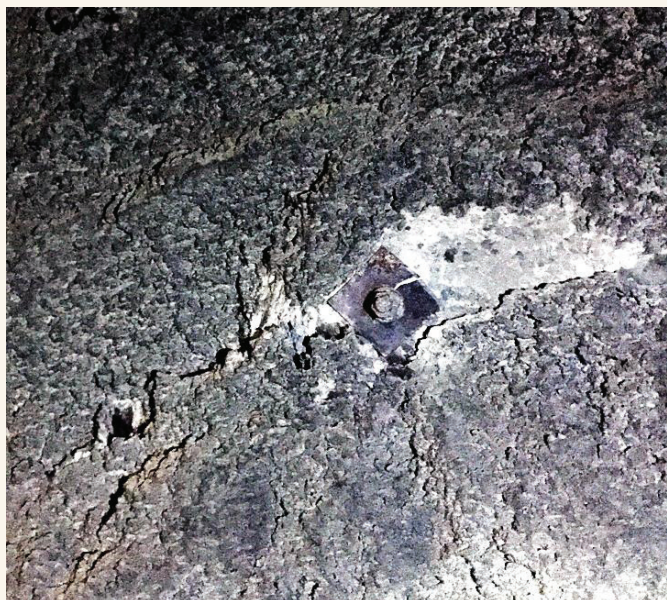


Рис. 3. Комбинированное крепление (анкеры + ТБК) бортов конвейерного штрека.

Сурет 3. Конвейерлік штректің борттарын аралас бекітпемен (анкер+торкертбетон) бекіту.

Figure 3. Combined fastening (anchor + TBK) of the sides of the conveyor drift.

На некоторых ограниченных участках борта конвейерных штреков закреплены анкерами + ТБК. Это эффективная крепь, которая предотвращает отслоения с бортов. Работоспособность данного крепления видна по смятию и даже разрывам опорных плиток (рис. 3). Т.е. натяжение анкеров после горизонтальных деформаций таково, что происходит смятие и разрывы опорных плиток.

Для доработки оставшихся целиков в центральном поле рудника Жомарт поднимается вопрос о прогнозе состояния капитальных горных выработок и перспективе извлечения их охранных целиков.

Предохранительный целик находится в центре выработанного пространства под большим давлением, которое будет только возрастать в ходе дальнейшей повторной разработки. Это делает проблематичным расположение полевого конвейерного штрека под целиком соосно с существующим конвейерным штреком.

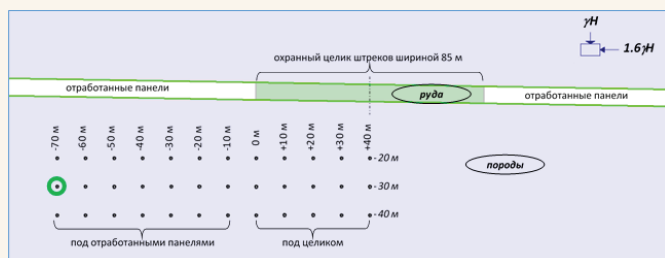


Рис. 4. Варианты заложения полевого конвейерного штрека.

Сурет 4. Далалық конвейерлік штрегінің өткізу нұсқалары.

Figure 4. Options for laying a field conveyor drift.

Рассмотрено 3 варианта глубины заложения полевого конвейерного штрека: ниже почвы залежи 4-1 на -20, -30, -40 м и 12 вариантов расположения относительно охранный целика (рис. 4): под целиком с удалением от его границы на 0, +10, +20, +30, +40 м и под выработанным пространством панелей с удалением от границы целика на -10, -20, -30, -40, -50, -60, -70 м. Всего рассмотрено 36 вариантов расположения полевого штрека.

Горные работы моделировались в разрезе вкост оси транспортных и конвейерных штреков на глубине $H = 600$ м. Пакет использованных в расчетах свойств трещиноватых массивов руды и пород приведен в табл. 2. Природное напряженное состояние массивов: гравитационное давление толщи пород $-\gamma H$, горизонтальные тектонические напряжения $-1,6\gamma H$ [3, 4].

Слева и справа от целика штреков смоделированы выработанные пространства панелей длиной 600 м в предположении, что и МКЦ, и БЦ извлечены, т.е. для ситуации, когда нагрузка на охранный целик максимальна. Распределение величин и направления действия максимальных напряжений σ_1 (для примера) показано на рис. 5.

Максимальные напряжения $\max\sigma$, которые будут действовать на контуре полевого конвейерного штрека, рассчитаны по известной формуле Б. Кирша [5, 6, 7, 8]: $\max\sigma = 3 \cdot \sigma_1 - \sigma_3$ и приведены в табл. 3 и на рис. 5.

С расчетной модели в точках возможного расположения полевого конвейерного штрека рассчитаны величины действующих в массиве максимальных σ_1 и минимальных σ_3 напряжений (табл. 4).

Результаты и их обсуждения

По результатам расчетов видно, что:

- заложение полевого штрека под целиком нецелесообразно, т.к. величины максимальных напряжений $\max\sigma$,

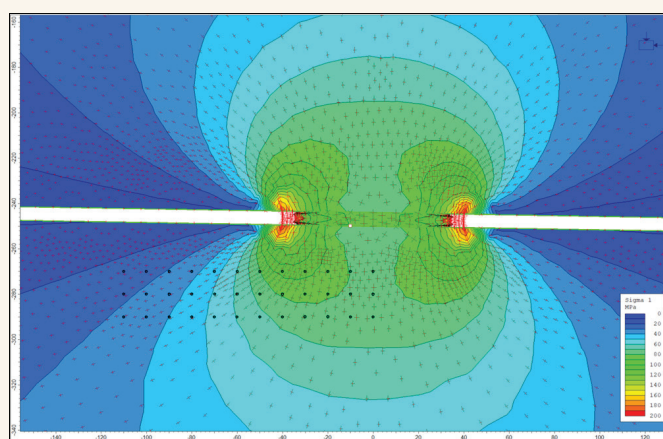


Рис. 5. Максимальные напряжения, действующие в окрестности охранный целика транспортных и конвейерных штреков.

Сурет 5. Көлік және конвейер штрекерінің сақтандырғыш кентеріктің маңында әрекет ететін максималды кернеулер.

Figure 5. Maximum stresses acting in the vicinity of the security rear of transport and conveyor drifts.

Таблица 2

Свойства массивов, использованные при моделировании

Кесте 2

Модельдеу кезінде қолданылатын массивтердің қасиеттері

Table 2

Array properties used in modeling

показатели	руда	породы
прочность в образце при одноосном сжатии, МПа	120	60
модуль упругости в образце, ГПа	27	20
коэффициент Пуассона	0.2	0.2
нарушенность керна RQD, %	88	88
показатель шероховатости трещин J_r	1	1
показатель выветрелости и заполнения трещин J_a	1	1
геологический индекс прочности GSI	67	67
коэффициент m_i	13	13
прочность массива при одноосном сжатии, МПа	35	17
прочность массива при растяжении, МПа	1	1
модуль деформации массива, ГПа	8	8

Таблица 3

Максимальные напряжения на контуре полевого штрека

Кесте 3

Далалық штрек контурындағы максималды кернеулер

Table 3

Maximum stresses on the field drift circuit

maxσ		удаление от границы целика под панели (-) или под целик (+), м											
		-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
заглубление, м	-20	71	80	92	109	135	178	228	257	239	205	186	179
	-30	82	94	108	125	148	178	205	221	218	205	195	190
	-40	93	105	116	133	149	173	190	199	203	198	195	194

Таблица 4

Действующие напряжения в массиве, МПа

Кесте 4

Массивтегі кернеулер, МПа

Table 4

Operating voltages in the array, MPa

			удаление от границы целика под панели (-) или под целик (+), м											
			-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
заглубление, м	-20	σ_1	24	27	31	37	46	61	80	94	93	85	80	78
		σ_3	1	1	1	2	3	5	12	25	40	50	54	55
	-30	σ_1	28	32	37	43	51	62	73	81	83	81	79	78
		σ_3	2	2	3	4	5	8	14	22	31	38	42	44
	-40	σ_1	32	36	40	46	52	61	68	73	76	76	76	76
		σ_3	3	3	4	5	7	10	14	20	25	30	33	34

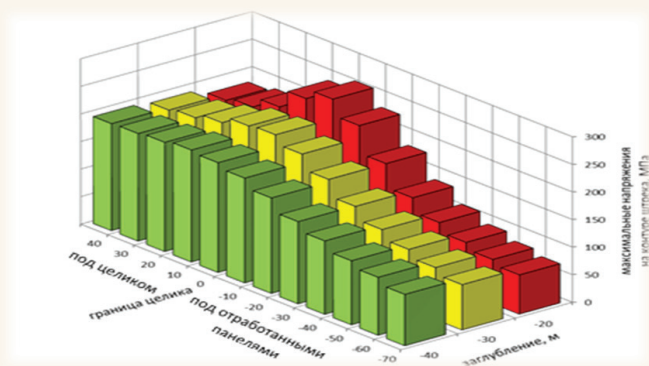


Рис. 6. Величины максимальных напряжений, действующие на контуре полевого штрека при его заложении в разных точках.
Сурет 6. Әр түрлі нүктелерде орналастырылған далалық штрек напряжений $\max\sigma$, контурындағы максималды кернеу $\max\sigma$ мәндері.
Figure 6. The values of the maximum stresses $\max\sigma$ acting on the contour of the field drift when it is laid at different points.

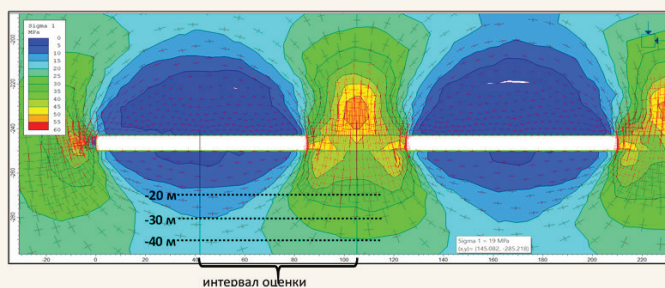


Рис. 7. Максимальные напряжения, действующие в окрестности погашенных панелей, разделенных барьерными целиками.
Сурет 7. Тосқауыл кентіректерімен бөлінген сөндірілген панельдердің маңында әрекет ететін максималды кернеулер.
Figure 7. Maximum stresses acting in the vicinity of extinguished panels separated by barrier pillars.

возникающие на его контуре, значительно превышают прочность массива и руды (серых песчаников) и пород;

- наименьшие значения $\max\sigma$ на контуре полевого штрека наблюдаются при его заложении на -30 м глубже почвы отработанной залежи 4-1 и на удалении -70 м от границы охранного целика. Даже в этом случае действующие напряжения в кровле штрека будут больше прочности пород. Точка рекомендуемого заложения полевого штрека (на удалении -70 м от границы целика и -30 м ниже почвы выработанного пространства) в табл. 2 залита зеленым цветом, а на рис. 9 – выделена зеленым кругом.

При заложении полевого конвейерного штрека под выработанным пространством он будет пересекать неотработанные БЦ. Чтобы оценить состояние полевого штрека под БЦ, аналогичное численное моделирование выполне-

но в разрезе вдоль оси конвейерного штрека (вкрест осей БЦ). Распределение величин и направлений максимальных напряжений σ_1 , действующих в массиве, показано на рис. 7.

Панели шириной 85 м и БЦ шириной 40 м периодически повторяются [9, 10, 11]. Поэтому для оценки состояния полевого штрека (пунктирные линии с разной глубиной заложения на рис. 7) выбран интервал от середины панели до середины БЦ. Эпюры расчетных значений σ_1 , σ_3 , $\max\sigma$ по оси полевого штрека при разных глубинах его заложения приведены на рис. 8.

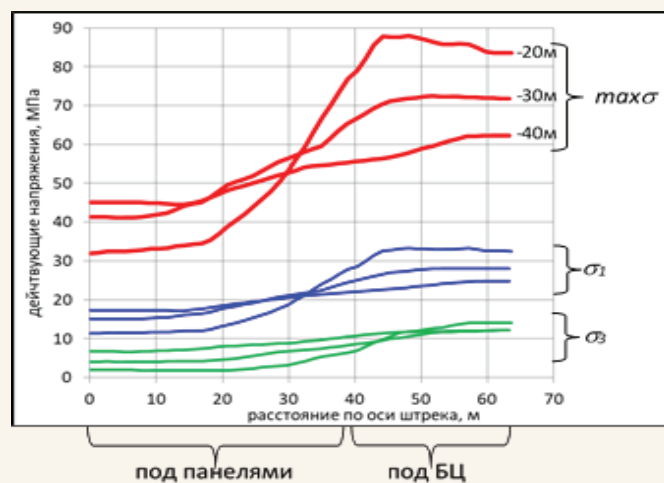


Рис. 8. Величины напряжений, действующих в массиве σ_1 , σ_3 и на контуре полевого штрека $\max\sigma$ при разной глубине его заложения.
Сурет 8. Массивте σ_1 , σ_3 және әр түрлі тереңдіктегі далалық штрек контурында әрекет ететін кернеулердің $\max\sigma$ мәндері.
Figure 8. The values of the stresses acting in the array σ_1 , σ_3 and on the contour of the field drift $\max\sigma$ at different depths of its laying.

Рис. 8 показывает, что при заложении полевого штрека на глубине -20 м ниже почвы погашенных панелей максимальные напряжения на его контуре становятся достаточно большими. Именно поэтому в качестве оптимальной выбрана глубина заложения полевого конвейерного штрека -30 м.

Закключение

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что полевые капитальные выработки необходимо проектировать на глубине не менее, чем на -30 м от почвы отработанной залежи 4-1 и на удалении -70 м от границы охранного целика. По возможности необходимо выбирать глубину заложения штрека в слое более крепких серых песчаников. А также при проектировании трассы полевого штрека в плане необходимо избегать заложения штрека вдоль тектонических разломов и использовать «разрешенные» направления проходки.

Данные исследования были проведены благодаря гранту №AP14972873 Комитета по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мустафин М.Г., Жараспаев М.А. Оценка напряженного состояния барьерного целика для выбора технологических параметров повторной разработки рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – №6 (специальный выпуск 16). – С. 16-22. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-6-16-16-22 (на русском языке)
2. Martin C.D., Maybee W.G. The strength of hard-rock pillars. – *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 37 (2000). – С. 1239-1246 (на английском языке)
3. Измерения напряженно-деформированного состояния горного массива на месторождении Жаман-Айбат. – Отчет Горного института УрО РАН, Пермь, 2013. – С. 68 (на русском языке)
4. Отчет НИР. Прогноз геомеханической ситуации в поле рудника Жомарт 2. №04-3.1.4-9-140 от 15.05.2021 г. (на русском языке)
5. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. – М., Недра, 1983. – С. 280 (на русском языке)
6. Линьков А.М., Петухов И.М., Тлеужанов М.А. Новые методы расчета целиков. – ФТПРПИ. – 1984, №3. – С. 13-28 (на русском языке)
7. Zipf, R.K. (1999). Catastrophic Collapse of Highwall Web Pillars and Preventative Design Methods. Proc. 18th Int. Conf. on Ground Control in Mining. West Virginia University, Morgantown, WV, – С. 18-28 (на английском языке)
8. Zipf, R.K. (2001). Pillar Design to Prevent Collapse of Room-and-Pillar Mines. – *Underground mining method: engineering fundamentals and international case studies. Charter 59 / Ed. by William A. Hustrulid and Richard L. Bullock. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME).* – С. 493-511 (на английском языке)
9. Заключение по рекомендуемым параметрам отработки целиков первой очереди рудника Жомарт. №01-7.10.2.4-9-263 от 05.10.2022 г. (на русском языке)
10. Оценка текущей геомеханической ситуации на руднике Жомарт для обоснования условий его дальнейшей отработки. – Жезказган, 2020 (на русском языке)
11. Технологическая инструкция по креплению горных выработок на руднике Жомарт. – Жезказган, 2020 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Мустафин М.Г., Жараспаев М.А. Кенді кен орындарын қайта игерудің технологиялық параметрлерін таңдау үшін тосқауыл кентіректерінің кернеулі жай-күйін бағалау // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. – 2019. – №6 (арнайы шығарылым 16). – Б. 16-22. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-6-16-16-22 (орыс тілінде)
2. Мартин К. Д., Мэйби В. Г. (2000). Қатты тау жыныстардың кентіректерінің беріктігі. – *Тау жыныстары механикасы және тау-кен ғылымдарының халықаралық журналы* №37. – Б. 1239-1246 (ағылшын тілінде)
3. Жаман-Айбат кен орнындағы тау сілемінің кернеулі-деформацияланған жай-күйін өлшеу. – РГА УрО тау кен институтының есебі. – Пермь, 2013. – Б. 68 (орыс тілінде)
4. ҒЗЖ есебі. Жомарт кенішіндегі геомеханикалық жағдайдың болжамы. №04-3.1.4-9-140 бастап 15.05.2021 ж. (орыс тілінде)
5. Петухов И.М., Линьков А.М. Тау кен лақтырыстары мен соққыларының механикасы. – М., Недра, 1983. – Б. 280 (орыс тілінде)
6. Линьков А.М., Петухов И.М., Тлеужанов М.А. – 1984. Кентіректердің еспетеудің жаңа әдістері. – ФТПРПИ, №3. – Б. 13-28 (орыс тілінде)
7. Ципф, Р. К. (1999). Қоршау конструкцияларының тіректерінің апатты құлауы және алдын алу жобалау әдістері. 18-ші басылым. Тау-кен өнеркәсібіндегі жерді басқару конференциясы. Батыс Вирджиния Университеті, Моргантаун, WV. – Б. 18-28 (ағылшын тілінде)
8. Ципф, Р. К. (2001). Камера және бағаннан тұратын шахталардың құлауын болдырмау үшін тіректердің конструкциясы. – *Жерасты тау-кен әдісі: инженерлік негіздер және халықаралық жағдайлық зерттеулер. ред. Уильям А. Хаструлид пен Ричард Л. Буллок. Тау-кен қоғамы, металлургия және геологиялық барлау жұмыстары қоғамы (SME).* – Б. 493-511 (ағылшын тілінде)
9. Жомарт кенішінің бірінші кезегінің кентіректерін алудың ұсынылған параметрлері бойынша қорытынды. №01-7.10.2.4-9-263 бастап 05.10.2022 ж. (орыс тілінде)
10. Жомарт кенішіндегі геомеханикалық жағдайды одан әрі өндіру шартын негіздеу үшін бағалау. – Жезказган, 2020 ж. (орыс тілінде)
11. Жомарт кенішіндегі тау-кен қазбаларын бекіту бойынша технологиялық нұсқаулық. – Жезказган, 2020 ж. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Mustafin M.G., Zharaspaev M.A. Ocenka napryazhennogo sostoyaniya bar'ernogo celika dlya vybora tekhnologicheskikh parametrov povtornoj razrabotki rudnyh mestorozhdenij // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. – 2019. – №6 (special'nyj vypusk 16). – P. 16-22. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-6-16-16-22 (in Russian)
2. Martin C.D., Maybee W.G. The strength of hard-rock pillars. – *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 37 (2000). – P.1239-1246 (in English)
3. Izmereniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gornogo massiva na mestorozhdenii ZHaman-Ajbat. – *Otchet Gornogo instituta UrO RAN.* – Perm', 2013. – P. 68 (in Russian)
4. Otchet NIR. Prognoz geomekhanicheskoy situacii v pole rudnika ZHornart 2. №04-3.1.4-9-140 ot 15.05.2021 (in Russian)
5. Petuhov I.M., Lin'kov A.M. Mekhanika gornyh udarov i vybrosov. – M., Nedra, 1983. – P. 280 (in Russian)
6. Lin'kov A.M., Petuhov I.M., Tleuzhanov M.A. Novye metody rascheta celikov. – *FTPRPI*, – 1984, №3. – P. 13-28 (in Russian)
7. Zipf, R.K. (1999). Catastrophic Collapse of Highwall Web Pillars and Preventative Design Methods. *Proc. 18th Int. Conf. on Ground Control in Mining.* West Virginia University, Morgantown, WV, – P. 18-28 (in English)
8. Zipf, R.K. (2001). Pillar Design to Prevent Collapse of Room-and-Pillar Mines. – *Underground mining method: engineering fundamentals and international case studies.* Charter 59 / Ed. by William A. Hustrulid and Richard L. Bullock. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME). – P. 493-511 (in English)
9. Zaklyuchenie po rekomenduемым parametram otrabotki celikov pervoj ocheredi rudnika ZHornart. №01-7.10.2.4-9-263 ot 05.10.2022 (in Russian)
10. Ocenka tekushchej geomekhanicheskoy situacii na rudnike zhornart dlya obosnovaniya uslovii ego dal'nejshej otrabotki. – *ZHezkazgan*, 2020 (in Russian)
11. Tekhnologicheskaya instrukciya po krepleniyu gornyh vyrabotok na rudnike ZHornart. – *ZHezkazgan*, 2020 (in Russian)

Сведения об авторах:

Жиенбаев А.Б., докторант НАО «Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), zhienbaev@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4347-8608>

Жунусбекова Г.Ж., докторант НАО «Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), gaukhar.zhumasheva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2842-270X>

Жараспаев М.А., зам. начальника геомеханического отдела ГОК ТОО «Корпорация Казахмыс» (г. Жезказган, Казахстан), zharaspaev_m_a@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5304-5526>

Балпанова М.Ж., преподаватель кафедры механики НАО «Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), balpanova86@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1513-5317>

Авторлар туралы мәліметтер:

Жиенбаев А.Б., КЕАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университет» докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан)

Жунусбекова Г.Ж., КЕАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университет» докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан)

Жараспаев М.А., ЖШС КБК «Қазақмыс Корпорациясы» геомеханикалық бөлімнің бастық орынбасары (Жезказған қ., Қазақстан)

Балпанова М.Ж., КЕАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университет» механика кафедрасының оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Zhienbayev A.B., doctoral student of the NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Zhunusbekova G.Zh., doctoral student of the NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Zharaspaev M.A., deputy.the head of the Geomechanical Department of GOK Kazakhmys Corporation LLP (Zhezkazgan, Kazakhstan)

Balpanova M.Zh., lecturer of the Department of Mechanics of the NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)



miningmetals

CENTRAL ASIA

28-я Центрально-Азиатская
Международная Выставка
ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ДОБЫЧА И
ОБОГАЩЕНИЕ РУД И МИНЕРАЛОВ


20 - 22 сентября 2023
Алматы, Казахстан




Организаторы

Iteca - тел.: +7 727 258 34 34



 [mining-metals.kz](https://t.me/mining-metals.kz)

 [mining_shows_kaz](https://www.instagram.com/mining_shows_kaz)

 [miningmetals.kz](https://www.facebook.com/miningmetals.kz)

Код МРНТИ 52.13.04

*Ы. Жакыпбек, Т. Калыбеков, А.С. Әбен, С.В. Турсбеков
Satabayev University (Алматы қ., Қазақстан)

МАЛЕЕВ КЕН ОРНЫНЫҢ МЫСАЛЫНДА ЛАЗЕРЛІК СКАНЕРЛЕУДІ ҚОЛДАНУ ТИІМДІЛІГІ

Аннотация. Жерасты шахталарын үнемі қадағалау үшін визуалды бақылауға немесе дискретті орналастырылған тікелей байланыс өлшеу датчиктеріне сүйенеді. Мұндай тәсілдер қолмен жасалынады және көбінесе шахта қызметкерлеріне өте қауіпті және өлшеу жұмыстарының дәлдігі жоғары болмауы мүмкін. Осыған байланысты тау-кен кәсіпорындарында өндірістік процестерде геодезиялық және маркшейдерлік өлшеу жұмыстарын қамтамасыз етуде лазерлік сканерлеу кенорындарын уақтылы бақылауға мүмкіндік береді. Зерттеулер лазерлік сканер шахтадағы өзгерістерді анықтауда, тазарту жұмыстарының тиісінше орындалуын бақылауда және жерасты құрылымын картаға түсіруде маркшейдерге өлшеу жұмыстарын жүргізуде қажетті дәлдікке қол жеткізуге болатындығы келтірілген. Сондықтан мақалада жерасты қазбаларындағы бос қуыстарды лазерлік сканерлеудің тиімділігі жан-жақты қарастырылды.

Түйінді сөздер: кен орны, жерасты, игеру, модель, Optech CMS, лазерлік сканер, бос қуыс, Datamine, мүсіріп, 3D.

The effectiveness of the use of laser scanning on the example of the Maleev deposit

Abstract. It relies on visual monitoring or discretely placed direct contact measurement sensors to continuously track underground mines. Such approaches are made manually and are often very dangerous for mine workers, and the accuracy of measuring work may not be high. In this regard, laser scanning allows timely monitoring of deposits in the provision of Geodetic and surveying measurements in production processes at Mining Enterprises. The studies show that the laser scanner can achieve the necessary accuracy in detecting changes in the mine, monitoring the thorough execution of cleaning operations, and mapping the underground structure to the surveyor in carrying out the measurements. Therefore, the article will comprehensively consider the effectiveness of laser scanning of empty cavities in underground excavations.

Key words: deposit, underground, development, model, Optech CMS, laser scanner, voids, datamine, survey, 3D.

Эффективность применения лазерного сканирования на примере Малеевского месторождения

Аннотация. Для постоянного наблюдения за подземными шахтами используются визуальное наблюдение или дискретно размещенные датчики прямого контактного измерения. Такие подходы выполняются вручную и часто очень опасны для персонала шахты, и точность измерительных работ может быть не такой высокой. В связи с этим, обеспечение геодезических и маркшейдерских измерительных работ в производственных процессах на горных предприятиях позволяет своевременно контролировать лазерные сканирующие устройства. Исследования показывают, что лазерный сканер может достичь необходимой точности в обнаружении изменений в шахте, контроле тщательного выполнения очистных работ и картографировании подземных сооружений для маркшейдера при проведении измерительных работ. Поэтому в статье подробно рассматривается эффективность лазерного сканирования пустых полостей в подземных выработках.

Ключевые слова: месторождение, подземные выработки, разработка, модель, Optech CMS, лазерный сканер, пустот, Datamine, съемка, 3D.

Кіріспе

Әлемде соңғы жылдары минералды ресурстарға сұраныс елдердің әлеуметтік және экономикалық қажеттіліктерінің артуына байланысты күрт өсті. Пайдалы қазбаларды ашық және жерасты тәсілімен игеру барысында тереңдігі мен көлемі біртіндеп артуда. Жер астындағы тереңдікте жоғары кернеу жағдайында игеру жұмыстарын жүргізу тау жыныстарының құлауы, деформациялар және топырақтың құрылымының бұзылуы сияқты проблемаларды тудырумен қатар, өндірістің кешігуіне, тоқтап қалуына, жұмысшылардың денсаулығына және қауіпсіздігіне елеулі әсер етеді [1,2]. Сондықтан, тұрақты өндірісті қамтамасыз ету және қауіпсіздік тәуекелдерін азайту үшін жерасты шахталарын жүйелі түрде зерттеу және тиімді басқару қажет.

Жерасты шахталарындағы әдеттегі бақылау тек белгілі бір жұмыс командасының тәжірибесіне тәуелді визуалды немесе дәстүрлі бақылау тәсілдеріне сүйенеді. Ал жерасты шахталарын бақылауға арналған геотехникалық датчиктер қондырғыға жақын орналасқан аумақта дәлдігі жоғары мәліметтер береді және алыс орналасқан аумақта дәлдігі жоғары мәлімет алуға мүмкіндік болмайды. Сонымен қатар, жиналған деректерді өңдеу өте ұзақ уақытты қажет етеді, жоғары дәлдікке қол жеткізу мүмкін болмайды және кәсіпорын үшін тиімсіз болып саналады [3].

Соңғы онжылдықта қашықтықтан зондтауға негізделген 3D бейнелеу жүйелерінде айтарлықтай өзгерістер болды, олар негізінен фотограмметриялық, радиолокациялық және диапазонды (РАДАР), сондай-ақ жарықты анықтау принциптеріне негізделген мобилді лазерлік сканерлеу

жүйелерінің дамуына әкелді. Бұл жүйелер түрлі деформацияны бақылау, өзгерістерді анықтау, картаға түсіруді жеңілдету, көлік құралдары навигациясы және автоматтандыру индустриясын қамтитын көптеген қосымшаларда кеңінен қолданылды [4,5]. Сонымен қатар, ашық тау-кен жұмыстарын күнделікті бақылауда аталмыш құралдарын пайдалануда нақты нәтижелерге қол жеткізуде [6].

Дәлдікке қойылатын талаптарды нақты қолдану үшін жерасты шахталарында лазерлік сканерді таңдау кезінде қабылданған шешімді белгілейді. Шағын аймақты жоғары дәлдікпен бақылау үшін, мысалы, конвергенцияны өлшеу үшін TLS қолайлы [7,8]. Сонымен қатар, қолданбалар өзгерістерді анықтау, деформацияны бақылау, нысандарды анықтау немесе рұқсат етілген қателік бірнеше сантиметр болуы мүмкін локализация сияқты үлкен аумақты жылдам және күнделікті бақылауды қажет еткенде MLS-ті қалайды [9,10]. Пайдалану құндылығына келетін болсақ, шахта операторлары MLS шешімдеріне көбірек жүгінеді, өйткені оларды пайдалану оңай, үлкен аумақтарды жылдам сканерлейді және қолдану мен сканерлеудің кең мүмкіндіктерін ұсынады (мысалы, адамның рюкзактарында, көлік құралында және дронда).

Зерттеу әдістері

Лазерлік сканер екі толқынды анықтай алады: шығаратын және объект шағылысатын толқын. Екі толқын арасындағы фаза өлшенетін объектіге дейінгі қашықтықты есептеу үшін қолданылады. Содан кейін айна мен көлденең айналуы өлшеу үшін бұрыш датчиктері пайдаланылады. Сканердің айналуы, әр нүктенің X, Y, Z координаттары

Маркшейдерское дело

наталары есептелінеді, нәтижесінде алынбалы SD жад картасында сақталатын нүктелер бұлтты пайда болады. 1 – суретте сканердің тік және көлденең айналуы келтірілген. Ал бұл мақалада Малеев кенішіндегі бос қуыстарды түсіру үшін Ortech фирмасының жасаған арнайы CMS Wireless лазерлік сканерлеу құрылғысы пайдаланылды. Бұл аспап сипаты бойынша жергілікті түсіру әдісінің құрылғыларына жатады.



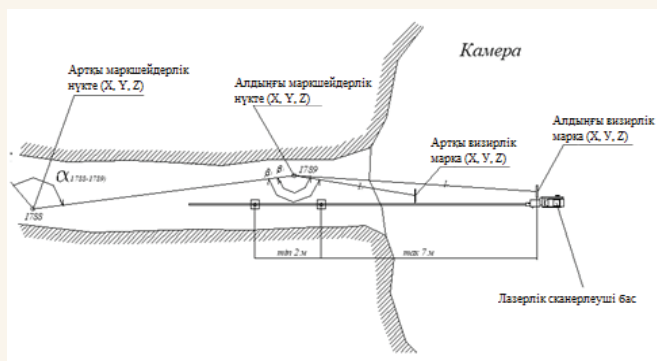
Сурет 1. Лазерлік сканердің тік және көлденең айналуы.

Figure 1. Vertical and horizontal rotation of the laser scanner.

Рис.1. Вертикальное и горизонтальное вращение лазерного сканера.

Визирлік маркалардың координаталары жер асты маркшейдерлік тораптарының пункттерінен анықталады. Егер CMS түсірісінің жанында пункттер болса, онда теодолиттік жүрісті қатар жүргізудің қажеті жоқ. Әйтпесе, олар түсіру орнына пункттер бекітіледі.

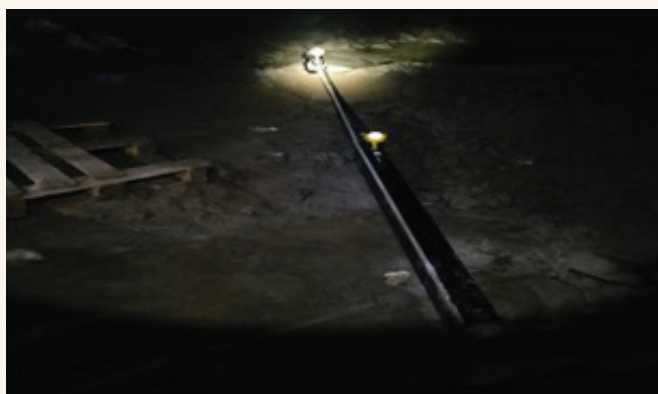
1789 нүктесінде сканер орнатылады, жұмыс жағдайына келтіріледі, аспап биіктігін, координаталарын және тұру пунктінің биіктік белгісін, сондай-ақ бағдарланатын 1788-пункттегі шағылыстырғыштың биіктігін белгілейді (2-сурет). Құрылғыны бағдарлағаннан кейін координаталар мен биіктіктер визирлік маркаларға беріледі. Алынған өлшеу мәндері ($X_1, Y_1, Z_1, X_2, Y_2, Z_2$) контроллердің жадына жазылады. CMS жүйесін басқару және түсіріс мониторингі орнатылған контроллері арқылы қашықтықтан жүргізіледі. Лазерлік сканер арқылы түсіріс жүргізіу барысы келтірілген (3-сурет).



Сурет 2. Маркшейдерлік торапқа байланыстыру схемасы.

Figure 2. Scheme of connection to surveying network.

Рис. 2. Схема привязки к маркшейдерской сети.



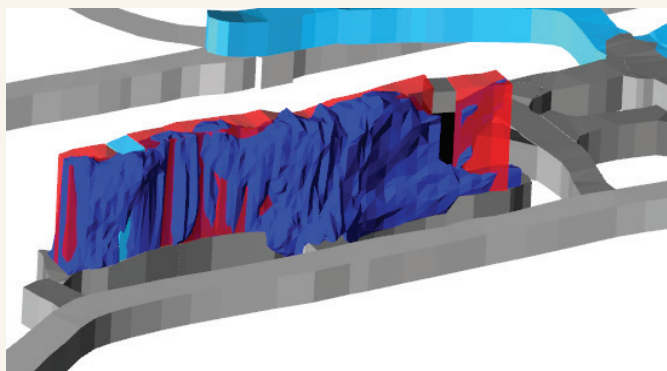
Сурет 3. Түсірістің орындалу үдерісі.

Figure 3. Process shooting.

Рис. 3. Процесс съемки.

Нәтижелер

Малеев кенішінде 03.05.2022 жылы блоктың тазарту кеңістігін сканерлеу жүргізілді. Осы алынған нәтиже негізінде Datamine Studio 3 бағдарламасында тазарту кеңістігінің 3D моделі жасалды. Тазарту кеңістігінің жобалық пен нақты контурлары біріктіріліп 4-суретте қызылмен өңдеудің жобалық контуры және көк түспен тазарту кеңістігін нақты түсіру нәтижелері көрсетілген. Бұл жұмыста сипатталған әдістеме түсіру аймағының 3D виртуалды құрылымдық ерекшеліктерін визуализациялауға, пайда болуы және құлауы мүмкін блоктарды анықтауға мүмкіндік береді. Сондай-ақ кен орнын игеру барысында кенорнында жұмысшылардың қауіпсіздігін қамтамасыз етуге, шығындарды есепке алуға, қорлардың игерілуін және пайдалы қазбаның құнарсыздандыру мен жоғалым мөлшерін жылдам есептеуге мүмкіндік береді. Төменде 1 – кестеде және 5-суретте жоғалым мен құнарсыздану мөлшерлері келтірілген.



Сурет 4. Datamine Studio бағдарламасында тазарту кеңістігінің 3D моделі.

Figure 4. 3D model of treatment spaces in Datamine Studio.

Рис. 4. 3D модель очистных пространств в программе Datamine Studio.



Сурет 5. Жоғалым мен құнарсыздану мөлшерлерінің сұлбасы.

Figure 5. Scheme of indicators of losses and dilution.
Рис. 5. Схема показателей потерь и разубоживания.

Нәтижелерді талқылау

Лазерлік сканердің көмегімен алынған үш өлшемді модельдер шахталардағы қауіпсіздік аймақтарды анықтаудағы проблемалық мәселелерді шешудегі сенімді құралы болады. Нүктелік бұлт кеніштегі әртүрлі жағдайлардың интерактивті визуалды көрінісін қамтамасыз етеді және қауіпті аймақтарды қашықтан басқару әлеуетін көрсететін жерасты шахтасының бейне жазбасы көрсетіледі. Жоғарыда қарастырылған зерттеулер нәтижесінде біз қауыпты аймақты қашықтықтан түсіріп, шахтаның үш өлшемді визуалды модельдерін алу арқылы жоғалым мен құнарсыздану мөлшерлерін есептедік. Сондай-ақ жерасты тау-кен жұмыстарында қолданылуын кеңейту үшін лазерлік сканерлеудің әлеуетті мүмкіндіктерін әліде зерттеу керек.

Қорытынды

Жерасты тау-кен өнеркәсібі шығындарды төмендетуге байланысты TLS және MLS-ті әдеттегі бақылау құрылғылары ретінде көбірек пайдаланылады, өйткені олар техникалық қиын жағдайларда және ауқымды деректерді жинау мүмкіндіктерінің арқасында сенімді шешімдер болып табылады. Бұл зерттеуде тау-кен игеру жұмыстарында лазерлік сканерлеу шешімдері бағаланады, саланы автоматтандыру және цифрлық бағытта прогрессивті жетістіктерін көрсетеді. Сонымен қатар, зерттеу жерасты шахта-

Кесте 1

Тазарту кеңістігін түсіру нәтижесінде алынған деректер

Table 1

Data obtained as a result of the survey of cleaning spaces

Таблица 1

Данные, полученные в результате съемки очистных пространств

	Қазу бірлігінің атауы	Қазба	№ желдеткіш	Көлем, м ³ (сәуір үшін)	Салм., т	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	NSR
Жоба	Барлау штреті 17В-17С	Р.ш. 17В-17С	1-24	960	2593	5,11	4,49	0,28	0,23	0,26	245
CMS				842	2273	13	12	7	6	7	170
Оның ішінде контурда				597	1611	3,52	3,08	0,22	0,18	0,18	245
Жоғалым				363	982	8	7	5	4	4	245
Құнарсыздану				245	661	5,11	4,49	0,28	0,23	0,26	245
						5	5	2	2	3	
						-	-	-	-	-	

ларында лазерлік сканерлеуді қолдануды кеңейтуге негізгі қажеттіліктер мен нұсқаулары атап өтілді. Камераларды түсірудегі күрделі және жауапты жұмысты орындауда жұмысты ұйымдастыру жоспарын жасау, түсіріс орнын алдын ала тексеру, камера маңындағы жақын қазбадағы маркшейдерлік нүктелердің болуы, сақталуы қарастырыл-

ды. Аталмыш кенорнындағы бос қуыстарды түсірудегі CMS Wireless жабдыдығының негізгі сипаттамасы мен құрылысына талдау жасалынған. Datamine Studio бағдарламасында тазарту кеңістігінің 3D моделі, жоғалым мен құнарсыздану мөлшерлері анықталынып, тазарту кеңістігінің жобалық пен нақты контурлары анықталынған.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Monsalve J.J., Baggett J., Bishop R., Ripepi N. Тау жыныстары массивінің сипаттамаларын анықтау және жерасты әктас шахтасында дискретті жарықтар желісін қалыптастыру үшін лазерлік сканерлеуді қолдану // *Int. J. Min. Sci. Technol.* – 2019. – 29. – Б. 131-137. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.11.009> (ағылшын тілінде)
2. Jones E., Sofonia J., Canales C., Hrabar S., Kendoul F. Hovermap автономды пилотсыз жүйесін жерасты тау-кен жұмыстарында қолдану // *J. South. African Inst. Min. Metall.* – 2020. – 120. – Б. 49-56. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/862/2020> (ағылшын тілінде)
3. Forbes B., Vlachopoulos N., Diederichs M.S., Hyett A.J., Punkkinen A. Канадалық шахта шегінде үлкен тереңдіктегі қатты жыныстар бағанасын табиғи бақылау науқаны // *J. Rock Mech. Geotech. Eng.* – 2020. – 12. – Б. 442-448. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.07.018> (ағылшын тілінде)
4. Mukupa W., Roberts G.W., Hancock C.M., Al-Manasir K. Өзгерістерді анықтау және құрылымдық деформацияларды бақылау үшін жердегі лазерлік сканерлеу қолданбасын пайдалануды шолу // *Surv. Rev.* – 2017. – 49 (353). – Б. 99-116. <https://doi.org/10.1080/00396265.2015.1133039> (ағылшын тілінде)
5. Sammartano G., Spanò A. Slam негізіндегі мобильді карта жүйелері арқылы нүктелік бұлттар: мультисенсорлық түсірілім және дербес деректерді жинау кезінде дәлдік пен геометриялық мазмұнды тексеру // *Appl Geomat.* – 2018. – 10(4). – Б. 317-339 (ағылшын тілінде)
6. Ozdogan, M. V., Deliormanli, A.H. – 2020. Жер асты тау-кен жұмыстарынан туындаған ашық карьердің беткейіндегі ықтимал бұзылу беттерін анықтау // *Boll. di Geofis. Teor. ed Appl.* 61. – Б. 199-218. <https://doi.org/10.4430/bgta0305> (ағылшын тілінде)
7. Lai P., Samson C. Тау туннельдерінің 3D кескіндерін орналастыру үшін тор параметрлері мен деформацияны қолдану // *Tunn Undergr Space Technol* – 2016. – 58. – Б. 109-119 (ағылшын тілінде)
8. Kukutsch R., Kajzar V., Konicek P., Waclawik P., Ptacek J. Жердегі 3D лазерлік сканерді пайдаланып көмір өндіру кезінде Қақпаның конвергенциясын өлшеу мүмкіндігі // *J Sustain Min.* – 2015. – 14(1). – Б. 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2015.08.005> (ағылшын тілінде)
9. Dewez TJB., Yart S., Thuon Y., Pannet P., Plat E. Zeb-Revo портативті лазерлік сканердің нүктелік бұлты арқылы кавернаның құлау қаупі карталарына бара жатқанда // *Photogram Rec.* – 2017. – 32(160). – Б. 354-376. DOI: 10.1111/phor.12223 (ағылшын тілінде)
10. Ellmann A., Kütimets K., Varbla S., Väli E., Kanter S. Slam қолдайтын портативті лазерлік сканерлерді қолдану арқылы жерасты шахталарын зерттеу саласындағы жетістіктер // *Surv. Rev.* – 2022. – 54(385). – Б. 363-374. DOI:10.1080/00396265.2021.1944545 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Monsalve J.J., Baggett J., Bishop R., Ripepi N. Application of laser scanning for rock mass characterization and discrete fracture network generation in an underground limestone mine // *Int. J. Min. Sci. Technol.* – 2019. – 29. – P. 131-137. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.11.009> (in English)
2. Jones E., Sofonia J., Canales C., Hrabar S., Kendoul F. Applications for the Hovermap autonomous drone system in underground mining operations // *J. South. African Inst. Min. Metall.* – 2020. – 120. – P. 49-56. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/862/2020> (in English)
3. Forbes B., Vlachopoulos N., Diederichs M.S., Hyett A.J., Punkkinen A. An in situ monitoring campaign of a hard rock pillar at great depth within a Canadian mine // *J. Rock Mech. Geotech. Eng.* – 2020. – 12. – P. 427-448. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.07.018> (in English)
4. Mukupa W., Roberts G.W., Hancock C.M., Al-Manasir K. A review of the use of terrestrial laser scanning application for change detection and deformation monitoring of structures // *Surv. Rev.* – 2017. – 49 (353). – P. 99-116. <https://doi.org/10.1080/00396265.2015.1133039> (in English)
5. Sammartano G., Spanò A. Point clouds by SLAM-based mobile mapping systems: Accuracy and geometric content validation in multisensor survey and stand-alone acquisition // *Appl Geomat.* – 2018. – 10(4). – P. 317-339 (in English)
6. Ozdogan M.V., Deliormanli A.H. – 2020. Determination of possible failure surfaces in an open-pit slope caused by underground production // *Boll. di Geofis. Teor. ed Appl.* 61, – P. 199-218. <https://doi.org/10.4430/bgta0305> (in English)

7. Lai P., Samson C. Applications of mesh parameterization and deformation for unwrapping 3D images of rock tunnels // *Tunn Undergr Space Technol.* – 2016. – 58. – P. 109-119 (in English)
8. Kukutsch R., Kajzar V., Konicek P., Waclawik P., Ptacek J. Possibility of convergence measurement of gates in coal mining using terrestrial 3D laser scanner // *J Sustain Min.* – 2015. – 14(1). – P. 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2015.08.005> (in English)
9. Dewez TJB., Yart S., Thuon Y., Pannet P., Plat E. Towards cavity-collapse hazard maps with Zeb-Revo handheld laser scanner point clouds // *Photogram Rec.* – 2017. – 32(160). – P. 354-376. DOI: 10.1111/phor.12223 (in English)
10. Ellmann A., Kütimets K., Varbla S., Väli E., Kanter S. Advancements in underground mine surveys by using SLAM-enabled handheld laser scanners // *Surv. Rev.* – 2022. – 54(385). – P. 363-374. DOI:10.1080/00396265.2021.1944545 (in English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Monsalve J.J., Baggett J., Bishop R., Ripeti N. – 2019. Применение лазерного сканирования для определения характеристик массива горных пород и формирования сети дискретных трещин в подземной известняковой шахте // *Int. J.Min. Sci. Technol.* – 2019. – 29. – С. 131-137. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.11.009> (на английском языке)
2. Jones E., Sofonia J., Canales C., Hrabar S., Kendoul F. – 2020. Применение автономной беспилотной системы Hovermap в подземных горных работах // *J. South. African Inst. Min. Metall.* – 2020. – 120. – С. 49-56. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/862/2020> <https://doi.org/10.17159/2411-9717/862/2020> (на английском языке)
3. Forbes B., Vlachopoulos N., Diederichs M.S., Hyett A.J., Punkkinen A. – 2020. Кампания натурного мониторинга столба твердых пород на большой глубине в пределах канадской шахты // *J. Rock Mech. Geotech. Eng.* – 2020. – 12. – С. 427-448. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.07.018> (на английском языке)
4. Mukiра W., Roberts G.W., Hancock C.M., Al-Manasir K. Обзор использования наземного приложения лазерного сканирования для обнаружения изменений и мониторинга деформаций конструкций // *Surv. Rev.* – 2017. – 49(353). – С. 99-116. <https://doi.org/10.1080/00396265.2015.1133039> (на английском языке)
5. Sammartano G., Spanò A. Облака точек с помощью мобильных картографических систем на базе SLAM: проверка точности и геометрического содержания при мультисенсорной съемке и автономном сборе данных // *Appl Geomat.* – 2018. – 10(4). – С. 317-339 (на английском языке)
6. Ozdogan M.V., Deliormanli A.H. – 2020. Определение возможных поверхностей разрушения на склоне открытого карьера, вызванных подземной добычей // *Boll. di Geofis. Teor. ed Appl.* – 61. – С. 199-218 <https://doi.org/10.4430/bgta0305> (на английском языке)
7. Lai P., Samson C. Применение параметризации сетки и деформации для разворачивания 3D-изображений горных туннелей // *Tunn Undergr Space Technol.* – 2016. – 58. – С. 109-119 (на английском языке)
8. Kukutsch R., Kajzar V., Konicek P., Waclawik P., Ptacek J. Возможность измерения сходимости ворот при добыче угля с использованием наземного 3D-лазерного сканера // *J Sustain Min.* – 2015. – 14(1). – С. 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2015.08.005> (на английском языке)
9. Dewez TJB., Yart S., Thuon Y., Pannet P., Plat E. На пути к картам опасности обрушения каверн с помощью облака точек портативного лазерного сканера Zeb-Revo // *Photogram Rec.* – 2017. – 32(160). – С. 354-376. DOI: 10.1111/phor.12223 (на английском языке)
10. Ellmann A., Kütimets K., Varbla S., Väli E., Kanter S. Достижения в исследованиях подземных рудников с использованием портативных лазерных сканеров с поддержкой SLAM // *Surv. Rev.* – 2022. – 54(385). – С. 363-374. DOI:10.1080/00396265.2021.1944545 (на английском языке)

Авторлар туралы мәлімет:

Жакыпбек Ы., PhD, Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан), y.zhakupbek@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-2474-9927>

Калыбеков Т., т.ғ.д., Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан), t.kalybekov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-4155-9778>

Әбен А.С., т.ғ.м., Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан), a.aben@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-6222-8631>

Турсбеков С.В., т.ғ.к., Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан), s.tursbekov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-7320-5689>

Information about the authors:

Zhakyrbek Y., PhD, Associate Professor at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Kalybekov T., Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Aben A., Master of Technical Sciences, lecturer at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Tursbekov S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Жақырбек Ы., PhD, ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Калыбеков Т., д.т.н., профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Әбен А.С., м.т.н., преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Турсбеков С.В., к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)



**INTERNATIONAL
METALLURGICAL
SUMMIT KAZAKHSTAN**

METALS AND ALLOYS

15 НОЯБРЯ | АЛМАТЫ | КАЗАХСТАН

www.metalsummit.kz

Код МРНТИ 52.45.25

*А. Доберсек, А. Кирнарский, А. Райш

«Инжиниринг Доберсек ГмбХ» (г. Менхенгладбах, Германия)

СГУЩЕНИЕ МАГНЕТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА НА НОВОМ УЧАСТКЕ ПОЛТАВСКОГО ГОКА

Аннотация. Настоящая работа выполнена специалистами фирмы «Инжиниринг Доберсек ГмбХ» в рамках проекта «Строительство закрытого склада концентрата», который предусматривает два технологических передела: сгущение и фильтрование. Концентратная пульпа из трех флотационных отделений обогатительных фабрик Полтавского ГОКа по пульпопроводам подается в сгуститель, где она без флокулянта сгущается до 60% и специальными центробежными насосами перекачивается в усреднительную емкость, из которой материал распределяется по камерным фильтр-прессам ФКМ-500. Обезвоженный осадок конвейерами направляется на участок окомкования и далее в обжиговую печь или транспортируется на закрытый склад. Дано описание технологического комплекса обезвоживания флотоконцентрата и приведены технико-экономические показатели его работы. Описаны пилотные испытания сгущения концентратной пульпы. Приведен технологический расчет и выбор сгустителя. Представлены результаты приемочных испытаний и комплексного опробования высокоскоростного сгустителя HRT-32, установленного для сгущения флотоконцентрата трех отделений флотаций обогатительных фабрик комбината с последующим обезвоживанием сгущенного продукта на пресс-фильтрах ФКП-500. Содержание твердого в питании сгустителя – 20%, в сгущенном продукте – 60%, чистота слива менее 1000 мг/л. Производительность по исходной концентратной пульпе – 1600 м³/ч, по твердому – 400 т/ч.

Ключевые слова: концентрат, сгущение, слив, сгущенный продукт, фильтрация, фильтр-пресс, флокулянт, окомкование.

Магнетит концентратының жана ПОЛТАВА КБК учаскесінде қоюлануы

Андатпа. Бұл жұмысты «Инжиниринг Доберсек ГмбХ» фирмасының мамандары екі технологиялық қайта бөлуді көздейтін «жабық концентрат қоймасын салу» жобасы шеңберінде орындады: қоюлату және сүзу. Полтава КБК байыту фабрикаларының үш флотациялық бөлімшелерінен алынған концентрат целлюлозасы целлюлоза құбырлары арқылы қоюландырғышқа беріледі, онда ол флокулянтсыз 60%-ға дейін қалыңдатылады және арнайы орталықтан тепкіш сорғылармен орташа сыйымдылыққа айдалады, одан материал фкм-500 камералық сүзгі престері бойынша таратылады. Сусыздандырылған тунба конвейерлермен шұңқырлау учаскесіне және одан әрі күйдіру пешіне жіберіледі немесе жабық қоймаға тасымалданады. Флотоконцентратты сусыздандырудың технологиялық кешенінің сипаттамасы берілген және оның жұмысының техникалық-экономикалық көрсеткіштері келтірілген. Концентрат целлюлозаның қоюлануының пилоттық сынақтары сипатталған. Технологиялық есептеу және қоюландырғышты таңдау берілген. Қабылдау сынақтарының нәтижелері және ФКП-500 пресс-сүзгілерінде қоюландырылған өнімді кейіннен сусыздандыра отырып, комбинаттың байыту фабрикалары флотацияларының үш бөлімшесінің флотоконцентратын қоюлату үшін орнатылған жоғары жылдамдықты HRT-32 қоюландырғышын кешенді сынау ұсынылды. Қатты қоюландырғыштың коректік құрамы – 20 %, қоюландырылған өнімде 60%, ағызу тазалығы 1000 мг/л – ден аз. бастапқы концентрат целлюлозасы бойынша Өнімділік – 1600 м³/сағ, қатты өнімділік –400 т/сағ.

Түйінді сөздер: концентрат, қоюландыру, ағызу, қоюландырылған өнім, сүзу, сүзгі прессі, флокулянт, шұңқыр.

Thickening of magnetite concentrate on the new site of the POLTAVA GOK

Annotation. This work was carried out by specialists of Engineering Dobersek GmbH within the framework of the project «Construction of a closed concentrate warehouse», which provides for two technological stages: thickening and filtration. Pulp concentrate from three flotation departments of the processing plants of the Poltava GOK is fed through sludge pipelines to a thickener, where it is condensed to 60% without flocculant and pumped by special centrifugal pumps into an equalizing tank, from which the material is distributed through chamber filter presses FKM-500. The dehydrated sludge enters the granulation zone, and then is disposed of or transported to a closed warehouse. The description of the technological complex for dewatering the fleet before receiving the concentrate is given and the technical and economic indicators of its operation are given. Pilot tests of concentrate pulp thickening are described. The technological calculation and selection of the thickener are given. The results of acceptance tests and complex testing of the HRT-32 high-speed thickener installed for thickening the flotation concentrate of three flotation departments of the processing plants of the combine with subsequent dehydration of the condensed product on the FKP-500 press filters are presented. The solid content of the thickener in the diet is 20%, in the condensed product 60%, the purity of the drain is less than 1000 mg/l. The capacity for the initial concentrate pulp is 1600 m³/h, for solid pulp – 400 t/h.

Keywords: concentrate, thickening, draining, condensed product, filtration, filter press, flocculant, pelletizing.

Введение

На новом участке Полтавского ГОКа с 4 по 7 ноября 2020 года прошли приемочные испытания и принят в постоянную эксплуатацию высокоскоростной сгуститель HRT-32. Настоящая работа выполнена специалистами фирмы «Инжиниринг Доберсек ГмбХ» в рамках проекта «Строительство закрытого склада концентрата», который предусматривает два технологических передела: сгущение и фильтрование. Концентратная пульпа из трех флотационных отделений обогатительных фабрик комбината по пульпопроводам подается в сгуститель, где она без флокулянта сгущается до 60% и центробежными насосами перекачивается в усреднительную емкость, из которой материал распределяется по камерным фильтр-прессам ФКМ-500 производства ООО «БМЗ «Прогресс». Обезвоженный осадок конвейерами направляется на участок окомкования и далее в обжиговую печь или транспортируется на закрытый склад и отгружается в качестве товарного продукта в железнодорожные вагоны. На этом участке будет производиться 1,5 млн. тонн железорудного высококачественного концентрата для экспортной программы корпорации Феррэкспо. В настоящее

время объем производства окатышей в условиях полтавского гиганта составляет 46,5% украинского рынка, а его доля в экспорте железорудного сырья достигает 90%. Новый участок разработан с целью увеличения производства окатышей на 13% до 12 млн.т в год. Кроме того, создается логистическая возможность отгрузки и доставки товарной продукции потребителям в железнодорожных вагонах.

В процессе комплексного опробования сгустителя подтверждены его проектные технологические показатели, а именно, содержание твердого в сгущенном продукте – 60%, чистота слива менее 1 г/л при нагрузке по твердому – 400 т/ч и по исходной концентратной пульпе – 1600...1739 м³/ч.

Внедрению сгустительной установки предшествовали пилотные испытания на натурной пробе концентратной пульпы, на основании результатов которых был выполнен технологический расчет и выбор сгустителя, его изготовление, поставка и монтаж.

1. Описание технологического комплекса

Технологический комплекс обезвоживания флотоконцентрата Полтавского ГОКа включает питающие

пульпроводы $D_y 300$, сгуститель высокоскоростной HRT-32, усреднительную емкость сгущенного продукта вместимостью 580 м^3 с мешалкой ЕКАТО HWL2180А, три горизонтальных фильтр-пресса ФКМ-500, ленточные конвейеры для отгрузки и транспортировки осадка с шириной ленты 1200 мм , закрытый склад готовой продукции и узел отгрузки в железнодорожные вагоны. Вместимость склада – 70 тыс. т . Склад представляет собой промышленное сооружение с размерами в плане $200 \times 36 \text{ м}$ и высотой 22 м , в котором предусмотрена площадка с бетонным основанием площадью 2979 м^2 для штабелирования обезвоженного концентрата. Технико-экономические показатели работы технологического комплекса по обезвоживанию флотоконцентрата представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технико-экономические показатели работы технологического комплекса

Кесте 1

Технологиялық кешен жұмысының техникалық-экономикалық көрсеткіштері

Table 1

Technical and economic indicators of the technological complex

Наименование показателей	Единица измерения	Численное значение
Производительность комплекса	т/год	1 500 000
Годовой фонд рабочего времени	часы	7920
Удельный расход электроэнергии	кВт·ч/т	7,41
Удельный расход сжатого воздуха	$\text{м}^3/\text{т}$	20,39
Удельный расход пульпы	$\text{м}^3/\text{т}$	8,51
Удельный расход технической воды	$\text{м}^3/\text{т}$	0,96
Влажность осадка, не более	%	10,0
Объем отгружаемого осадка	$\text{м}^3/\text{час}$	112

Центральное место в этом комплексе отводится горизонтальным пресс-фильтрам с боковой подвеской фильтровальных плит ФКМ-500 производства ООО «БМЗ «Прогресс». Конструкция пресс-фильтра предусматривает ускоренную выгрузку осадка и быстрое срабатывание всех конструктивных узлов, что позволяет сократить цикл обезвоживания до 10 минут и, как следствие, ежедневно обработать 200 т/ч концентрата. Боковая подвеска особенно удобна при замене плит и техническом обслуживании пресс-фильтра. Технические характеристики указанных пресс-фильтров сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Технические характеристики камерно-мембранных пресс-фильтров ФКМ-500

Кесте 2

Фкм-500 камералық-мембраналық пресс-сүзгілерінің техникалық сипаттамалары

Table 2

Technical characteristics of chamber- membrane press filters FKM-500

Технические характеристики	Единица измерения	Численное значение
Площадь поверхности фильтрования	м^2	500
Вместимость камерного пространства	м^3	12,75
Глубина камеры	мм	50
Рабочее давление	МПа	0,8
Количество камер в пакете	шт.	50
Установленная мощность двигателей: - механизма зажима - механизма перемещения плит	кВт кВт	22 0,75
Рабочий ход штока	мм	300
Размеры плит	мм	2440×2440
Габаритные размеры, не более - длина - ширина - высота	мм мм мм	17420 3800 5510
Масса пресс-фильтра	т	165

После фильтрации объем материала составляет всего $112 \text{ м}^3/\text{ч}$. Полученный осадок влажностью менее 10% укладывается штабелеукладчиком производительностью 400 т/ч на складе готовой продукции в штабеля длиной 176 м , шириной $16,6 \text{ м}$ и высотой $6,15 \text{ м}$. Геометрический объем штабеля достигает 10208 м^3 . Насыпная масса обезвоженного концентрата – $3,57 \text{ т/м}^3$. Для отгрузки концентрата в железнодорожные вагоны предусмотрены три бункера полезной вместимостью 16 м^3 на 57 т концентрата каждый, ленточные дозаторы с приводом мощностью $7,5 \text{ кВт}$, телескопические погрузчики и весы грузоподъемностью 150 т . Разгрузка концентрата из штабелей может осуществляться в ручном и автоматическом режимах с использованием дизельного ковшового погрузчика НІТАСНІТW550 и конвейерных трактов соответственно.

Высокоскоростной сгуститель здесь играет вспомогательную роль, но именно сгущение позволяет сократить продолжительность цикла и резко увеличить удельную производительность пресс-фильтров, так как ускоренное заполнение камер осадка пропорционально увеличению содержания твердого в единице объема, а снижение расслоения по крупности способствует уменьшению

сопротивления осадка. В свою очередь, удельная производительность пресс-фильтров определяет рентабельный уровень капитальных и эксплуатационных затрат, экономическую состоятельность процесса фильтрации в целом.

Исходная концентратная пульпа поступает на сгущение в объеме 1612-1729 м³/ч при содержании твердого 17-22% (по массе). После ее сгущения объем сокращается до 312 м³/ч, а содержание твердого возрастает до 60-75%, при этом не применяются флокулянты. Слив сгустителя вместе с фильтратом фильтр-прессов (191 м³/ч) и производственными стоками возвращается в оборот обогатительной фабрики ДЗФ-2. Выбору сгустителя предшествовали пилотные исследования, что и есть предметом последующего изложения.

2. Пилотные испытания сгущения концентратной пульпы

Пилотные исследования проводились в мае 2017 года на натурной пробе концентратной пульпы, отобранной на Полтавском ГОКе. Гранулометрический состав твердой фазы хвостовой пульпы определялся мокрым способом на сите -50 мкм, а также на классификаторе для дисперсионного анализа путем последовательного естественного осаждения классов крупностью менее 50 мкм. Результаты обнаружили дисперсность твердых частиц 98,9% кл. – 33 мкм. Плотность твердой фазы хвостовой пульпы определялась пикнометрическим методом и составила 4000-4200 кг/м³. Содержание твердого определялось методом выпаривания и равнялось 21,5-28,35%. Сначала провели статические испытания с применением флокулянта и без него. Седиментационные исследования проводились в стеклянных цилиндрах с использованием флокулянта Magnaflock MF-10. Концентрация рабочего раствора составляла 0,005%. Оптимальное содержание твердого в исходной концентратной пульпе при добавлении флокулянта составляет 16-18 %. Содержание твердого в сгущенном продукте достигало более 67,35 %. Удельный расход флокулянта составлял 4-8 г/т. Удельная производительность в случае добавления флокулянта возросла с 0,6068 т/(м²·час) до 1,19 т/(м²·час), но полученный осадок отличался высоким напряжением сдвига (более 50 Па). Фильтровать такой пастообразный осадок затруднительно, так как наличие флокулянта в магнитотвердых флокулах, обладающих высокой коэрцитивной силой, способствует закупориванию осадка, что повышает его гидравлическое сопротивление и, как следствие, снижает удельную производительность фильтрационного устройства. Без применения флокулянта содержание твердого в сгущенном продукте составляло 64-66 % при чистоте слива, которое удовлетворяло требованиям технического задания (менее 1000 мг/л), поэтому для промышленного применения рекомендована технология сгущения магнетитового концентрата без употребления флокулянтов. После проведения статических исследований перешли к динамическим испытаниям. Пилотная установка высокопроизводительного сгустителя включает стакан диаметром 94 мм с конусным дефлектором, валом с граблинами и редукторным электродвигателем. Исходная концентратная пульпа подавалась в усреднительную промежуточную емкость, оборудованную мешалкой, откуда

посредством шлангового насоса пульпа перекачивалась в питающий стакан. Содержание твердого в питании сгустителя – 21,5%. Скорость питающего насоса составляла 40 об/мин. Слой твердых осевших частиц постепенно нарастал, пока не достиг уровня нижней части питающего стакана. Шланговый насос был отрегулирован таким образом, чтобы удаление сгущенного продукта осуществлялось со скоростью, при которой процесс протекает в установившемся равновесном режиме. Именно в это время отбираются пробы продуктов разделения, при этом чистота слива наблюдалась как при использовании мутномера, так и визуально, в то время как содержание твердого в сгущенном продукте определялось только гравиметрически. В процессе полупромышленных испытаний сгущаемости концентратной пульпы на пилотной установке установлена технологическая возможность сгущаемости концентратной пульпы без использования флокулянта при удельной нагрузке 0,6068 т/(м²·час), при этом содержание твердого в сливе не превышало 1000 мг/л, а в сгущенном продукте содержание твердого составляло 60-66 %. Скорость восходящего потока равнялась 2,37 м/ч. Содержание твердого в питании высокоскоростного сгустителя варьировало в пределах от 17 до 22 % (по массе).

3. Технологический расчет и выбор сгустителя

Полученные результаты исследований стали основой для технологического расчета и выбора сгустителя, при этом заданной считалась его номинальная производительность по исходному продукту – 400 т/ч. Номинальная нагрузка по пульпе – 1600 м³/ч. Плотность частиц – 4,2 т/м³. Выбран был высокоскоростной сгуститель HRT-32, технические характеристики которого приведены в таблице 3. Чан сгустителя выполнен из углеродистой стали и является сварным. Масса чана – 27460 кг. Масса стальных опорных конструкций чана сгустителя – 74 275 кг.

4. Запуск в эксплуатацию высокоскоростного сгустителя HRT-32

Монтаж сгустителя завершился весной 2020 года, а в сентябре месяце был произведен осмотр и пробный его запуск. Были проведена механическая наладка сгустителя: проверены и при необходимости затянуты болтовые соединения, отрегулированы траверсы, выставлены зазоры и проверены их изменения в процессе «сухого холостого хода» гребкового устройства. Предварительно чан и сливной желоб сгустителя были очищены от строительного мусора, болтов, гаек, щепы, инструментов, электродов. Был запущен привод сгустителя и проверена работа гребкового устройства в режиме «сухого холостого хода». Граблины вращались по часовой стрелке со скоростью 0,091 об/мин. В процессе вращения граблин производили замеры расстояния от поверхности дна и стенки чана до граблин. Полученная эпюра была согласована с заводом-изготовителем сгустителя до его запуска в эксплуатацию. Контакта граблин с дном и стенками чана сгустителя не наблюдалось. Затем несколько раз осуществлялся подъем и опускание граблин, при этом выставлялся верхний и нижний концевые выключатели. Также была проверена система смазки. При заполнении чана водой был откалиброван

Таблица 3

Технические характеристики сгустителя HRT-32

Кесте 3

HRT-32 қояландыргышының техникалық сипаттамалары

Table 3

Technical characteristics of the HRT-32 thickener

Характеристики	Размерность	Численное значение
Производительность: - по твердому - по пульпе	т/ч м ³ /ч	400 1739
Площадь осаждения	м ²	804
Диаметр чана	м	32
Удельная нагрузка	т/(м ² ·ч)	0,6068
Скорость восходящего потока	м/ч	2,37
Частота вращения граблин	об/мин	0,091
Крутящий момент, макс.	Н·м	225000
Мощность электроприводов	кВт	2,2 + 15
Вместимость сгустителя	м ³	1700
Высота подъема граблин	мм	600
Угол наклона - дна чана сгустителя - разгрузочного конуса	градусы градусы	9 45
Диаметр трубопроводов: - питающего - сливного - сгущенного продукта	мм мм мм	650 800 300
Габаритные размеры сгустителя: - длина - высота	мм мм	32 244 14 816
Масса сгустителя, включая чан	кг	130 781

датчик гидростатического давления постели, установленный в конической части сгустителя. Гидростатическое давление вычисляется по формуле:

$$H_p = \rho \cdot g \cdot h, \text{ Па,}$$

где ρ – плотность воды, 1000 кг/м³;

g – ускорение свободного падения, 9,8 м/с²;

h – высота водяного столба, 3,5 м.

Тогда гидростатическое давление составляет 34300 Па или 34,3 кПа или 0,34 бара. При заполнении чана концентратной пульпой с содержанием твердого 20%, т.е. плотностью 1180 кг/м³ датчик показывает 40 кПа или 0,40 бара, но это значение отражает усредненную плотность среды, в то время как нам необходимо знать оперативное значение плотности откачиваемой пульпы. В этом случае пользуемся плотномером. На напорном трубопроводе насосной установки по перекачиванию сгущенного продукта в промежуточную усреднительную емкость предусмотрен плотномер радиоизотопного принципа действия. При достижении плотности в конусе сгустителя на уровне 1744-1842 кг/м³, что соответ-

ствует содержанию твердого 56-60%, включается центробежный насос и сгущенный продукт откачивается в усреднительную емкость и далее на пресс-фильтры. При остановке насоса пульпа иногда уплотнялась до 70-75%, что требовало предварительного ее размыва. В период с 4 по 7 ноября 2020 года были проведены работы по запуску в эксплуатацию высокоскоростного сгустителя HRT-32 (рис.1). Намыв постели продолжался в течение 6 часов, что значительно меньше, чем при работе таких сгустителей на хвостовой пульпе железорудных ГОКов, где продолжительность намыва постели достигает 8-12 часов и более.

После намыва постели включался откачивающий центробежный насос и сгущенный продукт подавался в усреднительную емкость, при этом частота вращения рабочего колеса постепенно повышалась от минимального до номинального уровня. По завершению переходного режима и работе сгустителя в установившемся режиме производилось комплексное опробование продуктов сгущения в течение 72 часов непрерывной эксплуатации. Продукты опробования представлены на рис. 2 и рис. 3.



Рис. 1. Высокоскоростной сгуститель HRT-32 на Полтавском ГОКе.

Сурет 1. Полтава Гокындағы жоғары жылдамдықты HRT-32 қоюландырғышы.

Fig. 1. HRT-32 high-speed thickener at Poltava GOK.



а) слив

б) сгущенный продукт

Рис. 2. Продукты сгущения: слив и сгущенный концентрат.

Сурет 2. Қоюландыру өнімдері: қара өрік және қоюландырылған концентрат.

Picture 2. Thickening products: prunes and condensed concentrate.

Содержание твердого в питании сгустителя в период опробования колебалось в пределах от 17 до 22%, крупность частиц твердой фазы концентратной пульпы составляла 98,8% кл. – 32 мкм. Согласно ТЗ содержание железа общего в поступающем флотоконцентрате составляет 68%, а содержание кремнезема не превышает 5,4%.

Поступающий в приемный колодец на сгущение концентрат представляет собой трехфазную систему: жидкое – твердое – воздух (вода – концентрат – воздушные пузырьки). Флотационная пена была неустойчивой, при попадании в загрузочный колодец сгустителя она разрушалась и на водном зеркале пены не наблюдалось. Результаты опробования продуктов сгущения представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты опробования сгустителя HRT-32

Кесте 4

HRT-32 қоюландырғышын сынау нәтижелері

Table 4

Results of testing the HRT-32 thickener

Продукты сгущения					
Слив		Сгущенный продукт			
Объем пробы, л	Содержание твердого, мг/л	Объем пробы, л	Плотность, кг/м ³	Содержание твердого, %	Ж:Т
1,0	125	1,0	1699	54	1:0,85
1,0	130	1,0	1744	56	1:0,79
1,0	145	1,0	1792	58	1:0,72
1,0	139	1,0	1842	60	1:0,67
1,0	139	1,0	1895	62	1:0,61
1,0	145	1,0	1952	64	1:0,56
1,0	148	1,0	2011	66	1:0,51
1,0	150	1,0	2075	68	1:0,47
1,0	150	1,0	2143	70	1:0,43
1,0	150	1,0	2215	72	1:0,389
1,0	150	1,0	2333	75	1:0,333

Результаты опробования свидетельствуют о том, что чистота слива на порядок выше требуемой чистоты согласно ТЗ (1000 мг/л). Содержание твердого в сгущенном продукте сгустителя в процессе намыва постели равнялось 54-56%, по завершению намыва постели – 58-62 %, а при остановке перекачивающего насоса достигало 72-75%. Такой случай отражен на фотографии (рис. 2 б) и технологически соответствует переуплотнению постели. Датчик гидростатического давления постели в таком режиме работы показывал оперативное значение измеряемого параметра в пределах 70-80 кПа, что соответствует значению плотности концентратной пульпы в чане в диапазоне от 2040 до 2332 т/м³.

В установленном режиме работы удельная площадь осветления рассчитываем по уравнению Коу-Клевенджера при содержании твердого в питании 20%, а в сгущенном продукте 60%.

$$S_{уд} = (R_{исх} - R_{сг}) / (k \cdot V \cdot \rho), \text{ (м}^2 \cdot \text{ч) / т,}$$

где $R_{исх}$ и $R_{сг}$ – отношение Ж:Т по массе в исходном и сгущенном продукте соответственно;

4 и 0,67; ρ – плотность воды, 1,0 т/м³;

V – скорость осветления;

1,84 м/ч; k – поправочный коэффициент, 0,9.

Тогда удельная площадь осветления составляет

$$S_{уд} = (4 - 0,67) / (0,9 \cdot 1,84 \cdot 1) = 2,01, \text{ (м}^2 \cdot \text{ч) / т.}$$

При номинальной нагрузке на сгуститель по твердому $Q = 400$ т/ч общая площадь осветления составляет:

$$F = Q \cdot S_{уд} = 400 \cdot 2,01 = 804 \text{ м}^2.$$

Полученное значение общей площади осветления строго соответствует площади рассчитанного и выбранного высокоскоростного сгустителя HRT-32.

Сведения об авторах:

Доберсек А., канд. техн. наук, Президент компании «ENGINEERING DOBERSEK GmbH» (г. Менхенгладбах, Германия), [info\(at\)dobersek.com](mailto:info(at)dobersek.com)

Кирнарский А.С., д-р техн. наук, научный руководитель проектов по обогащению полезных ископаемых компании «ENGINEERING DOBERSEK GmbH» (г. Менхенгладбах, Германия), anatoliy.kirnarskiy@ed-mg.de

Райш А.И., руководитель проектов компании «ENGINEERING DOBERSEK GmbH» (г. Менхенгладбах, Германия), alexander.raisch@ed-mg.de

Авторлар туралы мәліметтер:

Доберсек А., PhD, «ENGINEERING DOBERSEK GmbH» президенті (Менхенгладбах қ., Германия)

Кирнарский А.С., техника ғылымдарының докторы, «ENGINEERING DOBERSEK GmbH» компаниясында минералды қайта өңдеу жобаларының ғылыми жетекшісі (Менхенгладбах қ., Германия)

Райш А.И., «ENGINEERING DOBERSEK GmbH» компаниясында жоба менеджері (Менхенгладбах қ., Германия)

Information about the authors:

Dobersek A., PhD, President of ENGINEERING DOBERSEK GmbH (Mönchengladbach, Germany)

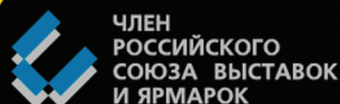
Kirnarsky A.S., Doctor of Technical Sciences, Scientific Director of Mineral Processing Projects, ENGINEERING DOBERSEK GmbH, (Mönchengladbach, Germany)

Raisch A.I., Project Manager, ENGINEERING DOBERSEK GmbH, (Mönchengladbach, Germany)



МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И МАЙНИНГА НА ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ

17 | 18 | 19 октября 2023 г.
г. НОВОСИБИРСК



Код МРНТИ 86.40.00

*A.G. Akpanbayeva, T.K. Isabek, B. Tolovkhan

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

BASIC MEASURES TO ENSURE SAFE MINING OPERATIONS AT THE ZHOMART MINE

Abstract. The implementation of the technology risk management system is one of the basic measures to ensure the safe mining operations at the underground mines. The operating Zhomart underground mine has been studied as a pilot facility to research, implement and test the efficiency of the proposed technology risk management system. Thus, the research and implementation of the technology risk management system is required due to the deep occurrence, the detailed exploration of the physical and mechanical properties of rocks of the ore-bearing strata and the geomechanical processes during the mining operations. This exploration has assessed the existing high technology risks, in particular, the loss of the roof stability and signs of deterioration in the mined-out area such as spalling, distortion bending and displacement of the sides of drilled wells in the pillars, etc. The general regulations of the safe mining operations focused on reducing of the rock pressure have been explored and determined during the dynamic forms of rock pressure. The main actions aimed to the technology improvement of the safe mining operations at the mine have been developed.

Key words: the operational safety, mining operations, technology risk, management system, support, mine workings, mining pressure, system element.

Жомарт кенесіндегі қауіпсіз өндіруді қамтамасыз етудің негізгі шаралары

Аннотация. Технологиялық тәуекелдерді басқару жүйесін құру жерасты кеніштеріндегі тау-кен жұмыстарын қауіпсіз жүргізуді қамтамасыз ететін негізгі шаралардың бірі болып табылады. Ұсынылып отырған технологиялық тәуекелдерді басқару жүйесінің өміршеңдігін зерттеу, енгізу және тексеру бойынша тәжірибелік нысан ретінде жұмыс істеп тұрған Жомарт жерасты кеніші қарастырылады. Кен орнының тереңде жатқанын ескере отырып, сондай-ақ тау-кен жұмыстарын жүргізу, ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу және тәуекелдерді басқарудың технологиялық жүйесін енгізу кезінде кенді қабаттардың жыныстарының физикалық-механикалық қасиеттерін және геомеханикалық процестерді неғұрлым толық зерделеу мақсатында талап етіледі. Зерттеу барысында қолданыстағы жоғары технологиялық тәуекелдер бағаланды, атап айтқанда, шатырдың тұрақтылығының бұзылуы және пышақтау, шымшу және жылжу түріндегі гоф жағдайының нашарлау белгілерінің көрінісі. тіректердегі бұрғыланған ұңғымалардың қабырғалары және т.б. Тау жыныстары қысымының динамикалық формаларының көрінісімен тау-кен жұмыстарын қауіпсіз жүргізудің жалпы ережелері зерттеліп, тау-кен қысымын төмендетуге бағытталған. Кеніште тау-кен жұмыстарын қауіпсіз жүргізу технологиясын жетілдіруге бағытталған негізгі шаралар әзірленді.

Түйінді сөздер: қауіпсіз өткізу, тау-кен жұмыстары, технологиялық тәуекел, басқару жүйесі, бекіту, қазу, тау жыныстарының қысымы, жүйе элементі.

Основные меры обеспечения безопасного ведения горных работ на руднике Жомарт

Аннотация. Выстраивание системы управления технологическими рисками является одной из основных мер обеспечения безопасного ведения горных работ на подземных рудниках. В качестве пилотного объекта для исследования, внедрения и проверки жизнеспособности предлагаемой системы управления технологическими рисками рассмотрен функционирующий подземный рудник Жомарт. Учитывая глубокое залегание месторождения, а также с целью более полного изучения физико-механических свойств горных пород рудоносной толщи и геомеханических процессов при ведении горных работ, требуется проведение исследований и внедрение системы управления технологическими рисками. В процессе исследования оценены существующие высокие технологические риски, в частности, нарушение устойчивости кровли и проявление признаков ухудшения состояния выработанного пространства в виде заколообразования, пережима и смещения стенок пробуренных скважин в целиках и др. При проявлении динамических форм горного давления исследованы и определены общие положения безопасного ведения горных работ, направленные на снижение горного давления. Разработаны основные мероприятия, направленные на улучшение технологии безопасного ведения горных работ на руднике.

Ключевые слова: безопасность ведения, горные работы, технологический риск, система управления, крепление, горная выработка, горное давление, элемент системы.

Introduction

The exploring and implementing system of the technology risk management as part of the system of the safe mining operations at the Kazakhmys Corporation LLC underground mines is a cycle of the continuous process improvement of making and implementing the new technological decisions. Thus, these decisions can affect the occurrence of the negative consequences during the second working and first mining operations.

The main stages for an effective process of the technology risk management at the underground mines are illustrated in Figure 1:

- 1) the hazard identification of technology risks;
- 2) the systematization of assessment of technology risks;
- 3) classification and ranking of the technology risks;
- 4) development of measures and actions for technology risk management;
- 5) the progress monitoring of measures and actions;
- 6) the performance evaluation of measures of the technology risk management [1].

The implementation of the technology risk management system is one of the basic measures to ensure the safe mining operations at the underground mines. The operating Zhomart underground mine has been studied as a pilot facility to research, implement and test the efficiency of the proposed tech-

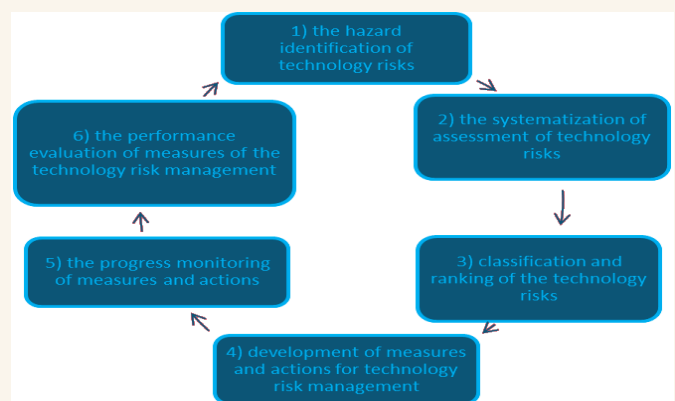


Figure 1. Algorithm for identifying hazards, assessing and managing risks.

Сурет 1. Қауіптерді анықтау, тәуекелдерді бағалау және басқару алгоритмі.

Рис. 1. Алгоритм идентификации опасностей, оценки и управления рисками.

nology risk management system. The mine develops the reserves of the Zhaman-Aybat occurrence, allocated to the first stage of the mining.

Reserves of the first stage of the mining have been opened by the shafts located in the central part such as «load-lifting» and

«skip-cage» shafts, boundary shafts: «ventilation 1» and «ventilation 2». Since 2006 the mining operations have been conducting. The effected performance is 4.0 million tons of ore per year due to involvement of the chambered reserves in the mining.

Therefore, the research and implementation of the technology risk management system is required due to the deep occurrence, the detailed exploration of the physical and mechanical properties of rocks of the ore-bearing strata and the geomechanical processes during the mining operations [2].

For the safe and rational field exploitation, the main directions of the exploration operations have been defined:

- the zoning of the occurrence by stability of the roof and development of a group of actions for the safe mining operations;
- the exploration to establish the optimal parameters of the approved variants of systems for development and support;
- the examination of the effective technology to manage the rock pressure at the underground mines;
- the study of the geomechanical processes during the mining operations;
- the geomonitoring of status of the mined-out area, the overlying strata and the earth's surface [3].

Research methods

The literature review, study of the scientific and technical documentation on issues of the safe mine workings, calculations and results of the Zhomart mine, analysis and synthesis of research results with their critical evaluation can substantiate the need for further development and improvement of the technology risk management system [4-6].

Results and discussions

At the Zhomart mine, the cross-sectional areas of the horizontal mine workings are used for haulage of some mobile mining equipment in view of the facilities, clearance spaces, and the supply or delivery of the required amount of air to ventilate the mine workings. Type of the support of mine workings has been determined on the basis of strength and stability of rocks.

In order to design the supports for mine workings, the following proportions have been applied: without support (stable rocks) – 10%; the reinforced concrete (steel-polymer) rods with sprayed-concrete coating (medium stable rocks) – 60%; and concrete (unstable rocks) – 30%.

The junction of the horizontal mine workings, the chambered workings and their junctions are supported with concrete. The strong and stable rocks are anchored by bars with the sprayed concrete. The roof of the mined-out area is anchored with the diesel-hydraulic drilling and bolting machines such as Sandvik DS410-40 and Sandvik DS210L [7].

Number of the working shifts of the drilling and bolting machine for anchoring of the mined-out area is resented below:

$$N_{sup.} = \frac{n_{sup.}}{Q_{shift}}$$

where, $n_{sup.}$ – a required number of bars for anchoring of the mined-out area, pcs.;

Q_{shift} – the shift capacity of the drilling and bolting machine according to the actual data of the Zhomart mine. Results of the calculation are presented in Table 1.

Table 1

Calculation of capacity for anchoring of roof

Кесте 1

Шатырды бекіту өнімділігін есептеу

Таблица 1

Расчет производительности крепления кровли

No.	Name of indicators	Unit	Mining of reserves with capacity more 4 m	Mining of low-capacity areas
1	Type of machine	–	Sandvik DS 511-C	Sandvik DS 210-L
2	Required number of bars	pcs.	190	140
3	Number of the working shifts of machine for anchoring of roof	–	1.0	2.0
4	Required number of machines for anchoring of roof	pcs.	1	2

A Norment Spraymec 1050 WPC special diesel-powered self-propelled mobile machine is used for concrete spraying of the roof of the mined-out area.

Number of the working shifts of the Normet Spraymec 1050 WPC special machine for concrete spraying of the roof is resented below:

$$N_{concr.spray.} = \frac{S_{concr.spray.}}{Q_{shift}}$$

where, $S_{concr.spray.}$ – a roof area for concrete spraying, m²;

Q_{shift} – the shift capacity of the machine according to the actual data of the Zhomart mine, $Q_{shift} = 350$ m²/ a shift.

Results of the calculation are demonstrated in Table 2.

Due to the fact that at a depth of the mining of the occurrence exceeding 400 m, the occurrence of the dynamic forms of the rock pressure can be observed. Thus, it is necessary to comply with the general regulations of the safe mining operations to reduce the mining pressure:

- It is not allowed to conduct the mining operations with leaving the pillars not included in the project, i.e. they are concentrates of tension in the rock mass;

- The limitation of the mine workings along the greatest tension in the rock massif;

- Application of the perimeter blasting technique in order to obtain the most stable shape for the cross-sectional area of the mine workings [8-9].

Table 2
Calculation of capacity for concrete spraying of the roof

Кесте 2
Шатырлы бетонның өнімділігін есептеу

Таблица 2
Расчет производительности торкретирования кровли

No.	Name of indicators	Unit	Normet Spraymec 1050 WPC
1	A roof area for concrete spraying	m ²	330
2	the shift capacity of the machine	m ² /cm	350
3	Number of the working shifts of the machine	–	0,9
4	Required number of machines	pcs.	1

In parallel, the Zhomart mine is implementing a process of the risk management system. Thus, based on it the technology risks have been assessed, and measures to reduce them have been developed (Table 3).

Conclusion

The basic measures to improve the technology of the safe mining operations during the mine workings have been defined:

1. The implementation of the mentioned technology risk management system;
2. The provision to apply the modern self-propelled and other equipment in all technological processes during the mining operations;

3. The application of the mechanized special-purpose diesel-powered scalers to secure the roof;

4. The predrilling to prevent the possible spalling of roof and sides along the entire length of the mine workings. The broken ore is removed from the danger zone by the load-haul-dump machine;

5. The monitoring of the uncontrolled fall of the roof in the face space of the mine workings and application of the forced rock fall with observance of safety measures and strengthening of anchoring in this area;

6. The subdrilling rocks of the roof of the mine workings for the forced landing in case of delay of the uncontrolled fall of the superincumbent rocks [10].

In order to effectively manage the rock pressure during the mine workings in the underground mines and to ensure the safety of the mining operations, it is proposed to strengthen the roof of the mined-out area by the sprayed concrete supports with the advanced types of setting accelerators and superplasticizers.

The article was prepared on the basis of pilot tests carried out by the commission of the Zhomart underground mine of Kazakhmys Corporation LLP and the Lead Design Institute of Kazakhmys Corporation LLP.

Мақала «Қазақмыс Корпорациясы» ЖШС Жомарт жерасты кенішінің комиссиясы мен «Қазақмыс Корпорациясы» ЖШС «Жетекші жобалау институты» жүргізген тәжірибелік сынақтар негізінде дайындалған.

Статья подготовлена на основе опытно-промышленных испытаний, выполненных комиссией подземного рудника Жомарт ТОО «Корпорация Казахмыс» и Головным проектным институтом ТОО «Корпорация Казахмыс».

Table 3
The basic high technology risks and measures to reduce them during the mine workings

Кесте 3
Негізгі технологиялық тәуекелдер және тау-кен жұмыстары кезінде оларды азайту шаралары

Таблица 3
Основные технологические риски и мероприятия по их снижению при проведении горных выработок

Potential risks	Consequences	Measures to stop risks
Loss of roof stability and signs of deterioration in the mined-out area such as spalling, distortion bending and displacement of the sides of drilled wells in the pillars etc.	Uncontrolled rock fall, creating a threat to human life due to deterioration of the geomechanical conditions of the site.	1. Stoppage of the mining operations until the geomechanical situation is stabilized in compliance with the industrial safety requirements. 2. Technological advancement and facilities of the anchoring process.
Insufficient efficiency of combined support, including concrete spraying, which widely used at the mine, can lead to the local rock falls out from the roof and sides of the mine workings and to rock bumps. Thus, it can traumatize the miners of the working and drifting faces.	Uncontrolled rock fall, creating a threat to human life due to deterioration of the geomechanical conditions of the site.	Application of the new technological solutions related to strengthening of the roof stability based on the advanced types of setting accelerators and superplasticizers for the sprayed concrete.

Table 3 continued
 3-кесте жалғасы
 Продолжение таблицы 3

Standing of a miner during the marking and gadding in the face space.	Spalling of rock blocks from the roof and sides of the mine workings during the gadding, anchoring and loading.	Automation of the marking and gadding in the face space.
Spalling of roof and sides along the entire length of the mine workings.	Threat to human life due to the spalling of roof and sides along the entire length of the mine workings.	1. The drilling and breaking ground of roof and sides of the mine workings. 2. Additional strengthening of the sides of the mine workings with sprayed concrete supports and/or anchoring.
Overhang of roof and sides in the face space of the mine workings	Threat to human life due to sudden rock slide	1. If the roof and side of rocks in the face space of the mine workings do not fall by themselves, they will be forced to fall out. 2. Strengthening of the support in the face space and application of the temporary anchoring.

REFERENCES

1. *ST RK ISO 31000-2020 «Risk management. Guidelines» (in Russian)*
2. *Kazakhmys Corporation LLP. Instruction on arched support in mine workings at the Zhomart mine. – 2020 (in Russian)*
3. *A practical guide for a mining engineer. – Karaganda, Kazakhmys Corporation LLP. – 2019. – P. 365 (in Russian)*
4. *Alejano, R. Rock engineering and rock mechanics: structures in and on rock masses/ R. Alejano, Áurea Perucho, Claudio Olalla, Rafael Jiménez. – CRC Press. – 2015. – P. 372 (in English)*
5. *Barton, Nick. Shear strength criteria for rock, rock joints, rockfill and rock masses: Problems and some solutions / Nick Barton // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2016. Vol. 5(4). – P. 249-261 (in English)*
6. *Bidgoli, Majid Noorian. Numerical evaluation of strength and deformability of fractured rocks / Majid Noorian Bidgoli, Zhihong Zhao, Lanru Jing // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2016. – Vol. 5(6). – P. 419-430 (in English)*
7. *«Mining plan for the development of reserves at the Zhaman-Aibat deposit», Kazakhmys Corporation LLP, Lead Design Institute, Zhezkazgan. – 2022 (in Russian)*
8. *«Industrial Safety Rules for Hazardous Production Facilities Conducting Mining and Geological Exploration». – Astana, 2015 (in Russian)*
9. *«The project of industrial development of the Zhaman-Aibat field. Opening and development of reserves of the II stage (adjustment of the stripping scheme)», LLP «Corporation Kazakhmys», Head Design Institute. – Astana, 2017 (in Russian)*
10. *«Calculation of ore reserve standards based on the degree of preparedness of underground mines of Kazakhmys Corporation LLP, Lead Design Institute. – Astana, 2020 (in Russian)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *ҚР СТ ИСО 31000-2020 «Тәуекелдерді басқару. Әдістемелік нұсқаулар» (орыс тілінде)*
2. *«Қазақмыс корпорациясы» ЖШС. Жомарт кенішіндегі тау-кен қазбаларын бекіту жөніндегі Нұсқаулық. – 2020 (орыс тілінде)*
3. *Тау-кен инженеріне практикалық нұсқаулық. – Қарағанды, «Қазақмыс Корпорациясы» ЖШС. – 2019. – Б. 365 (орыс тілінде)*
4. *Alejano, R. Тау жыныстары инженериясы және тау жыныстары механикасы: тау жыныстарының ішіндегі және массивтеріндегі құрылымдар / R. Alejano, Áurea Perucho, Claudio Olalla, Rafael Jiménez. – CRC Press. – 2015. – Б. 372 (ағылшын тілінде)*
5. *Barton, Nick. Тау жыныстары, тау жыныстары, тау жыныстары және жыныс массалары үшін ығысу беріктігі критерийлері: мәселелер және кейбір шешімдер / Nick Barton // Тау жыныстары механикасы және геотехникалық инженерия журналы. – 2016. – Т. 5(4). – P. 249-261 (ағылшын тілінде)*
6. *Bidgoli, Majid Noorian. Жарылған жыныстардың беріктігі мен деформацияланғыштығын сандық бағалау/ Majid Noorian Bidgoli, Zhihong Zhao, Lanru Jing // Тау жыныстары механикасы және геотехникалық инженерия журналы. – 2016. – Т. 5(6). – P. 419-430 (ағылшын тілінде)*

7. «Жаман-Айбат кен орнындағы қорларды игерудің тау-кен жұмыстарының жоспары», «Қазақмыс корпорациясы» ЖШС, Жезқазған қ., Жетекші жобалау институты. – 2022 (орыс тілінде)
 8. «Тау-кен және геологиялық барлау жұмыстарын жүргізетін қауіпті өндірістік объектілердегі өнеркәсіптік қауіпсіздік ережелері». – Астана, 2015 (орыс тілінде)
 9. «Жаман-Айбат кен орнын өнеркәсіптік игеру жобасы. II кезеңдегі қорларды ашу және игеру (аршу сұлбасын түзету)», «Қазақмыс» Корпорациясы» ЖШС, Бас жобалау институты. – Астана, 2017 (орыс тілінде)
 10. «Корпорация «Қазақмыс» ЖШС жерасты кеніштерінің дайындық дәрежесіне негізделген кен қоры нормативтерін есептеу, Жетекші жобалау институты. – Астана, 2020 (орыс тілінде)
- СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**
1. СТ РК ISO 31000-2020 «Менеджмент риска. Руководящие указания» (на русском языке).
 2. ТОО «Корпорация Казахмыс». Инструкция по креплению горных выработок на руднике «Жомарт». – 2020 (на русском языке)
 3. Практическое пособие горного инженера. Караганда, ТОО «Корпорация Казахмыс». – 2019. – С. 365 (на русском языке)
 4. Alejano, R. Горная инженерия и горная механика: конструкции в горных массивах / R. Alejano, Aurea Perucho, Claudio Olalla, Rafael Jiménez. – CRC Press. – 2015. – С. 372 (на английском языке)
 5. Barton, Nick. Критерии прочности на сдвиг для горных пород, швов горных пород, каменной наброски и горных массивов: проблемы и некоторые решения / Nick Barton // Журнал горной механики и геотехнической инженерии. – 2016. – Т. 5(4). – С. 249-261 (на английском языке)
 6. Bidgoli, Majid Noorian. Численная оценка прочности и деформируемости трещиноватых горных пород / Majid Noorian Bidgoli, Zhihong Zhao, Lanru Jing // Журнал горной механики и геотехнической инженерии. – 2016. – Т. 5(6). – С. 419-430 (на английском языке)
 7. «План горных работ отработки запасов месторождения Жаман-Айбат», ТОО «Корпорация Казахмыс», Головной проектный институт. – Жезказған, 2022 (на русском языке)
 8. «Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геологоразведочные работы». – Астана, 2015 (на русском языке)
 9. «Проект промышленной разработки месторождения Жаман-Айбат. Вскрытие и отработка запасов II очереди (корректировка схемы вскрытия)», ТОО «Корпорация Казахмыс», Головной проектный институт. – Астана, 2017 (на русском языке)
 10. «Расчет нормативов запасов руды по степени подготовленности подземных рудников», ТОО «Корпорация Казахмыс», Головной проектный институт. – Астана, 2020 (на русском языке)

Information about the authors:

Ақпанбаева А.Г., PhD, student at The Department «Development of Mineral Deposits» of The Non-profit Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan), 777a88@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5848-8115>

Исабек Т.К., doctor of technical sciences, professor at The Department «Development of Mineral Deposits» of The Non-profit Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan), tyiak@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7718-933X>

Толовхан Б., PhD, student at The Department «Development of Mineral Deposits» of The Non-profit Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan), baur_999@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8961-9170>

Авторлар туралы мәліметтер:

Ақпанбаева Ә.Г., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы кен орындарын қазып өндіру» кафедрасының докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан)

Исабек Т.К., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы кен орындарын қазып өндіру» кафедрасының т.ғ.д., профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Толовхан Б., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы кен орындарын қазып өндіру» кафедрасының докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Ақпанбаева А.Г., докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский Технический Университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Исабек Т.К., д.т.н., профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский Технический Университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Толовхан Б., докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский Технический Университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)



**TECH MINING
RUSSIA**

www.techmining.ru

**TECH MINING
RUSSIA | 2023**

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

5-я международная конференция и выставка
7-8 сентября 2023, Москва

16+

75 ЛЕТ АКАДЕМИКУ НАН РК БУКТУКОВУ НИКОЛАЮ САДВАКАСОВИЧУ



10 июня исполнится 75 лет Буктукову Николаю Садвакасовичу, известному ученому-горняку, академику Национальной академии наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан, Заслуженному изобретателю Республики Казахстан, Почетному горняку Республики Казахстан, Лауреату премий имени академика АН СССР Сатпаева К.И.; имени А. Байтурсынова; имени академика АН КазССР Ш. Есенова, академику Евразийской академии горных наук, Казахстанской академии естественных наук, Национальной академии горных наук, доктору технических наук, профессору, директору Филиала «РГП НЦ КПМС РК» «Институт горного дела им. Д.А. Кунаева».

Буктуков Н.С. в 1971 году с отличием окончил горный факультет Казахского политехнического института по специальности «Технология и комплексная механизация открытой разработки месторождений полезных ископаемых». В 1976 г. защитил диссертацию по вопросам взаимосвязи экономики, горного производства и обогащения руд на соискание ученой степени кандидата технических наук, а в 1986 г. – диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук по проблеме формирования качества углей в потоке и его влияние на технико-экономическую эффективность топливно-энергетического комплекса.

Буктуков Н.С. – специалист, о котором говорят: прошел все ступени профессионального роста. С 1972 г. работал в Институте горного дела Академии Наук, где прошел весь путь от старшего инженера, младшего, старшего и ведущего научного сотрудника до заведующего лабораторией, главного научного сотрудника. С 1994 г. начальник отдела маркетинга и патентно-лицензионной работы президиума Национальной Академии наук РК, 1995 г. – заместитель президента Национальной Академии наук РК по вопросам

инновационной деятельности и реализации научно-технических разработок. С ноября 2001 г. – заместитель директора Института горного дела им. Д.А. Кунаева по экономике и коммерциализации науки, с ноября 2002 г. по декабрь 2003 г. – академик-секретарь Отделения наук о Земле Национальной Академии наук Республики Казахстан. В 2004–2006 гг. – заместитель генерального директора РГП «Центр химико-технологических исследований» МОН РК, Советник ректора КазНТУ им. К.И. Сатпаева по инновационной деятельности, параллельно – зав. отделом физико-технических проблем комплексного освоения недр ИГД им. Д.А.Кунаева. С 2010 г. и по настоящее время Буктуков Н.С. – директор Института горного дела им. Д.А. Кунаева.

Академиком НАН РК Буктуковым Н.С. решены крупные научные проблемы:

- разработаны технологии и обоснованы рациональные параметры селективной отработки сложноструктурных месторождений открытым способом;
- созданы новые технологии открытой и комбинированной разработки угольных и рудных месторождений, рациональные способы и научно-технические решения по концентрации горного производства, разработаны рациональные схемы вскрытия глубоких горизонтов карьеров и циклично-поточные и поточные технологии ведения горных работ;
- разработаны теория и технология динамического формирования однородности качества минерального сырья в непрерывном потоке. Обоснованы и созданы новые способы и средства стабилизации и установлены закономерности формирования и свойств качества угольных и рудных потоков, основанных на объективных горно-геологических условиях залегания месторождения и реальных технологических процессах добычи;

- разработан метод определения бортового содержания металла, учитывающий экономические реалии, среднее содержание металла в руде и его колебаний, а также влияние на последующий передел;

- созданы нетрадиционные энергосберегающие способы добычи и транспортировки высоковязких и парафинированных углеводородов; созданы способы снижения вязкости высокопарафинистых нефтей и битумов, решены задачи минимизации затрат на подготовку нефти к добыче и транспортировке;

- разработаны ветроэлектростанции эффективностью выше традиционных более чем в 2 раза и солнечные батареи нового поколения с эффективностью 45-60% вместо 18-20%. При этом стоимость электроэнергии впервые в мире не превышает стоимости энергии от сетей.

В составе группы из трех человек Буктуков Н.С. создал научно-технические разработки, реализация которых при строительстве угольного предприятия «Восточный» позволила снизить капитальные вложения практически на 10 млн. долларов США, а эксплуатационные затраты были снижены на 1,5 млн. долларов в год.

В качестве консультанта принимал участие в решении вопросов вывода промышленных предприятий на безубыточный уровень: АО «Иртышский химико-металлургический завод», АО «Институт Казгипроцветмет», АО «Целинэнергобанк», АО «Иртышский Полиметаллический комбинат», АО «Павлодарский тракторный завод», АО «Текелийский свинцово-цинковый комбинат», АО «Акмоласельмаш». Будучи экспертом Госплана СССР, проводил технико-экономическую и экологическую экспертизу предприятий горно-металлургического комплекса. В качестве эксперта Министерства экологии и биоресурсов Казахстана проводил экологическую экспертизу топливно-энергетического комплекса.

Независимый и творческий подход к решению поставленных задач обеспечили успех не только этих проектов, но и многих других, в которых участвовал и проявил себя как высококвалифицированный специалист Николай Садвакасович. Разработал Положение о вводе объектов интеллектуальной собственности в экономический оборот в соответствии с международной практикой и в поле действующего законодательства РК. Принимал активное участие в разработке различных государственных программ, включая: Программу формирования и развития национальной инновационной системы; План мероприятий по реализации программы по формированию и развитию национальной инновационной системы РК на 2005-2015 годы; План мероприятий по реализации Стратегии индустриально-инновационного развития РК на 2003-2015 годы; приняты предложения в «Закон о науке», Закон «О государственной поддержке инновационной деятельности», а также предложения по улучшению работы Национального инновационного фонда.

Академик Буктуков Н.С. проводит работы по проблемам, связанным с развитием экономики в условиях рынка, руководит разработкой конструкторских чертежей и изготовлением экспериментальных и промышленных образцов новой техники для горной промышленности, альтернативной энергетики, сельского хозяйства, занимается вводом в экономический оборот научно-технических разработок, защищенных патентами Республики Казахстан и других стран, составлением бизнес-планов, маркетинговыми исследованиями.

Буктуковым Н.С. особое внимание уделяется вопросам инновационного развития. Опубликована первая в Казахстане монография, содержащая механизмы реализации индустриально-инновационной стратегии развития экономики. С 1995 г. он выступает в печати с предложениями по переходу на инновационный путь развития экономики.

Академиком Буктуковым Н.С. опубликовано более 250 научных трудов, в т. ч. 6 монографий, более 70 изобретений, защищенных патентами Германии, Японии, Южной Кореи, Канады, Китая, Казахстана, Европейскими и Евразийскими патентами. Под научным руководством Н.С. Буктукова подготовлено 5 докторов и 9 кандидатов наук.

Многогранная и плодотворная научно-педагогическая и инженерная деятельность Буктукова Н.С. получила высокую оценку. Он награжден почетными грамотами: Президиума АН КазССР; ЦК КПСС, СМ СССР, ВЦСПС, ЦК ВЛКСМ; ЦК ЛКСМ Казахстана; Переходящим Знаменем ЦК ВЛКСМ; медалью ВДНХ СССР; Знаком Изобретатель СССР; занесен в Летопись Комсомольской Славы. Является Лауреатом премии Ленинского комсомола Казахстана; Премии имени академика АН СССР Сатпаева К.И.; Премии имени А. Байтурсынова; Премии имени академика АН КазССР Ш. Есенова; медалями и знаками «За заслуги в развитии науки в Республике Казахстан», «Кенші данкы» III, II, I степени и «Почетный горняк». Заслуженный изобретатель Республики Казахстан. Обладатель международной золотой медали Евразийской патентной организации им. В.И. Блинникова за вклад в изобретательское и патентное дело, ряда медалей и ордена общественных отечественных и зарубежных организаций.

Уважаемый Николай Садвакасович, уверены, что, как и прежде, Вы настроены на новые дерзновенные планы и высокие цели, что многолетний богатый опыт, самоотверженный труд, ответственность и профессионализм позволят Вам и дальше успешно решать стоящие перед горно-металлургической отраслью задачи.

Поздравляя Вас с юбилеем, от всей души желаем Вам крепкого здоровья, неиссякаемой энергии, долгих лет жизни, благополучия, счастья, новых успехов и научных свершений, воплощения самых амбициозных проектов на благо Казахстана!

**Коллектив Филиала
РГП «НЦ КИМС РК» КИР МИИР РК
«Институт горного дела им. Д.А. Кунаева»**

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, метадаанные 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 подрисуночном текстах. Надписи и другие обозначения на графиках и рисунках должны быть четкими и легко читаемыми. **ПОДПИСИ К РИСУНКАМ и ЗАГОЛОВКИ ТАБЛИЦ ОБЯЗАТЕЛЬНЫ.** Оформляются отдельным блоком на казахском, русском и английском языках.

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ составляется в порядке цитирования и оформляется в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008. Ссылки на литературу в тексте отмечаются по мере их появления порядковыми номерами в квадратных скобках. Список приводится на казахском, русском и английском языках.

4. Условия приобретения журналов авторами.

С автором(ами) заключается договор о приобретении 8 (восьми) экземпляров журнала с 50% скидкой, которые он(они) имеют право распространять среди горной общественности. Для авторов, проживающих в других городах (кроме г. Алматы) и не имеющих представителей в г. Алматы, в счет включаются почтовые услуги. После оплаты статья публикуется в очередном номере журнала, а автору(авторам) предоставляются экземпляры журнала, согласно счету.