

ГОРНЫЙ

ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА

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

Издается с января 2003 г.

Приказом №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,
+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 30.04.2023 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 Nabashi (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

А.Н. Шодиев, д-р техн. наук

Т.А. Чепуштанова, PhD

® – статья на правах рекламы

① – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

- 3** Колонка главного редактора
- 4** *Марат Жакупович Битимбаев*
Еще раз о созидательной роли печатного слова раньше и сейчас
- Новости ESAB в Центральной Азии**
- 6** Не сбавляя обороты! ESAB в Центральной Азии
- Геотехнология**
- 12** *Ю.Н. Шапошник, А.И. Коңурин, С.Н. Шапошник, *Л.А. Крупник*
Закладочные работы на подземных рудниках Крайнего Севера
- Геотехнология**
- 20** *Ж.Д. Жалбыров, *Н.М.Замалиев, Н.Г. Валиев, А.Т. Жансейтов*
Подбор технического оборудования для работы в сложных условиях карьерных разработок руды
- Буровзрывные работы**
- 28** *П.В. Меньшиков, *В.А. Кутуев, С.Н. Жариков*
Сравнительный анализ формул по расчету скорости детонации взрывчатых веществ
- Нефтегазовое дело**
- 37** *Н.Б. Ермуханова, А.Б. Арыстанбек, А.Е. Төлеген, *А.К. Абилова*
Құмкөл кен орнындағы техногендік жер сілкіну ықтималдықтары
- Переработка полезных ископаемых. Производственный опыт**
- 42** **А. Доберсек, А. Курнарский, А. Райш*
Сгущение хвостовой пульпы на южном горно-обогатительном комбинате
- Металлургия**
- 49** **Т.А. Chepushtanova, D. Maratuly, К.К. Mamyrbayeva, M. Brajendra*
The studying of pyrite and arsenopyrite specific surface and porosity at roasting condition
- Геоэкология**
- 57** *Е.І. Kuldeev, *М.В. Nurpeisova, А.А.Бек, А.А. Ashimova*
Prospects for technogenic waste processing for production of construction materials
- 65** Требования к оформлению и условия предоставления статей

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат
Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

Дорогие читатели!

Уважаемые коллеги!

В предыдущих номерах мы говорили о мартовских событиях, об особом предназначении марта в нашей повседневной суете. Наступает апрель, и он совместно с мартом наводит порядок в наших мыслях, поступках и действиях, потому что начинается пора освоения материальных и финансовых ресурсов, планов действий в хозяйственной сфере. Растаял снег, ушли морозы, подсыхают дороги – самое время начинать строительные работы.

Геологи после зимних подготовительных работ готовы начинать разведочный сезон. Перед отправкой в поле мы должны поздравить их с праздником – Днем геолога. В этом году он отмечается 2 апреля.

Люди мужественной и одновременно лиричной, душевной профессии, которые лучше всех нас ценят каждую минуту пребывания «под крышей дома своего» и каждую минуту в маршруте. В каждом случае эта минута для них становится дорогим мгновением, в которое укладываются самые сокровенные слова, и, возможно, открытие нового месторождения.

Наша признательность и уважение к геологам безгранична, ибо, начиная с решения первобытного человека, что лучше становится жить, когда ты используешь камни, эта мысль закрепила окончательно в нем, когда он получил в руки медь, железо, золото. С тех пор геологи без дипломов превратились в людей особой касты, создающих основу нашего благополучного существования и развития.

Пользуясь богатствами недр и обеспечивая себе достойное место в цивилизованном мире, каждая страна добывается новых рубежей благодаря геологам.

Для Казахстана дата этого Праздника имеет особую символичность, потому что, во-первых, наша земля оказалась одной из самых плодотворных по своим подземным богатствам.

Во-вторых, одним из первых инженеров из среды казахов нашу степь и ее бескрайние просторы прославил геолог Сатпаев Каныш Имантаевич, а он родился 12 апреля 1899 года. И наше государство, учитывая определенную роль Каныша Имантаевича в создании экономического потенциала страны, основанного на использовании содержимого недр, его величайшие достижения в научном познании геологического строения регионов Казахстана, на котором основано развитие по региональным секторам, установило, что 12 апреля является еще одним праздником – Днем науки.

Оказалось позднее, территориальные возможности Казахстана настолько отвечают требованиям организации безопасных полетов в космическое пространство, что первый человек в Космос поднялся с космодрома Байконур тоже 12 апреля. День Космонавтики, отмечаемый на всем земном пространстве, оказался навсегда связанным с Казахстаном и именем Юрия Гагарина.

Все эти праздники проходят в череде будней, когда хлеборобы готовят землю к вспашке и посевной кампании, скотоводы принимают роды у домашних животных, механизаторы выводят в поле технику, другие специалисты живут мыслями об овощах и фруктах.

Земля продолжает нас кормить, и ее возможность как на поверхности, так и в своих недрах не беспредельна, поэтому в День науки, День геолога, День космонавтики можно сказать всем нам единое пожелание: «Берегите Землю и околоземное пространство!» И аграриев, и животноводов, и геологов с горняками, обогатителей, металлургов объединяет задача не только накормить, насытить общество людей, но и вместе со всем человечеством создать технологии, ориентированные не на потребление, а на ресурсовоспроизводящее и ресурсосберегающее освоение и сохранение Земли от поверхности до глубины своего проникновения.

Будем помнить о наших детях и внуках, о будущих поколениях! Оставим им в наследство Землю в первоначальном виде!

ЕЩЕ РАЗ О СОЗИДАТЕЛЬНОЙ РОЛИ ПЕЧАТНОГО СЛОВА РАНЬШЕ И СЕЙЧАС

(к 20-летию «Горного журнала Казахстана»)

Отдав производству все свои юные годы и пору становления как горного инженера и руководителя, я никогда не думал, что судьба так неожиданно и так для меня своевременно свяжет меня с работой в сфере научной журналистики. Не будучи профессиональным журналистом, пришлось начинать с азов.

Как мне сейчас ясна идея и необходимость создания специального научно-производственного печатного издания, посвященного горно-металлургической отрасли, так она должна была заполнить и мысли отцов-основателей. У «Горного журнала Казахстана» (кстати, это название закрепилось за ним с момента выхода первого номера (10 марта 2003 года) основатель был один. Он известен по многим своим человеческим и инженерным качествам. Речь идет о моем однокурснике и друге, выдающемся ученом, одним из немногих сочетавших в своей повседневной деятельности науку с интересами производства, Тамбиев Геннадий Иссаевич.

Мы, говоря о юбиляре, должны рассказать и о его создателе. Геннадий Иссаевич был инженером «от бога». Такие люди рождаются сами по себе, и их предназначение определено свыше, есть только одно условие: «Всего добьешься сам. Работать надо без сна и отдыха». Эти люди создают науку, искусство, производство, кормят, обувают-одевают нас. Когда потом читаешь о них и видишь воочию их достижения, пользуешься их плодами, практически никогда в голову не приходят мысли о гениях, о таланте, о непрерывном трудовом подвиге, потому что кажется, что все так просто и ясно.

Буквально на пустом месте, когда новые независимые республики, возникшие на развалинах нашей бывшей Родины – СССР, испытывали все «прелести» новой жизни, предприятия горно-металлургической отрасли получили один из самых болезненных ударов «под-дых» из-за отсутствия взрывчатых веществ и средств взрывания, без которых невозможно добыть руду.

В это время Тамбиев Г.И. со своей командой, состоявшей из работников дышащей на ладан лаборатории по комплексной механизации буровзрывных работ (ЛКМ БВР), созданной по инициативе видного ученого-специалиста в области проведения горных выработок и БВР Бейсебаева А.М. в стенах КазПТИ им. В.И. Ленина в 1968 году, думали денно и ночью, как спасти лабораторию.

Спасение утопающих – дело рук кого? Конечно, сказал Геннадий Иссаевич, это дело рук самих уто-

пающих. Оптимальным вариантом, позволяющим не просто быть на плаву, но и решая вопрос государственной важности по обеспечению Казахстана своими собственными ВВ, было создание отечественной компании.

Ее назвали НПП (научно-производственное предприятие) «Интеррин», заложив в ее название разумное сочетание науки и производства и определили основные направления ее деятельности:

- разработка и строительство мини-заводов по производству ВВ, приближенных к потребителям или даже в подземных выработках потребителей;
- разработка новых типов ВВ и технологий их изготовления, средств механизации проведения БВР с применением смесительно-зарядных машин и передвижных установок для изготовления ВВ;
- организация коммерческой деятельности по бесперебойному снабжению предприятий Казахстана ВВ на взаимовыгодной основе.

Позже успешное выполнение намеченных планов определило создание новых направлений деятельности по реализации выгодных и нужных государству, частному бизнесу и самому ТОО «НПП «Интеррин»:

- освоение современных технологий изготовления и применения эмульсионных ВВ, которые своевременно помогли «Интеррину» занять лидирующее положение в нашей стране с акцентом на местное сырье. Компания разрабатывала и организовывала производство водомасляной эмульсии, являющейся матрицей для приготовления смесевых эмульсионных ВВ;
- после организации строительство завода по сборке неэлектрических средств взрывания, которое дало возможность производить их и работать над ними;
- развитие одним из первых в горно-металлургическом комплексе Казахстана производственно-экономической системы аутсорсинга, что создало возможность увеличения как добычи руды, так и стабилизации деятельности предприятий по освоению сложных месторождений с достижением рентабельных конечных результатов.

Казалось бы, компания состоялась, мечты Геннадия Иссаевича претворены в жизнь и на этом можно остановиться, улучшая созданные направления бизнеса. Но нет. Неуемная личность и творческий душевный настрой Тамбиева Г.И., его патриотизм и умение видеть перспективу привели его в содружестве с коллегами к мысли о создании научно-производственного печатного издания.

В 2003 году, учитывая многие факторы, связанные с экономикой, наличием свободных финансовых ресурсов и востребованностью такого журнала на рынке, никто не решался на такой дерзкий шаг, не обещавший дивидендов.

Журналу было определено главное направление – научно-техническая и производственная информация, анализ, предложения ученых и инженерного персонала по качественному улучшению эффективности и жизнеспособности горно-металлургического потенциала страны.

Первым главным редактором журнала стал Акылжан Масымханович Бейсебаев, его заместителем – Крупник Леонид Андреевич, ответственным редактором была назначена Филиппова В.М. В составе редколлегии начали трудиться видные ученые, сделавшие себя как на научном поприще, так и на производстве – Айтматов И.Т., Алтаев Ш.А., Букейханов Д.Г., Буктуков Н.С., Ерофеев И.Е., Жаркенов М.Н., Зильберберг Г.Я., Исаченко О.С., Кутузов Б.Н., Милетенко И.В., Нифадьев В.И., Нурпеисова М.Б., Райвич И.Д., Рахимов В.Р., Рогов Е.И., Тиль В.В., Ткаченко А.М., Уманец В.Н., Хакимжанов Т.И., Цеховой А.Ф., Юн Р.Б.

В организации и подборе публикаций, в научных аналитических обзорах активно участвовали работники НПП «Интеррин», стоявшие у руля технологий создания ВВ и СВ Забудкин И.Л. и Ольшанский Е.Н.

Сегодня, по истечении 20 лет, можно уверенно сказать, что журнал на рынке своего предназначения состоялся, он востребован. Его публикациями интересуются ученые, инженеры, редакционные советы многих стран и предприятий. Мы вынуждены работать в обстановке длинной очередности по публикации трудов, диктуемой огромным количеством желающих, и регламентированного объема издания. С одной стороны, мы обязаны ужесточать требования к желающим стать авторами публикаций, поэтому мы уверены, что такое сочетание интересов будет способствовать нашему росту.

В геологическом, обогатительном и металлургическом направлениях, определяющих задачи, стоящими

перед горными науками, в их совместном эффективном воздействии на результаты освоения и сохранения недр мы видим наше будущее.

Ресурсовоспроизводящее и ресурсосберегающее производство полезных ископаемых, способы регулирования новыми геотехнологиями и минералургией разделения содержимого недр на первичные и вторичные георесурсы, создание и развитие физико-технических и физико-химических комбинированных геотехнологий, реализация горнотехнических систем с полным циклом освоения рудных месторождений – это тот комплекс задач, в который укладывается нынешний интерес горного сообщества всех стран мира. Наш журнал видит свое законное место в строю других изданий, которые помогают цивилизации обеспечивать свою надстройку крепким бизнесом по производству товарного продукта из минеральных ресурсов недр.

ТОО НПП «Интеррин», сумевшему благодаря инициативе его создателя Тамбиева Г.И. успешно освоить два детища, которые были одинаково дороги для него, можно гордиться, что оба они выросли, стали взрослыми и имеют полное право определять свою политику во имя процветания родного Казахстана, во имя успеха горных наук.

Печатное слово, силу которого мы испытываем каждый день во всех сферах своей жизни, в освоении и сохранении недр кормилицы Земли, имеет особое значение, потому что у Казахстана есть свое предназначение в судьбах планеты, определенное нашими подземными кладовыми.

Говоря о традиционной силе слова, мы всегда помним и благодарны тем, кто его рождает, думает над ним, испытывает тяжесть и значимость слова, сказанного или напечатанного, создает этим словом ауру, отвечающую нашим желаниям в практическом укладе жизни. Я имею ввиду и авторов, и ответственных работников редколлегии, которые добровольно несут на себе груз ответственности, потому что слово решает многие проблемы или останавливает любое решение. Спасибо всем, кто талантливо, творчески и с воодушевлением участвует в жизни нашего «Горного журнала Казахстана».

Не сбавляя обороты! ESAB в Центральной Азии

История компании ESAB в центральноазиатском регионе берет свое начало еще в 2007 году. Тогда одним из приоритетных направлений развития экономики Казахстана являлась нефтегазовая отрасль во многом за счет строительства освоения месторождений в Каспийском регионе. Все эти годы компания планомерно развивалась, расширяла дилерскую сеть и усиливала свое присутствие в регионе. Сегодня ESAB поставляет оборудование для ручной сварки и резки, автоматизированной сварки и механических систем резки, а также сварочные материалы и средства индивидуальной защиты практически для всех отраслей промышленности. В частности, решения компании высоко ценятся в горно-металлургической, нефтегазовой отраслях, а также в машиностроении и сегменте DIY (Do it yourself).

Апрель стал для ESAB месяцем высокой деловой активности: выставки и форумы, серия чемпионатов WorldSkills. На повестке – новинки, энергоэффективные решения для устойчивого развития, подготовка и переподготовка профессиональных кадров.

Металл и пламя на международной выставке UzMetalMash

Компания ESAB, один из лидеров в области производства оборудования и расходных материалов для сварки и резки, приняла участие в международной выставке металлургии, металлообработки и сварки – UzMetalMashExpo 2023. Ознакомиться с высокотехнологичными решениями можно было на стенде официального дистрибьютора ESAB в Узбекистане – компании General Welders.

Сегодня инновационное развитие становится наиболее важным элементом развития стран и регионов Центральной Азии. В частности, с каждым годом в Узбекистане все больше уделяется внимания вопросам модернизации производства, использования инноваций и современного оборудования на промышленных предприятиях, а также внедрения роботизированных и автоматизированных решений. В ответ на потребность рынка в высокотехнологичных решениях компания ESAB представила полный ассортимент сварочного оборудования, которое закрывает ключевые потребности центральноазиатского региона.

Так, на стенде был представлен мультипроцессорный сварочный аппарат Aristo 500ix с интегрированной системой интеллектуальной сварки QSet™. Система позволяет отрегулировать соотношение времени дуги и времени короткого замыкания, в результате чего получается более теплая дуга, в то время как частота короткого замыкания остается неизменной. В числе прочих преимуществ оборудования – до 250 предвари-



тельно запрограммированных синергических линий (с панелью U82 Plus), а также защита по стандарту IP23, которая позволяет использовать аппарат на улице, при тяжелых погодных условиях. Кроме того, специалисты компании продемонстрировали полуавтомат Rebel EMP205AC/DC CE, инверторный аппарат Renegade ET300iP EU, инверторы LHN 140i и LHN 160i и уже ставший легендой сварочный аппарат Rogue ET 200iP Pro.

Среди вспомогательного оборудования была представлена каретка для механизированной сварки Miggytrac B5001. С ее помощью можно легко автоматизировать процесс полуавтоматической сварки, поддерживать постоянную скорость сварки без потери производительности. В части механизированных решений специалисты продемонстрировали Railtrac B42V, модульную сварочную систему, которая оснащена блоком поперечных колебаний для механизации процессов сварки, наплавки и резки.

Также посетители смогли ознакомиться с универсальным блоком подачи проволоки Robust Feed AVS с расходомером. Решение прекрасно подходит для работы в условиях, требующих мобильности и надежности.

Кроме этого, на стенде General Welders были представлены сварочные электроды марки ОК 53.70, ОК 48P, ОК 74.70, сварочные проволоки CB-08Г2С, Aristorod 12.50, 12.51, ОК ПРО 51С, ПРО71 и присадочные прутки ОК Tigrod 12.64, 308 LSi, 316 LSi, а также сварочные горелки PSF, SR.



Во время работы со сварочным оборудованием средства индивидуальной защиты – передовой рубеж безопасности труда и здоровья сотрудников. Поэтому наряду с технологичным подходом ESAB расширяет ассортимент средств индивидуальной защиты. На выставке компания представила маску SAVAGE A40 9–13 с автоматическим затемнением, обеспечивающим высокую четкость изображения и естественную цветопередачу, а также блок принудительной подачи воздуха PAPR, краги и одежду для сварщиков.

«Узбекистан всегда был для ESAB стратегически важным и перспективным рынком, на котором последние годы мы наблюдаем активный рост промышленности и внедрение в производственные процессы цифровых и роботизированных решений. Только за прошлый год Узбекистан поднялся сразу на 4 позиции и занял третье место по инновационному развитию среди стран Центральной и Южной Азии, уступив лишь Индии и Ирану. Поэтому, вне всякого сомнения, нам важно оставаться в центре деловой активности и напрямую выстраивать взаимоотношения с нашими потенциальными и существующими заказчиками, которые также, как и мы, смотрят в сторону развития и модернизации. Все это становится возможно благодаря широко развитой дилерской сети. Компания General Welders – официальный дистрибьютор и важный стратегический партнер ESAB, который на высоком уровне представляет наши интересы в Узбекистане», – отметила директор по продажам ESAB, регион Центральная Азия, Екатерина Татарина.

«Компания General Welders уже более 10 лет успешно работает на рынке сварочного оборудования и за эти годы мы зарекомендовали себя, как надежного поставщика и партнера оборудования ESAB в Узбекистане. Среди наших заказчиков – крупнейшие производители из нефтегазовой, строительной и других отраслей промышленности.

Важно отметить, что мы так же, как и ESAB, сторонники комплексного подхода и предлагаем не просто сварочное оборудование, но и помогаем нашим заказчикам подобрать оптимальное решение исходя из задач, а также оказываем сервисную поддержку на всех этапах. Участие в выставке открыло нам возможность провести множество встреч и переговоров с существующими партнёрами, представить возможности оборудования и расходных материалов ESAB и наладить новые деловые связи. В ходе мероприятия мы отметили высокий интерес локальных изданий к продукции ESAB. Журналисты активно задавали вопросы, осматривали стенд и брали интервью у наших сотрудников. И, безусловно, такая заинтересованность отраслевого рынка в высокотехнологичных решениях компании, не может не радовать!», – добавил Шавкат Исмаилов, директор ООО «General Welders».

Будущее промышленности за молодыми профессионалами! WorldSkills Kazakhstan 2023

В апреле в Казахстане состоялось сразу несколько региональных чемпионатов профессионального мастерства WorldSkills Kazakhstan 2023. Компания ESAB, один из лидеров в области производства оборудования и расходных материалов для промышленной сварки и резки, совместно со стратегическим партнёром Welding Company поддержала участников в компетенции «Сварочные технологии» в семи регионах страны: Павлодаре, Алматы, Кокшетау, Астане, Атырау, Семей и Караганде.

Казахстан присоединился к международному движению WorldSkills в 2014 году. Сегодня компетенция «Сварочные технологии» является катализатором для внедрения передовых решений в профессиональные учебные заведения. Подготовка специалистов по международным стандартам, обладающих не только теоретической базой, но и практическими навыками работы с оборудованием закладывает прочный фундамент для развития не только производственных компаний, но и отрасли в целом.

Так, на региональных чемпионатах в 2023 году задания для участников были максимально приближены к специ-





фике той работы, которой они будут заниматься на производстве. Молодые специалисты демонстрировали не только теоретические знания стандартов и технологий, но и практические навыки работы со сварочным оборудованием. На каждом этапе экспертная комиссия оценивала работу студентов по разным критериям. Это и визуальные, и технические, и механические характеристики сварочных швов. А во время заключительного модуля конкурсанты варили сложную металлическую конструкцию с использованием всех видов сварки. Во время проверки финальной работы специалисты проводили не только визуальный контроль сварочных швов, но и тщательно оценивали герметичность трубной конструкции.

Для проведения соревнований ESAB предоставил аппараты Rebel™ EMP 320ic, Caddy® Tig 2200i AC/DC, а также сварочные материалы, аксессуары и средства индивидуальной защиты, которые соответствуют высоким стандартам чемпионата. В частности, универсальный сварочный аппарат Rebel™ EMP 320ic подходит для интенсивной работы со всеми видами сплошных и порошковых проволок и применяется практически во всех отраслях промышленности от автомобилестроения до гражданского строительства. А благодаря функции sMIG («умный МИГ») оборудование постоянно адаптируется к технике сварки и идеально подходит как для опытного сварщика, так и для молодого профессионала, который только начинает работу на оборудовании.

По завершению соревнований все получили памятные сувениры ESAB, а победителям торжественно вручили

сварочные маски Savage A20, которые понадобятся им во время финального этапа WorldSkills Kazakhstan в июне. А на церемонии награждения в Алматы ESAB торжественно поздравил каждого призера и вручил денежные призы от акимата.

«Последние годы производства в Казахстане все активнее развиваются и модернизируются, поэтому подготовка профессиональных кадров, способных работать на высокотехнологичном оборудовании, становится первостепенной задачей бизнеса. Для ESAB, как для одного из лидера сварочной отрасли, поддержка образовательных проектов имеет ключевое значение. Сегодня чемпионат WorldSkills – это не просто отраслевое мероприятие, а отображение профессиональных требований к молодым специалистам: какими теоретическими и практическими навыками они должны обладать. В этом году, помимо сварочного оборудования и расходных материалов, специалисты ESAB собрали консолидированную информацию по технологии сварочных работ и подготовили наглядные учебно-методические плакаты на русском и казахском языках, которые участники могли использовать во время соревнования», – отметила Екатерина Татарина, директор по продажам ЭСАБ, регион Центральная Азия.

«Наша компания ежегодно поддерживает чемпионат WorldSkills Kazakhstan и предоставляет высокотехнологичные решения ESAB участникам со всех регионов страны. Для нас, так же как для ESAB, важно внести свой вклад в становление квалифицированных кадров и формирование культуры производства в целом», – добавил Роман Абишев,

Новости ESAB в Центральной Азии

заместитель директора по продажам Welding Company.

В рамках проекта WorldSkills региональный чемпионат также пройдет в Усть-Каменогорске, где ESAB выступит технологическим партнером.

Победители региональных чемпионатов примут участие в республиканском чемпионате профессионального мастерства WorldSkills Kazakhstan – 2023, проведение которого запланировано в июне текущего года.

ESG – от слов к делу! Международный форум MINEX Казахстан 2023

С 19 по 20 апреля в Астане состоялся крупнейший международный форум MINEX Казахстан 2023, посвященный развитию горно-геологической отрасли в регионе. В рамках стратегической сессии «ESG, Зелёная трансформация и Климатический менеджмент в повестке развития горно-металлургических предприятий» выступил генеральный и финансовый директор ESAB, Россия и СНГ Алексей Нужный.

В своем выступлении «ESG – от слов к делу: Решения для устойчивого развития промышленного предприятия» он рассказал о мероприятиях в сфере корпоративного управления и защиты окружающей среды, которые проводятся в компании. Кроме этого, были представлены высокотехнологичное оборудование и сварочные материалы ESAB, которые разработаны для повышения энергоэффективности, экологичности и безопасности производственного процесса.

Так, за последний год ESAB реализовал ряд проектов по снижению профессиональных рисков. В частности, компанией были проведены внутренние мероприятия, которые вовлекли сотрудников в совместное решение проблем производственного травматизма и профессиональной заболеваемости, а также к продвижению культуры безопасности на производстве. Не менее важным направлением работы для ESAB остается рациональное использование энергоресурсов. В 2022 году компания реализовала ряд проектов по модернизации производства, в частности систем освещения. В рамках рационального использования воды на заводах ESAB модернизировали систему промышленного водоснабжения и водоотведения для повторного использования загрязненной воды в производственном процессе.

Особое внимание Алексей Нужный уделил продуктам и решениям ESAB для создания энергоэффективного и безопасного сварочного производства будущего. Среди глобальных новинок 2022 года – аккумуляторная сварочная система Renegade VOLT™ ES 200i Stick/TIG, которая разработана в соответствии с европейским регламентом Ecodesign for Sustainable Products Regulation. Кроме того, в декабре прошлого года ESAB представил мировому рынку многопроцессорный источник питания Warrior Edge 500 CX, горелки Exeor MIG и устройство подачи проволоки Robust Feed Edge CX. Последнее оснащено цифровой системой подачи газа TrueFlow, которая улучшает качество сварки и помогает избежать дефектов, вызванных неправильной скоростью газового потока.



Алексей Нужный, генеральный и финансовый директор ESAB, Россия и СНГ

В числе других цифровых решений компании ESAB – платформа WeldCloud, серверные приложения CutCloud и InduSuite. В режиме реального времени программы не только обеспечивают беспрецедентный уровень контроля над процессами сварки и резки, но и помогают повысить безопасность за счет минимизации человеческого фактора и сокращения количества отходов.

При разработке своих решений компания уделяет большое внимание и упаковке. Так, новая Marathon Pac™ Ultra для проволоки отличается прочным корпусом и усиленными углами, вмещает на 22% больше сварочных материалов, чем предыдущие упаковки. Marathon Pac Ultra соответствует европейскому Положению об экодизайне для устойчивых продуктов. После использования гофрированные бумажные компоненты можно разделить для легкой переработки.

«Несмотря на то, что ESAB уже несколько лет ведет масштабную работу в Казахстане, в форуме MINEX мы принимаем участие впервые. И можем с уверенностью сказать, что мероприятие превзошло все ожидания. Современные предприятия Центральной Азии интенсивно развиваются, внедряя современные и технологичные решения. Вопросы перехода к принципам устойчивого развития с каждым годом приобретают все большую значимость, а казахстанские предприятия все чаще внедряют принципы ESG в свои бизнес-модели. Для ESAB, как для компании, которая давно следует этим принципам, было важно встретиться с единомышленниками, обменяться опытом и обозначить новые точки роста. И мы благодарим организаторов MINEX Казахстан за эту уникальную возможность!», – подчеркнул Алексей Нужный, генеральный и финансовый директор ESAB, Россия и СНГ.

В этом году форум MINEX Казахстан 2023, действительно, побил многолетние рекорды. За два дня работы мероприятие посетило более 700 делегатов из 30 стран мира, 230 компаний приняли участие в деловой программе. Площадка стала не только эпицентром информации для зарубежных компаний, но и возможностью обсудить актуальные задачи отрасли и наметить пути решения.

T Тимченкодан
Маркетинг

Маркетингік
нигилизм
агенттігі

+7 705 818 40-65
communication@stimchenko.com
www.stimchenko.kz

S

ДО САМОЙ СУТИ!

**Маркетинг для
производственных
компаний**

- Создаем бренды
- Формируем имидж и репутацию
- Отстраиваем от конкурентов
- Увеличиваем продажи
- Выводим на новые рынки

Стратегия | Дизайн | Репутация | Отраслевые выставки | Работа со СМИ



Инновационные решения и доказанная эффективность



ME Elecmetal обладает знаниями, опытом и производственными возможностями для обеспечения вашего предприятия надежными и эффективными решениями в технологиях дробления и измельчения. Гарантированное увеличение производительности и уменьшение времени простоя оборудования!

Изнашиваемые детали для мельниц и дробилок всех типов

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

ME FIT Grinding

ME Elecmetal

Тел: +7 914 880 4545

+7 777 247 0787

+1 778 875 7525

Эл.Почта: russia@meglobal.com

www.me-elecmetal.com

Код МРНТИ 52.31.47

Ю.Н. Шапошник², А.И. Конурин², С.Н. Шапошник³, *Л.А. Крупник¹¹Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан),²Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН (г. Новосибирск, Россия),³Восточно-Казахстанский технический университет (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

ЗАКЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ НА ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Аннотация. Проанализированы применяемые в настоящее время технологии закладочных работ на рудниках Крайнего Севера. Дано описание применения льда и льдопородной закладки при отработке рудных месторождений в криолитозоне. Приведены сведения о технологии приготовления бутобетона на руднике «Баркачан» и его прочности в пределах 2,5 ... 10,0 МПа. Дано описание технологии возведения закладочного массива на россыпном месторождении в криолитозоне. Проанализированы прочность на одноосное сжатие образцов льдопородной закладки, состоящей из смеси алевролитов темно-серого цвета слоистых с редкими кварц-карбонатными прожилками и с рассланцованными алевролитами темно-серого, коричнево-серого цвета и воды. Приведены сведения о напряженно-деформированном состоянии массива и влияние на процесс упрочнения при использовании добавок типа Rock Support. Проведены лабораторные исследования прочностных свойств льдопородной и бутобетонной закладки. Дана оценка устойчивости горнотехнической конструкции, а также элементов систем разработки (камерной с льдопородной закладкой, с формированием бутобетонных целиков, с породной закладкой) на основе напряженно-деформированного состояния (НДС) массива пород. На основе результатов численного моделирования рекомендованы безопасные параметры геотехнологий для выделенных интервалов глубин месторождений Крайнего Севера.

Ключевые слова: закладочные работы, льдопородная закладка, бутобетонная закладка, криолитозона, алевролиты, прочность, геомеханическое моделирование.

Қыырда Солтүстіктегі жер асты кеніштеріндегі қағу жұмыстары

Аннотация. Қыыр Солтүстік кеніштерінде қазіргі уақытта қолданылып жатқан толтыру технологиялары талданады. Мәңгілік мұз аймағындағы кен орындарын игеруде мұзды және мұзды жыныстарды толтыруды пайдаланудың сипаттамасы берілген. «Баркачан» шахтасында қиыршық бетонды дайындау технологиясы және оның 2,5 ... шегінде беріктігі туралы мәліметтер. 10,0 МПа. Мәңгілік мұз аймағындағы шөгінді кен орында толтыру массивін салу технологиясының сипаттамасы берілген. Сирек кварц-карбонатты тамырлар мен қырылған кара сұр, қоңыр сұр алевролиттер мен суы бар кара-сұр қабатты алевролиттердің қоспасынан тұратын мұз қабатының үлгілерінің бір осығи сығымдалу күші талданды. Массивтің кернеулі-деформациялық күйі және тау жыныстарының тірек түріндегі қоспаларды қолдану кезінде қатаю процесіне әсері туралы мәліметтер келтірілген. Мұз-тас және қиыршық-бетон төсемдерінің беріктік қасиеттеріне зертханалық зерттеулер жүргізілді. Тау-кен құрылымының орнықтылығына, сондай-ақ игеру жүйелерінің элементтеріне (мұзды жынысты толтырумен, қиыршық бетон тіректермен, тау жыныстарын толтырумен) кернеу-деформациялық күйге (ЖКҚ) негізделген баға берілді. жыныс массасынан. Сандық модельдеу нәтижелері бойынша Қыыр Солтүстік кен орындарының таңдалған терендік интервалдары үшін геотехнологияның қауіпсіз параметрлері ұсынылады.

Түйінді сөздер: толтыру, мұзды жыныстарды толтыру, қиыршық бетонды толтыру, мәңгі тоң аймағы, алевролит, беріктік, геомеханикалық модельдеу.

Stacking works at underground mines in the Far North

Annotation. The currently used backfilling technologies in the mines of the Far North are analyzed. A description is given of the use of ice and ice-rock filling in the development of ore deposits in the permafrost zone. Information about the technology of preparation of rubble concrete at the mine «Barkachan» and its strength within 2.5 ... 10.0 MPa. A description of the technology for the construction of backfill mass at a placer deposit in the permafrost zone is given. The uniaxial compressive strength of samples of ice backfill consisting of a mixture of dark gray layered siltstones with rare quartz-carbonate veinlets and sheared dark gray, brown gray siltstones and water was analyzed. Information about the stress-strain state of the mass and the effect on the hardening process when using additives of the Rock Support type is given. Laboratory studies of the strength properties of ice-rock and rubble-concrete backfills have been carried out. An assessment is given of the stability of the mining structure, as well as the elements of development systems (chamber with ice-rock backfill, with the formation of rubble concrete pillars, with rock backfill) based on the stress-strain state (SSS) of the rock mass. Based on the results of numerical modeling, safe parameters of geotechnologies are recommended for the selected depth intervals of the fields of the Far North.

Key words: backfilling works, ice rock backfilling, rubble concrete backfilling, permafrost zone, siltstones, strength, geomechanical modeling.

Введение

В последние годы на золоторудных месторождениях Крайнего Севера для отработки запасов руд, находящихся в границах вечномёрзлых пород, широко применяется бутобетонная и льдопородная закладка (ЛПЗ) при камерных системах разработки со сплошной и камерно-целиковой выемкой [1].

При отработке рудных месторождений в криолитозоне впервые в достаточно крупном промышленном объеме льдозакладка была применена на рудниках Норильского горно-металлургического комбината [2]. На сегодняшний день на подземных рудниках публичного акционерного общества «Горно-металлургическая компания «Норильский никель» твердеющая закладка нашла широкое применение при отработке богатых руд на достаточно больших глубинах вне зоны вечной мерзлоты.

В 80-х годах XX века Институтом горного дела Севера СО РАН была разработана и впоследствии внедрена в промышленных масштабах на золоторудном месторождении Бадран (Якутия) технология камерной выемки руды с льдопородной закладкой [3].

Для месторождений, расположенных в криолитозоне, существенным является необходимость промораживания льдопородной закладки при отрицательных температурах, в связи с чем закладочные работы ведутся в холодное время года (с середины октября до середины апреля). Интенсивность закладочных работ определяется интенсивностью промерзания закладочного материала. Так, на руднике «Бадран» вторичные камеры обрабатываются после набора льдопородными целиками (отработанными и заложеными камерами первой очереди) нормативной прочности на одноосное сжатие не менее 3,0 МПа. Продолжительность естественного промерзания заложённых первичных камер составляет 4-8 месяцев. Основой безопасности отработки вторичных камер является полное промерзание заложённых камер, отсутствие пустот между льдопородным целиком и кровлей выработанного пространства (полнота заполнения закладываемой камеры).

При достижении горных работ нижней границы мерзлоты устойчивость обнажений снижается, учащаются случаи вывалов и локальных обрушений, наблюдается разрушение крепи подготовительных выработок [4].

Исследования деформационно-прочностных свойств пород показало, что на прочностные свойства вмещающих пород отрицательно сказывается повышение температуры массива и увлажнение горных пород [5]. При этом повышение температуры горных пород исключает возможность применения системы разработки с льдопородной закладкой.

В переходных и таликовых зонах возможно применение сплошной системы разработки с использованием сухой породной или бутобетонной закладки. Так, в последние годы на подземных рудниках Крайнего Севера компании АО «Полиметалл» широко внедряется бутобетонная закладка.

Приготовление бутобетона на руднике «Биркачан» компании АО «Полиметалл» производится в следующем порядке. В ковше погрузочно-доставочной машины (ПДМ) доставляется мелкая фракция породы от проходки горных выработок и цемент в упаковке массой 900 кг до зумпфа для приготовления бутобетонной смеси. Объем зумпфа составляет около 40 м³ (рис. 1).



а) б)

Рис. 1. Фотографии зумпфа для приготовления бутобетонной смеси (а) и закладочного бутобетонного массива на руднике «Биркачан» (б).

Сурет 1. «Биркачан» кенішіндегі үйінді бетон қоспасын дайындауға арналған шұңқырдың фотосуреттері (а) және қиыршық бетон массасын толтыру (б).

Figure 1. Photographs of the sump for the preparation of rubble concrete mixture (a) and backfilling of rubble concrete mass at the «Birkachan» mine (b).

Вода доставляется ПДМ в емкости 1 м³. Далее ковшем ПДМ производится перемешивание цемента и воды. После перемешивания и получения цементного молочка засыпается порода и производится дальнейшее переме-

шивание до получения бутобетона. Готовая закладочная смесь транспортируется в очистную камеру.

Состояние возведенных бутобетонных целиков на руднике «Биркачан» удовлетворительное, прочность закладки варьируется от 2,5 до 10,0 МПа, составляя в среднем 8,4 МПа, наблюдается равномерная пропитка цементного раствора по породной массе.

Однако, широкое внедрение бутобетонной закладки в криолитозоне сдерживается негативным влиянием отрицательных температур шахтного воздуха на процесс затворения закладочных компонентов при производстве закладочных работ. Кроме того, из-за высоких логистических затрат на доставку больших объемов вяжущего в районы Крайнего Севера затраты на приготовление бутобетонной закладки на сегодняшний день достаточно высоки.

В настоящее время назрела проблема разработки рациональной технологии ведения закладочных работ при использовании ЛПЗ на подземных рудниках в криолитозоне в районах Крайнего Севера, позволяющая обеспечивать необходимую прочность закладочных массивов в ранние сроки, тем самым повысить интенсивность отработки россыпей в условиях вечной мерзлоты.

Разработка технологии возведения закладки на россыпях в криолитозоне.

На одном из золоторудных месторождений, расположенного в зоне сплошного развития многолетнемерзлых пород в Магаданской области, приняты следующие системы разработки с использованием ЛПЗ [6]:

- сплошная система разработки;
- камерная система разработки с камерно-целиковой выемкой (рис. 2).

Вмещающие породы россыпи по критерию устойчивости находятся между среднеустойчивыми и неустойчивыми, ближе к неустойчивым. Глубина залегания от поверхности – до 200 м. Мощность золотоносного пласта колеблется от 0,6 до 2,6 м, составляя в среднем 1,8 м, мощность песков колеблется от 0,5 до 1,6 м. Средняя мощность торфов – 61,7 м. Температура пород по плотности от 0 до -2°С.

При глубине залегания россыпи от поверхности 200 м и высоте обнажаемой части закладочного массива 2,5 м установлена нормативная прочность льдопородной закладки в зависимости от конструктивных параметров системы разработки:



Рис. 2. Конструкция камерной системы разработки с камерно-целиковой выемкой в криолитозоне.
Сурет 2. Мәңгілік мұз аймағындағы камералы-тұтас қазбасы бар камералық тау-кен жүйесінің жобасы.
Figure 2. The design of a chamber mining system with a chamber-pillar excavation in the permafrost zone.

- на стадии обработки камер под защитой рудных целиков 0,6 МПа;

- на стадии выемки рудных целиков 3,0 МПа.

Полученные данные хорошо согласуются с результатами ранее выполненных исследований. Так, в работе [7] при аналогичных условиях с небольшими отклонениями при глубине горных работ 250 м и расстоянии между осями рудных целиков, обрабатываемыми в последнюю очередь 40 м, нормативная прочность закладки составляет:

- на стадии обработки камер под защитой рудных целиков при ширине камеры 2 и 3 м, соответственно, 0,5 и 0,4 МПа;

- на стадии обработки рудных целиков при ширине камеры: а = 2 и 3 м, соответственно, 4,8 и 2,7 МПа.

Полученные значения нормативной прочности на стадии обработки камер под защитой рудных целиков и на стадии выемки рудных целиков сравниваем с нормативной прочностью закладки в вертикальном обнажении и из них выбираем наибольшее. Нормативную прочность закладочного массива по условию устойчивости вертикальных обнажений при высоте закладочного массива до 10 м принимаем равным 1,0 МПа. Окончательно принимаем нормативную прочность льдопородной закладки 3,0 МПа.

На основании проведенных лабораторных испытаний (рис. 3) установлено, что прочность на одноосное сжатие образцов ЛПЗ, состоящей из смеси алевролитов темно-серого цвета слоистых с редкими кварц-карбонатными прожилками с рассланцованными алевролитами темно-серого, коричневатого-серого цвета и воды (20%), при температуре промораживания образцов закладки -2...-4°C достигает 0,71-1,18 МПа (модуль деформации 40,96-97,21 МПа), при предварительно промораживаемых породах – 0,71-0,81 МПа (модуль деформации 0,043-0,064 МПа).



а)

б)

Рис. 3. Испытания образца льдопородной закладки без добавок (а) и с добавлением сухой смеси Rock Support (0,6 л воды на 1 кг сухой смеси) (б) на предел прочности на одноосное сжатие.

Сурет 3. Қоспаларсыз мұзды толтыру үлгісін сынау (а) және тау жыныстарының құрғақ қоспасын (1 кг құрғақ қоспаға 0,6 л су) қосу арқылы (б) бір осьті қысу беріктігіне.

Figure 3. Tests of an ice backfill sample without additives (a) and with the addition of a dry mixture of Rock Support (0.6 l of water per 1 kg of dry mixture) (b) for uniaxial compressive strength.

Прочность образцов ЛПЗ при температуре промораживания образцов закладки -2...-4°C с добавлением сухой смеси Rock Support на одноосное сжатие в возрасте 7 суток при водотвердом отношении воды к сухой смеси составила:

- при добавлении 0,4 л воды на 1 кг сухой смеси – 6,62 МПа (модуль деформации 1,216 МПа);

- при добавлении 0,6 л воды на 1 кг сухой смеси – 2,81 МПа (модуль деформации 0,208 МПа).

Результаты лабораторных испытаний ЛПЗ представлены на рис. 4.

В рамках данной работы были проведены геомеханические расчеты в программе Rocscience для условий обработки очистной заходки по пескам и между двумя заложеными ЛПЗ смежными камерами.

Граничные условия при численном моделировании:

- соотношение главных напряжений на месторождении $\sigma_1 = 8,1$ МПа; $\sigma_3 = 2,7$ МПа; $\sigma_z = 5,4$ МПа;

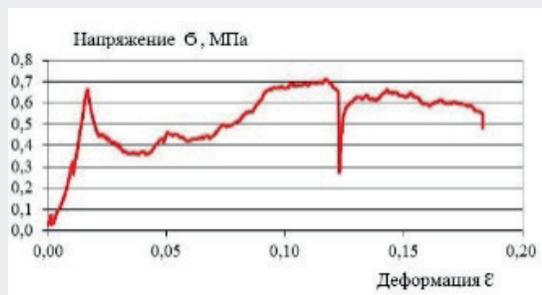
- сечение очистной заходки в стадии обработки $S = 6,25$ м² (2,5×2,5 м), выработка проходится в илах со следующими деформационно-прочностными свойствами: $\sigma_1 = 8,1$ МПа; $\sigma_3 = 2,7$ МПа; $\sigma_z = 5,4$ МПа; модуль Юнга $E_m = 16,987$ ГПа; коэффициент Пуассона – 0,25; прочность рассланцованных илов на одноосное растяжение $\sigma_r = 0,252$ МПа; сцепление $C = 14,7$ МПа; угол внутреннего трения – 31°;

- сечение смежных камер, обработанных и заложённых ЛПЗ $S = 7,5$ м² (3,0×2,5 м), деформационно-прочностные свойства ЛПЗ: приведенный модуль Юнга $E_m = 0,8$ ГПа; коэффициент Пуассона – 0,3; прочность илов на одноосное сжатие $\sigma_{сж} = 3,0$ МПа; сцепление $C = 0,8$ МПа; угол внутреннего трения – 25°; плотность илов 1,99 т/м³.

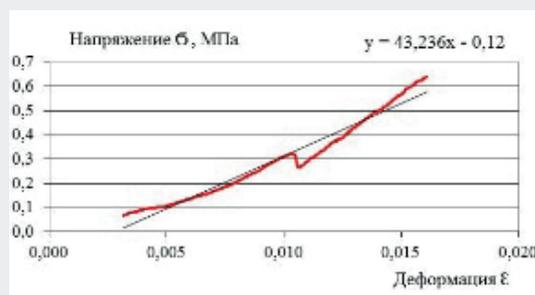
Как показывают результаты моделирования, выработка прямоугольной формы сечением $S = 6,25$ м² сохраняет свою устойчивость во вмещающих породах, таких как алевролиты с прочностью на одноосное сжатие 48,1 и 73,8 МПа. При проходке выработки по пескам (илам и речникам с прочностью на одноосное сжатие 2,52; 2,6 и 3,36 МПа) потеря устойчивости обнажений наблюдается в бортах горных выработок.

Как видно из рис. 5 распределение напряжений и коэффициента запаса прочности, зоны разрушения сконцентрированы со стороны льдопородного закладочного массива, в основном в угловых областях в кровле и почве искусственного массива. Чтобы снизить высокое НДС массива вокруг очистного забоя предполагается крепление кровли очистной заходки анкерами и деревянными стойками по бортам очистной заходки с отшивкой плахой $\delta = 50-70$ мм, в крайнем случае – металлической рамной крепью.

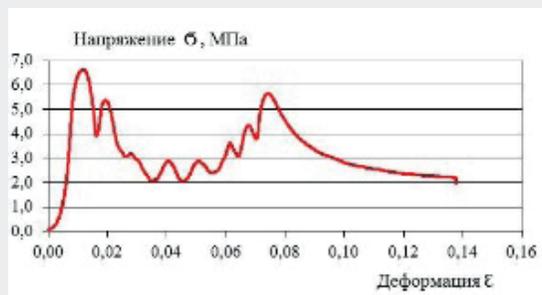
В условиях отрицательных температур шахтного воздуха весьма существенным является количество выделяемого тепла, продолжительность тепловыделения и влияние его на повышение температуры закладочного массива при применении сухой смеси Rock Support [8]. Характерной особенностью данной реакции является экзотермичность. Выделившееся тепло разогревает закладочный массив, теплообмен которого с рудничным воздухом и вмещающими горными породами в конечном итоге может привести к их растеплению и обрушению [9].



а)



б)



в)

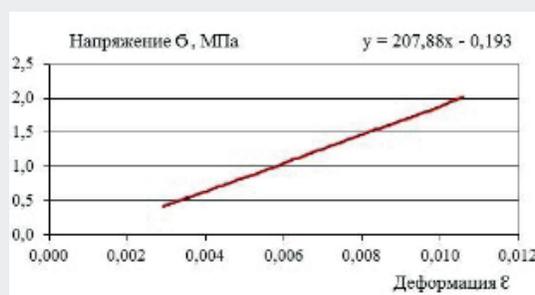
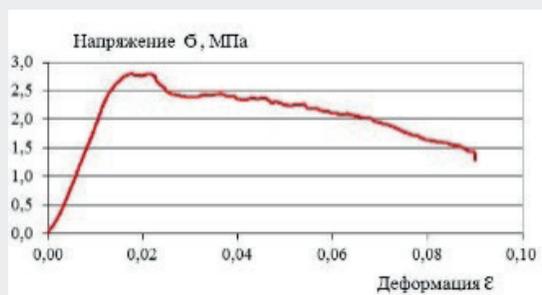
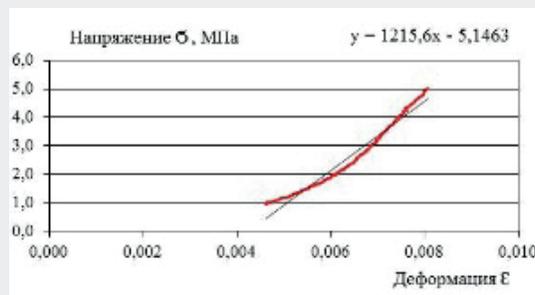
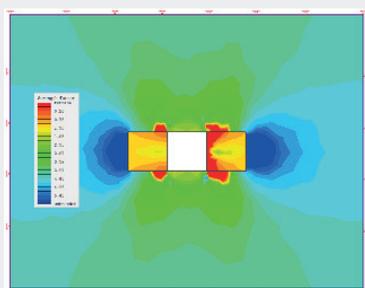
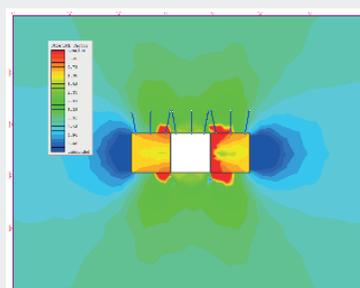


Рис. 4. Данные испытаний образца закладки без добавок при одноосном сжатии при температуре -4°C : диаграмма «напряжение σ – деформация ϵ » и определение модуля деформации E: а) без добавок; б) с добавкой 0,4 л воды на 1 кг сухой смеси Rock Support; в) с добавкой 0,6 л воды на 1 кг сухой смеси Rock Support.
 Сурет 4. -4°C температурада бір осьті сығымдау кезінде толтыру үлгісінің сынау деректері: «кернеу σ – деформация ϵ » диаграммасы және E деформация модулін анықтау: а) қоспасыз; б) 1 кг Rock Support құрғақ қоспасына 0,4 л су қосу арқылы; в) 1 кг Rock Support құрғақ қоспасына 0,6 л су қосу арқылы.
 Figure 4. Test data of the backfill sample without additives under uniaxial compression at a temperature of -4°C : diagram «stress σ – strain ϵ » and determination of the deformation modulus E: a) without additives; b) with the addition of 0.4 l of water per 1 kg of Rock Support dry mix; c) with the addition of 0.6 l of water per 1 kg of Rock Support dry mix.



а)



б)

Рис. 5. Коэффициент запаса прочности очистной выработки сечением $S = 6,25 \text{ м}^2$, пройденной в илах на контакте с заложеными ЛПЗ камерами (а) и закрепленной анкерной крепью (б).
 Сурет 5. LPZ (а) және бекітілген анкерлік болттармен (б) төселген камералармен жанасу кезінде лайларға өткен $S = 6,25 \text{ м}^2$ секциямен жұмыс істейтін стопаның қауіпсіздік коэффициенті.
 Figure 5. Safety factor of a stope working with a section $S = 6.25 \text{ m}^2$, passed through the silts at the contact with the chambers laid down by the LPZ (a) and fixed anchor bolting (b).

Добавки типа Rock Support в составе ЛПЗ по утверждению производителя добавок возможно использование их при температуре окружающей среды не менее минус 15°C. Применение добавок типа Rock Support даст возможность повысить прочность ЛПЗ, а также не приведет к растеплению массива горных пород, а, следовательно, сохранит его устойчивость.

Выводы

1. Выполнен комплекс лабораторных исследований по определению физико-механических и деформационно-прочностных свойств руд и вмещающих пород золоторудного месторождения Бадран с обоснованием их значений для 3-D моделирования НДС нетронутого и нарушенного горными работами массива, а также горнотехнических конструкций.

2. В результате лабораторных исследований установлено, что вмещающие породы, такие как песчаники и алевролиты, в соответствии с ГОСТ 31436-2011 могут применяться в качестве сухой породной закладки для формиро-

вания закладочных породных массивов в отработанных выработанных пространствах.

3. Разработана прогнозная геомеханическая модель месторождения Бадран, включающая отработку трех рудных столбов до горизонта +520 м. Определены условия и безопасные параметры систем разработки в зависимости от степени нарушенности массива горных пород. Получена прогнозная оценка геомеханических условий отработки месторождения с использованием камерной системы с льдопородной закладкой, сплошной технологии с креплением и последующей закладкой выработанного пространства и камерно-столбовой геотехнологии, которая дает полное представление об устойчивости массива горных пород, а также о состоянии горнотехнической конструкции, сложившейся в результате ведения очистных работ. Последнее позволяет обосновано рекомендовать для погашения запасов на больших глубинах в условиях нарушенности массива от ниже средней до малой степени (значение коэффициента структурного ослабления более 0,3) сплошной системы разработки с креплением и последующей закладкой выработанного пространства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шапошник Ю.Н., Шапошник С.Н., Нуршайықова Г.Т., Зайцев И.Г. Опыт применения льдопородной и бутобетонной закладки на подземных рудниках Крайнего Севера // Мат. межд. науч.-практ. конф. «Недра Казахстана – основа стабильности и процветания страны», посвященной 120-летию К.И. Сатпаева, Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2019. – С. 182-185 (на русском языке)
2. Райс В.В. Определение параметров технологии с замораживаемой закладкой выработанного пространства при отработке ценных руд жильных месторождений в криолитозоне. Дис. ... канд. техн. наук, Санкт-Петербургский горный университет, 2019. – С. 215 (на русском языке)
3. Петров Д.Н. Анализ и обобщение опыта применения смерзающихся закладочных опор при разработке месторождений криолитозоны // Исследования по инженерно-физическим проблемам Севера. – Якутск. – 2003. – С. 90-95 (на русском языке)
4. Петров А.Н., Петрова Л.В., Сивцева А.И., Алексеев А.М. Отработка нижних горизонтов золоторудного месторождения Бадран с применением самоходного оборудования // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле, Вып. 2, 2019. – С. 175-184 (на русском языке)
5. Необутов Г.П., Зубков В.П., Петров Д.Н. Оценка устойчивости обнажений массива горных пород в условиях подземной разработки месторождений криолитозоны // Научное обозрение, 2014. – №8. – С. 941-944 (на русском языке)
6. РД 06-326-99. Инструкция по разработке многолетнемерзлых россыпей подземным способом (камерные и столбовые системы разработки). – М.: Гостехнадзор России, 2000. С. – 112 (на русском языке)
7. Петров Д.Н. Обоснование рациональных параметров формирования льдопородной закладки при подземной разработке месторождений криолитозоны. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук, Якутск, 2014. С. – 22 (на русском языке)
8. Руденко Д.В. Методы расчета параметров прогрева бетона при помощи греющих проводов, СПбГАСУ, 2007. С. – 11 (на русском языке)
9. Казаков Б.П., Зайцев А.В., Шалимов А.В. Влияние закладочных работ на формирование теплового режима в горных выработках в условиях рудников ОАО «Норильский никель» // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело, том 11, № 2, 2012. – С. 110-114 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Шапошник Ю.Н., Шапошник С.Н., Нұршайықова Г.Т., Зайцев И.Г. Қиыр Солтүстіктің жерасты шахталарында мұз-тас және қиыршық-бетонды толтыруды қолдану тәжірибесі // Мат. ғылыми-практикалық. конф. Қ.И.-ның 120 жылдығына арналған «Қазақстанның жер қойнауы – еліміздің тұрақтылығы мен өркендеуінің негізі». Сатпаева, Өскемен: ШҚМТУ, 2019. – Б. 182-185 (орыс тілінде)

2. Күріш В.В. Мәңгілік мұз аймағындағы тамырлы кен орындарының бағалы кендерін игеру кезінде өндірілген кеңістікті мұздатылған қайта толтыру технологиясының параметрлерін анықтау. Диссерт. ашық. техника. Ғылымдар, Санкт-Петербург тау-кен университеті, 2019. – Б. 215 (орыс тілінде)
3. Петров Д.Н. Мәңгілік тоң шөгінділерін игеруде мұздатқышты толтыру тіректерін пайдалану тәжірибесін талдау және жалпылау // Солтүстіктің инженерлік-физикалық мәселелерін зерттеу. – Якутск. – 2003. – Б. 90-95 (орыс тілінде)
4. Петров А.Н., Петрова Л.В., Сивцева А.И., Алексеев А.М. Бадран алтын кен орнының төменгі горизонттарын өздігінен жүретін жабдықты қолдану арқылы игеру // Тула мемлекеттік университетінің Известия. Geosciences, том. 2, 2019. – Б. 175-184 (орыс тілінде)
5. Необутов Г.П., Зубков В.П., Петров Д.Н. Мәңгілік тоң шөгінділерін жер асты өндіру жағдайында тау жыныстарының шығуларының тұрақтылығын бағалау // Ғылыми шолу, 2014. – №8. – Б. 941-944 (орыс тілінде)
6. RD 06-326-99. Мәңгілік тоң қабатын жер асты әдісімен игеру бойынша нұсқаулық (камералық және тірек тау-кен жүйелері). – М.: Ресейдің Гостехнадзори, 2000. – Б. 112 (орыс тілінде)
7. Петров Д.Н. Мәңгілік тоң шөгінділерін жер асты қазу кезінде мұзды тау жыныстарының толтырылуын қалыптастырудың ұтымды параметрлерін негіздеу. Аннотация дисс. ашық. техника. Ғылымдар, Якутск, 2014. – Б. 22 (орыс тілінде)
8. Руденко Д.В. Жылыту сымдарын пайдаланып бетонды жылыту параметрлерін есептеу әдістері, SPbGASU, 2007. – Б. 11 (орыс тілінде)
9. Казаков Б.П., Зайцев А.В., Шалимов А.В. «Норильск никель» ОАО шахталары жағдайында тау-кен жұмыстарындағы жылу режимін қалыптастыруға қоймалау операцияларының әсері // Пермь ұлттық зерттеу политехникалық университетінің хабаршысы. Геология. Мұнай-газ және тау-кен ісі, 11 том, №2, 2012. – Б. 110-114 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Shaposhnik Yu.N., Shaposhnik S.N., Nurshaiykova G.T., Zaitsev I.G. Experience in the use of ice-rock and rubble-concrete filling in underground mines of the Far North // Mat. int. scientific-practical. conf. «The subsoil of Kazakhstan is the basis of the stability and prosperity of the country», dedicated to the 120th anniversary of K.I. Satpaeva, Ust-Kamenogorsk: EKSTU, 2019. – P. 182-185 (in Russian)
2. Rice V.V. Determination of technology parameters with frozen backfilling of mined-out space during the development of valuable ores of vein deposits in the permafrost zone. Dis. ... cand. tech. Sciences, St. Petersburg Mining University, 2019. – P. 215 p (in Russian)
3. Petrov D.N. Analysis and generalization of the experience of using freezing backfill supports in the development of permafrost deposits // Research on engineering and physical problems of the North. – Yakutsk. – 2003. – P. 90-95 (in Russian)
4. Petrov A.N., Petrova L.V., Sivtseva A.I., Alekseev A.M. Development of the lower horizons of the Badran gold deposit using self-propelled equipment // Izvestiya of the Tula State University. Geosciences, Vol. 2, 2019. – P. 175-184 (in Russian)
5. Neobutov G.P., Zubkov V.P., Petrov D.N. Assessment of the stability of rock mass outcrops in the conditions of underground mining of permafrost deposits // Scientific Review, 2014. – No. 8. – S. 941-944 (in Russian)
6. RD 06-326-99. Instructions for the development of permafrost placers by the underground method (chamber and pillar mining systems). – M.: Gostekhnadzor of Russia, 2000. – P. 112 (in Russian)
7. Petrov D.N. Substantiation of rational parameters for the formation of ice rock backfill during underground mining of permafrost deposits. Abstract diss. ... cand. tech. Sciences, Yakutsk, 2014. – P. 22 (in Russian)
8. Rudenko D.V. Methods for calculating the parameters of concrete heating using heating wires, SPbGASU, 2007. – P. 11 (in Russian)
9. Kazakov B.P., Zaitsev A.V., Shalimov A.V. Influence of stowing operations on the formation of the thermal regime in mine workings in the conditions of the mines of OAO Norilsk Nickel // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and gas and mining, volume 11, no. 2, 2012. – PP. 110-114 (in Russian)

Сведения об авторах:

Шапошник Ю.Н., докт. техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН (г. Новосибирск, Россия), shaposhnikyury@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5425-0158>

Конурин А.И., канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН (г. Новосибирск, Россия), shaposhnikyury@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3373-2382>

Шапошник С.Н., докт. техн. наук, доцент, Восточно-Казахстанский технический университет (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), shaposhniksergey@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2151-9296>

Крупник Л.А., докт. техн. наук, профессор-исследователь Казахского национального исследовательского технического университета (г. Алматы, Казахстан), leonkr38@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8813-231X>

Авторлар туралы мәліметтер:

Шапошник Ю.Н., техника ғылымдарының докторы, профессор, Тау-кен ісі институтының жетекші ғылыми қызметкері Chinakala SB RAS (Новосибирск қ., Ресей)

Конурин А.И., ф.ғ.к. г., Тау-кен ісі институтының аға ғылыми қызметкері Chinakala SB RAS (Новосибирск қ., Ресей)

Шапошник С.Н., техника ғылымдарының докторы, доцент, Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан)

Крупник Л.А., техника ғылымдарының докторы, зерттеуші профессор, Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Information about authors:

Shaposhnik Yu.N., Dr. tech. sciences, Professor, Leading Researcher, Institute of Mining Chinakala SB RAS (Novosibirsk, Russia)

Konurin A.I., Ph.D. tech. sciences, Senior Researcher, Institute of Mining Chinakala SB RAS (Novosibirsk, Russia)

Shaposhnik S.N., Dr. tech. sciences, Associate Professor, East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Krupnik L.A., dr. tech. sciences, Professor, Professor of the Kazakh National Research Technical University (Almaty, Kazakhstan)

KAZAKHSTAN
INDUSTRY WEEK



KAZAKHSTAN
MACHINERY FAIR



МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ И МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ

10-12 мая 2023

Международный выставочный центр «EXPO»
г. Астана, Казахстан

promweek.kz

Организаторы:



Министерство индустрии
и инфраструктурного развития
Республики Казахстан



AEXKS

Контакты:

Выставочная компания
«Астана-Экспо КС»
+7 (7172) 64 23 23



Brajendra Mishra
Kenneth G. Merriam Distinguished Professor
Director, Materials & Manufacturing Engineering &
Metal Processing Institute
Director, NSF/IUCRC on Resource Recovery & Recycling
100 Institute Road, Worcester, MA 01609, USA



WPI

February 15, 2023

Please accept my congratulations for the 20th anniversary of “Mining Journal of Kazakhstan”. “Mining Journal of Kazakhstan” has been published since January 2003 and over the years has won the sympathy of specialists. A young, but already very serious date, which brings hundreds of published papers in various areas of the mining and metallurgical sector. Over the years, the magazine has become one of the most popular in the mining and metallurgical industry, has a large readership not only in the scientific world, but also in the business environment of the industry. The journal is included in the list of publications of the Ministry of Science and Education of the Republic of Kazakhstan. The journal publishes advertisements for leading manufacturers of mining and metallurgical equipment. industry. A large number of works by young scientists are published:

<https://minmag.kz/ru/%D0%B3%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F/>.

At the moment, the Journal has a large number of subscribers in the industrial zones of Kazakhstan, which include educational institutions. The magazine is also distributed in Russia, Kyrgyzstan, Uzbekistan, Tajikistan. "Mining Journal of Kazakhstan" has become in demand for the engineering community of the country and a rating publication. It is distributed by subscription and is received by most enterprises of the mining and metallurgical profile, which allows them to follow the novelties used in related enterprises. The circulation of the journal is 1500 copies, the frequency of publication is 12 issues per year. The management of the journal and the editorial board included leading experts in the field of blasting, mining and metallurgy. Articles published on the pages of the journal, including those sent for publication from abroad and dedicated to the innovative development of mining, were highly appreciated and contributed to deepening the knowledge and expanding the information field of workers in the raw materials industry.

I wish you success and professional growth !!!

Brajendra Mishra
[Mechanical & Materials Engineering](#)
Kenneth G. Merriam Professor & Director, MPI
Worcester Polytechnic Institute, USA

100 Institute Road, Worcester, MA 01609 USA.
 Email: bmishra@wpi.edu
 Voice: 508-831-5711 • www.wpi.edu/+mpi

CENTER FOR HEAT TREATING EXCELLENCE
 CENTER FOR RESOURCE RECOVERY & RECYCLING

Код МРНТИ 52.13.17

Ж.Д. Жалбыров¹, *Н.М.Замалиев¹, Н.Г. Валиев², А.Т. Жансейтов³¹ Карагандинский технический университет имени Абылхаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан),² Уральский государственный горный университет (г. Екатеринбург, Россия),³ Академия государственного управления при Президенте Республики Казахстан (г. Караганда, Казахстан)

ПОДБОР ТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ КАРЬЕРНЫХ РАЗРАБОТОК РУДЫ

Аннотация. В данной статье рассмотрены перспективные варианты подбора технического оборудования для работы в сложных условиях карьерных разработок руды. Считается, что использование методов численного моделирования в сочетании с мониторингом для проведения исследований является оптимальным решением в области изучения практического применения технических средств в горнодобывающей промышленности. Было выявлено, что на сегодня горнодобывающая компания при изучении ландшафта местности должна заготовить выверенный план работ, в рамках которого будет указано и оборудование, и системы разработок, и конвейерные установки. Кроме того, использование такого оборудования, как экскаватор Cryderman и трубчатого конвейера Skyline Mine также имеет определенные перспективы. Выдвинуто предложение по оптимизации горнодобывающих работ за счет модернизации основных технологических средств, а также внедрения системы планирования и прогнозирования. Результаты исследований могут быть применены как горнодобывающими организациями, так и в рамках более глубоких исследований в данной области.

Ключевые слова: исследование, планирование, моделирование, разработки, оптимизация, оборудование, конвейер.

Кенді карьерлік игерудің күрделі жағдайларында жұмыс істеу үшін техникалық жабдықтарды таңдау

Андатпа. Бұл мақалада кен өндірудің күрделі жағдайында жұмыс істеу үшін техникалық жабдықты таңдаудың перспективалық нұсқалары қарастырылған. Зерттеу жүргізу үшін мониторингпен бірге сандық модельдеу әдістерін қолдану тау-кен өнеркәсібінде техникалық құралдарды практикалық қолдануды зерттеу саласындағы оңтайлы шешім болып саналады. Бүгінгі таңда тау-кен компаниялары жергілікті жердің ландшафтын зерттеу кезінде тексерілген жұмыс жоспарын дайындау керек екендігі анықталды, себебі, оның аясында жабдықтар, даму жүйелері мен конвейерлік қондырғылар көрсетіледі. Сонымен қатар, cryderman экскаваторы және Skyline Mine құбырлы құбыры сияқты жабдықты пайдалану да белгілі бір перспективаларға ие. Негізгі технологиялық құралдарды жаңғырту, сондай-ақ жоспарлау және болжау жүйесін енгізу есебінен тау-кен жұмыстарын оңтайландыру жөнінде ұсыныстар берілді. Зерттеу нәтижелерін тау-кен ұйымдары да, осы саладағы тереңірек зерттеулер шеңберінде де қолдана алады.

Түйінді сөздер: зерттеу, жоспарлау, модельдеу, әзірлеу, оңтайландыру, жабдық, құбыр.

Selection of technical equipment for work in difficult conditions of ore mining

Annotation. This article discusses promising options for the selection of technical equipment for working in difficult conditions of ore mining. It is believed that the use of numerical modeling methods in combination with monitoring for research is the optimal solution in the field of studying the practical application of technical means in the mining industry. It was revealed that today the mining company, when studying the landscape of the area, must prepare a verified work plan, within which the equipment, development systems and conveyor installations will be indicated. In addition, the use of equipment such as the Cryderman excavator and the Skyline Mine tubular conveyor also has certain prospects. A proposal has been put forward to optimize mining operations through the modernization of basic technological means, as well as the introduction of a planning and forecasting system. The results of the research can be applied both by mining organizations and as part of deeper research in this area.

Keywords: research, planning, modeling, development, optimization, equipment, conveyor.

Введение

В рамках современных отношений горные работы и вся связанная с этим процессом документация являются определяющими в процессе подтверждения рентабельности и конкурентоспособности организации. Кроме того, рассматривая правовую сторону вопроса, необходимо отметить, что горные разработки регламентируются самыми различными организациями, в том числе и МЧС.

Актуальность изучения темы обусловлена не только общественным интересом, но и практической значимостью проводимых исследований в данной области; безопасность, а также техника постройки создают положительный имидж самим горнодобывающим организациям.

Научная значимость работы определена современными тенденциями, когда необходимо подстраиваться под новые технические нормы, а также соблюдать вопросы экологичности и практичности разработок и горных работ в целом.

Цель работы – рассмотреть перспективные варианты подбора технического оборудования для работы в сложных условиях карьерных разработок руды.

Задачи:

- описать методы анализа;
- рассмотреть вопросы планирования разработок;
- дать характеристику оптимальным вариантам использования оборудования в ходе разработок месторождений руды.

Методы исследования

Считается, что использование методов численного моделирования в сочетании с мониторингом для проведения исследований является оптимальным решением в области изучения практического применения технических средств в горнодобывающей промышленности.

Большое количество ученых использовали методы численного моделирования в сочетании с мониторингом для проведения исследований устойчивости откосов карьеров и использовали обычные тахеометры (табл. 1)

Результаты и обсуждение

Общая экономическая цель открытых горных работ состоит в том, чтобы извлечь наименьшее количество материала и получить наибольшую отдачу от инвестиций за счет переработки наиболее товарного минерального продукта. Чем выше класс месторождения полезных ископаемых, тем больше значение. Чтобы свести к минимуму капитальные вложения при доступе к наиболее ценному материалу в пределах месторождения полезных ископаемых, разрабатывается план горных работ, в котором точно описывается способ добычи и переработки рудного тела. Поскольку многие рудные месторождения не имеют однородной формы, плану горных работ предшествует обширное разведочное бурение для определения геологии и положения рудного тела. Размер месторождения полезных

Таблица 1

Возможности для исследований и развития технологий в области добычи полезных ископаемых [1]

Кесте 1

Пайдалы қазбаларды өндіру саласындағы технологияларды зерттеу және дамыту үшін мүмкіндіктер [1]

Table 1

Opportunities for research and development of technologies in the field of mining [1]

Направления исследования	Характеристика	Технологии и оборудование
Полевые работы на месте	Методы гидроразрыва и щебня, наклонно-направленное бурение	Новые технологии добычи для увеличения проницаемости для подземного выщелачивания, особенно цветных металлов, датчики для мониторинга подземных вод и оперативного контроля, томография между скважинами, гидрогеологическое моделирование, обсадная труба для глубин менее 270 метров
Бурение скважин	Распространение разрыва или резания горных пород на десятки метров за пределы ствола скважины	Датчики для анализа проб без их извлечения
Гидрометаллургические достижения	Разработка выщелачивателей и микробиологических агентов, подавление нежелательных элементов в растворе	Технологии с применением в других областях горнодобывающей промышленности и других предприятий, таких как восстановление окружающей среды на участках, загрязненных металлами, термодинамические и кинетические данные, добавки, которые осаждают или усиливают адсорбцию вызывающих озабоченность элементов при восстановлении качества подземных вод

ископаемых диктует размер и расположение шахты. Расположение открытых шахт определяется минералогическими и геологическими особенностями местности. Форма большинства карьеров близка к конусу, но всегда отражает форму разрабатываемого месторождения полезных ископаемых. Карьеры состоят из ряда концентрических уступов или уступов, которые разделены пополам подъездными путями к шахте и подъездными путями, спускающимися под углом от края карьера к дну по спирали или зигзагообразной ориентации.

Современные карьеры различаются по масштабу: от небольших частных предприятий, перерабатывающих несколько сотен тонн руды в день, до крупных промышленных комплексов, управляемых правительствами и многонациональными корпорациями, которые добывают более миллиона тонн материала в день. Крупнейшие операции могут занимать площадь в несколько квадратных километров [2].

Ровная рабочая поверхность обеспечивает основу для эффективной и безопасной работы на дне шахты. Работы по выравниванию вручную начинаются после первого осмотра для оценки результатов взрывных работ. Можно ожидать, что средняя производительность выравнивания составит около 1,5 м²/мин. Более высокие требования к ровности рабочей поверхности удлиняют процесс выравнивания.

Например, шероховатая рабочая поверхность препятствует плавному проходу грунта с помощью гусеничного погрузчика с овершотом, работающего с фронтальным ковшем. Из-за компактной конструкции и рывков при вы-

емке грунта погрузчикам с овершотом требуется ровное дно шахты. Кроме того, абсолютно необходима безопасная зона основания кувшина на дне ствола во время работы по выемке грунта. Тонущая бригада должна подготовить более низкую позицию для поступающего крупного корма. Этот рабочий этап необходимо учитывать в течение всей операции по проходке и подъему.

Иногда взорванная порода содержит компоненты крупной раздробленности, так называемые валуны. Эти негабаритные породы должны быть разбиты на фрагменты, пригодные для загрузки. В зависимости от размера ковша проходческого оборудования максимальный размер загружаемой породы варьируется. Используя Cryderman Shaft Mucker с обычно меньшим ковшом по сравнению с Cactus Grab, можно ожидать относительно большего количества валунов в навозе. Разрушение валунов производится механическим способом с помощью буров или взрывных работ. Взрывные работы занимают очень много времени, так как обычный цикл проходки ствола прерывается дополнительными взрывными работами и вентиляцией.

На ступени проходки установлен шахтный экскаватор Cryderman с ограниченной телескопической стрелой. Таким образом, Cryderman Shaft Mucker приводится в рабочее положение путем опускания ступени проходки. При безопасном расстоянии примерно 30 м между дном ствола и проходческим этапом для предотвращения повреждений при взрыве и скорости опускания проходческого этапа 1 м/мин установка Cryderman для проходки грунта занимает около 30 минут. Что касается длинных снарядов

и стволов большого диаметра, то длина телескопической стрелы Cuyderman недостаточна для загрузки полного снаряда без дополнительного опускания проходческого яруса.

Выемка грунта с помощью Cactus Grabs практически не зависит от положения проходческой ступени, поскольку вертикальное перемещение осуществляется тросовой лебедкой, установленной под проходческой платформой.

Для расчета максимальной производительности горно-шахтного оборудования можно использовать следующую формулу:

$$P_{La} = \frac{V_{Gr}}{t_{LaSp}} \times f_F \times f_D \times A \times V,$$

где P_{La} – производительность проходки ($\text{м}^3/\text{мин}$);

V_{Gr} – объем ковша (м^3);

T_{LaSp} – время цикла проходки (мин);

f_F – коэффициент заполнения;

f_D – коэффициент размера оборудования;

A – использование мощности;

V – доступность.

Когда средний размер фрагментов становится больше, время копания увеличивается из-за более высокого сопротивления копанию крупного материала. Сравнение времени копания между кактусовым грейфером и ковшовым погрузчиком показывает, что помимо среднего размера фрагментации, на время копания также влияет конфигурация ковша и движения копания. Заостренные раковины грейфера кактуса ударяются вертикально о взорванный материал и плавно внедряются в навоз, почти независимо от размера осколков. В отличие от этого грубый материал

сдерживает плавное заполнение передней лопаты овершота при движении вперед [3].

Применение трубчатого конвейера Skyline Mine было подвергнуто тщательному всестороннему анализу требования как к мощности, так и к натяжению ремня.

Сначала были рассчитаны сопротивления конвейера, а затем пересмотрены, пересчитаны и скорректированы. Двумя самыми большими факторами были сопротивление ремня вдавливанию натяжного ролика и сопротивление криволинейному пути. Вместе они составляли примерно 213 от общего сопротивления или потребности в лошадиных силах.

Уникальные особенности трубчатого конвейера Skyline:

- двадцать два горизонтальных изгиба устранили необходимость в прямолинейных конвейерах с промежуточными переходами и связанных с этим затратах на борьбу с пылью, электроснабжение и техническое обслуживание. Сорок пять вертикальных вогнутых и выпуклых изгибов включены в один трубчатый конвейер;
- приводы постоянного тока со скоростью передней и задней ленты оптимизировали загрузку материала и потребление энергии;
- ремонтная машина едет по верхней части конвейерной конструкции (рис.1);
- минимальные утечки делают конвейер наиболее подходящим для экологически чувствительных зон;
- однопролетный трубчатый конвейер на большие расстояния;
- устанавливается в труднопроходимой холмистой местности;



**Рис. 1. Типовой участок конвейера [1].
Сурет 1. Конвейердің типтік учаскесі [1].
Figure 1. Typical conveyor section [1].**

- опорная конструкция трубчатого конвейера значительно уже, чем у аналогичного обычного ленточного конвейера, и, следовательно, является более экономичной;

- трубчатый конвейер заменил автоперевозки со всеми их недостатками и сопутствующими затратами. Теперь этот конвейер представляет собой экологически приемлемое решение, которое следует за существующей дорогой в каньоне. Он был построен с особой осторожностью, чтобы избежать эрозии и повреждения растительности [4,5].

Направляющая наверху конвейера служит для ремонтной тележки, уборки снега зимой и осмотра раз в неделю. Всего на трубном конвейере установлено 1200 л.с.– 800 л.с. в хвосте и 400 л.с. в голове. Три 4-квadrантных привода постоянного тока Alien Bradley мощностью 400 л.с., рассчитанные на 2 минуты работы при 200% нагрузке, обеспечивают регулирование скорости и крутящего момента в соответствии с различными системными требованиями во время пуска, останова и нормальной работы.

Трубчатый конвейер на 92% состоит из ферм. Ферменная часть начинается в хвостовой части конвейера, имеет длину 3156 м и включает 172 фермы длиной 18 м, а также одну ферму длиной 10 м (рис.2). Они изготовлены из стальных труб квадратного сечения с шарнирами на каждом конце и опираются на Т-образные колена, расположенные на бетонных кессонах с расстоянием между центрами 18 м. Каждое Т-образное колено включает в себя боковую распорку, закрепленную на земле, с продольной распоркой, расположенной на необходимом расстоянии. Фермы закрыты панелями сайдинга и верхней плитой крыши. Перевернутый Т-образный стержень проходит по центру верхней части ферм в качестве направляющей для ремонтной тележки (рис. 2).



Рис. 2. Установка последней фермы из 172 ферм [1].

Сурет 2. 172 фермадан тұратын соңғы ферманы орнату [1].

Figure 2. Installing the last farm of 172 farms [1].

Были поставлены четыре галерейные фермы длиной 50 м плюс одна длиной 27 м. Каждая из них имеет ширину от 3 до 5 м и поддерживается на изгибах галереи. Трубчатые стальные отводы имеют две или четыре опоры в зависимости от рельефа местности. Под одной из таких галерей проходит государственная дорога (рис. 3).



Рис. 3. Строительство концевой галереи через главную дорогу [1].

Сурет 3. Негізгі жол арқылы соңғы галерея салу [1].

Figure 3. Construction of an end gallery across the main road [1].

Гравитационное натяжное устройство расположено на возвратной стороне примерно в 20 м от главного шкива. Этот узел комплектуется двумя гибочными шкивами и натяжным шкивом с кареткой, а также коробом противовеса со стальными стержнями и штамповкой. Устройство перемещается внутри двух вертикальных стальных стоек, прикрепленных к нижней стороне фермы галереи. ГТУ оснащена съемной электрической цепной лебедкой грузоподъемностью 15 метрических тонн, которая используется для подъема противовеса [6].

Уголь из шахтного силоса емкостью 8000 т загружается на ленточный конвейер семью вибропитателями с производительностью от 0 до 1400 т/ч. Уголь подается через дробилку, после чего возможен один из трех вариантов:

- а) направление в систему разгрузки грузовиков;
- б) отвод на трубчатый конвейер;
- в) разделение между системой разгрузки грузовиков и трубчатым конвейером.

Уголь, отведенный на трубчатый конвейер, транспортируется на расстояние 2,1 км вниз по склону к шкиву разгрузочной головки, где он снова направляется либо на внешнее складское хранилище, либо на другой ленточный конвейер, который заполняет две 15000-тонных рельсовых выгрузки.

Система управления состоит из пяти независимых процессоров ПЛК Alien Bradley и одного настольного компьютера, которые связаны друг с другом посредством связи Data Highway Plus. Эти ПЛО отдельно контролируют подачу угля, дробление, разгрузку автотранспорта, трубчатый конвейер и железнодорожное хозяйство. Это позволяет при необходимости выполнять независимые операции по разгрузке грузовых автомобилей, трубчатого конвейера или железнодорожных разгрузочных площадок [7].

Операторские станции обычно не обслуживаются. Три станции интерфейса оператора Alien Bradley расположены в стратегически важных точках. Предоставляются

два цветных терминала Paneiview 1200 с клавиатурой и настольный компьютер с программным обеспечением ControlView. За исключением возможности остановки ленты, только одна станция оператора может управлять системой в данный момент времени. Операторы могут контролировать скорость подачи угля из силоса для хранения в шахте и направлять уголь на разгрузку грузовиков, железнодорожных разгрузок или и на то, и на другое. После запуска системы используется ультразвуковая система контроля уровня для контроля скорости трубчатого конвейера и поддержания постоянного заполнения ленты.

Когда трубчатый конвейер прямой и без каких-либо вертикальных или горизонтальных изгибов, три нижних направляющих ролика со стороны, несущей груз, поддерживают ленту и груз материала, а три верхних направляющих ролика удерживают ленту в форме трубы. Если конвейер имеет как вертикальные, так и горизонтальные изогнутые участки, тогда другие ролики, окружающие ленту, могут быть роликами, поддерживающими нагрузку, в то время как оставшиеся ролики поддерживают форму трубы. Нижняя сторона или сторона обратной ленты трубчатого конвейера имеют форму трубы, сохраняя только ролики (рис. 4).



Рис. 4. Типичное поперечное сечение фермы с изображением направляющих роликов, полностью закрытых от налипания снега и льда [1].
Сурет 4. Қар мен мұздың жабысуынан толығымен жабылған бағыттаушы роликтер бейнеленген әдеттегі ферма көлденең кимасы [1].
Figure 4. A typical cross-section of the truss with the image of guide rollers completely closed from the sticking of snow and ice [1].

Длина перехода между хвостовым шкивом и формой трубы и от формы трубы к разгрузочному шкиву зависит от диаметра трубчатого конвейера и натяжения ремня.

Ферма конвейера с консольной галереей закреплена на земле на приемной башне, расположенной примерно в 229 м от головного конца. Длина галереи сдвинется по горизонтали в общей сложности на 15 см из-за разницы зимних и летних температур (от -20°C до $+30^{\circ}\text{C}$). Разделы галереи расширяются от точки привязки [8].

Все желоба имеют уклон не менее 18 м, а углы долины составляют 18 м или более. Загрузочный лоток в хвостовой части стыкуется между существующим разгрузочным лотком дробилки и новым трубчатым конвейером. В боковой панели агрегата установлены два датчика желоба-заглушки. Один датчик указывает на запас материала для системы управления скоростью конвейера, а второй датчик указывает на засорение для аварийных действий. Плинтусы включают в себя вертикальный ножевой затвор (устройство ручного выравнивания) для использования с ультразвуковым датчиком уровня, который измеряет высоту материала на ленте и замедляет или ускоряет ленту по мере необходимости для постоянного заполнения приблизительно 70% площади трубы [9].

Материал транспортируется внутри свернутой ленты в форме трубы. Загрузка трубчатого конвейера точно такая же, как и у обычного ленточного конвейера, который осуществляется через загрузочный желоб и бортики рядом с хвостовым шкивом. Сразу после зоны загрузки лента скручивается в трубу с уплотнением, образованным в верхней части за счет перекрытия краев ленты. Транспортируемый материал находится внутри ленты в форме трубы, что сводит к минимуму просыпание угля [10, 11].

Выравнивание натяжного ролика и правильная нагрузка на ленту играют ключевую роль в стабильности и движении трубчатого конвейера. В конструкции обычного конвейера стальная опора натяжного ролика, горизонтальное и вертикальное выравнивание имеют решающее значение для правильной подготовки ленты и успешной работы. Лента трубчатого конвейера направляется натяжными роликами, окружающими ленту со всех сторон, поэтому конвейер может преодолевать кривые и несоосность осевой линии. Во время ввода в эксплуатацию трубчатого конвейера совмещение натяжного ролика с лентой регулируется таким образом, чтобы перекрытие ленты находилось как можно ближе к верхней части транспортной стороны. Однако то, что на самом деле больше всего способствует стабильности ленты и удерживает перекрытие в верхнем или близком к нему положении – это вес транспортируемого материала. Центр тяжести в нижнем 75% поперечном сечении поддерживает правильное динамическое положение конвейерной ленты. На возвратной или пустой стороне перехлест ленты расположен в нижней части формы трубы. Дополнительный вес перекрытия поддерживает правильное динамическое положение на обратном пути [12, 13].

Следовательно, подобрав правильную аппаратуру также можно сэкономить средства и оптимизировать процесс добычи и разработки месторождений руды.

Заключение

Подводя итог, можно сделать следующие выводы:

- горнодобывающая компания при изучении ландшафта местности должна заготовить выверенный план работ, в рамках которого будут указаны и оборудование, и системы разработок, и конвейерные установки, которые, в свою

очередь, должны соответствовать всем нормам техники безопасности и быть экономически выгодными для самой организации;

- в рамках разработанного плана необходимо учитывать такие факторы, как особенности ландшафта, энергозатраты, затраты на оплату труда, модернизацию оборудования, а также особенности климатических условий;

- можно выдвинуть ряд предложений по использованию оборудования, в частности: использование экскаватора Cryderman при горных разработках на сложных участках, для оптимизации планирования применения программного обеспечения Midas/GTS, а для оптимизации затрат на логистику руд – использование трубчатого конвейера Skyline Mine.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сухопутный трубчатый конвейер с 22 горизонтальными и 45 вертикальными изгибами, соединяющими угольную шахту с рельсовой загрузкой // <https://www.pipeconveyor.com/Case%20Studies/Skyline%20Mine/overland.htm> (дата обращения: 09.12.2022) (на русском языке)
2. Дотсон К.Б. Методы открытой разработки // <https://www.iloencyclopaedia.org/part-xi-36283/mining-and-quarrying/item/599-surface-mining-methods> (дата обращения: 09.12.2022) (на русском языке)
3. Аусгабе А. Оптимизация горных и подъемных работ при обычной проходке ствола // <https://mining-report.de/english/optimizing-of-mucking-and-hoisting-operation-in-conventional-shaft-sinking/> (дата обращения: 09.12.2022) (на русском языке)
4. Базалюк О., Рысбеков К., Нурпеисова М. Комплексный мониторинг состояния массива горных пород при крупномасштабной разработке недр // https://www.researchgate.net/publication/360189569_Integrated_Monitoring_for_the_Rock_Mass_State_During_Large-Scale_Subsoil_Development (дата обращения: 08.12.2022) (на русском языке)
5. Бегалинов А., Хомяков В., Сердалиев Е., Искаков Е. Формулировка методов снижения оползневых явлений и обрушения откосов карьеров при открытых горных работах // https://www.researchgate.net/publication/341201652_Formulation_of_methods_reducing_landslide_phenomena_and_the_collapse_of_career_slopes_during_open-pit_mining (дата обращения: 08.12.2022) (на русском языке)
6. Иванова М.С., Коновал С.В., Абець С.Ф. Совершенствование расчета устойчивости зданий, расположенных вблизи откосов, для структурно-неустойчивых грунтов // <https://cyberleninka.ru/article/n/improvement-the-calculation-of-the-stable-of-building-located-near-the-slopes-for-structural-unstable-soils> (дата обращения: 08.12.2022) (на русском языке)
7. Мелихов М. В. Концепция возведения временных противокампнадных сооружений на карьерах // Проблемы недропользования. – 2018. – №2 (17). – С. 130-140 (на русском языке)
8. Регулирование устойчивости откосов карьеров в России // <https://www.srk.com/en/publications/regulation-of-open-pit-slope-stability-in-russia> (дата обращения: 08.12.2022) (на русском языке)
9. Томилина Н.Г., Бурмистров К.А., Гавришев С.Е. Увеличение объема работ конвейерного транспорта на горнодобывающих предприятиях // https://www.researchgate.net/publication/305790181_Increasing_the_Work_Scope_of_Conveyor_Transport_at_Mining_Companies (дата обращения: 09.12.2022) (на русском языке)
10. Хамрин Х. Методы открытой разработки // <https://www.iloencyclopaedia.org/part-xi-36283/mining-and-quarrying/item/597-techniques-in-underground-mining> (дата обращения: 09.12.2022) (на русском языке)
11. Чжоу В., Го Т., Ли Ч. Оптимизация закономерностей изменения землесбережения и снижения потерь и устойчивости откосов в карьере // <https://www.hindawi.com/journals/geofluids/2021/6620235/> (дата обращения: 08.12.2022) (на английском языке)
12. Юань Л., Ли С., Ма С. Устойчивость откосов шахты на основе технологии Fusion InSAR-мониторинга и численного моделирования // <https://www.hindawi.com/journals/sp/2022/8643586/> (дата обращения: 08.12.2022) (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Көмір шахтасын рельсті тиеумен байланыстыратын 22 көлденең және 45 тік иілісі бар жерүсті құбырлы конвейер // <https://www.pipeconveyor.com/Case%20Studies/Skyline%20Mine/overland.htm> (өтініш берген күні: 09.12.2022) (орыс тілінде)
2. Дотсон К.Б. Ашық даму әдістері // <https://www.iloencyclopaedia.org/part-xi-36283/mining-and-quarrying/item/599-surface-mining-methods> (өтініш берген күні: 09.12.2022) (орыс тілінде)
3. Аусгабе А. Кәдімгі қазу кезінде тау-кен және көтеру жұмыстарын оңтайландыру // <https://mining-report.de/english/optimizing-of-mucking-and-hoisting-operation-in-conventional-shaft-sinking/> (өтініш берген күні: 09.12.2022) (орыс тілінде)

4. Базалюк О., Рысбеков К., Нұрпейісова М. Жер қойнауын ауқымды игеру кезіндегі тау жыныстары массивінің жай-күйінің кешенді мониторингі // https://www.researchgate.net/publication/360189569_Integrated_Monitoring_for_the_Rock_Mass_State_During_Large-Scale_Subsoil_Development (өтініш берген күні: 08.12.2022) (орыс тілінде)
5. Бегалинов А., Хомяков В., Сердалиев Е., Ысқақов Е. Ашық тау-кен жұмыстары кезінде көшкін құбылыстарын азайту және карьер беткейлерін құлату әдістерін тұжырымдау // https://www.researchgate.net/publication/341201652_Formulation_of_methods_reducing_landslide_phenomena_and_the_collapse_of_career_slopes_during_open-pit_mining (өтініш берген күні: 08.12.2022) (орыс тілінде)
6. Иванова М.С., Коновал С.В., Абед С.Ф. Құрылымдық тұрақсыз топырақтар үшін беткейлерге жақын орналасқан ғимараттардың тұрақтылығын есептеуді жетілдіру // <https://cyberleninka.ru/article/n/improvement-the-calculation-of-the-stable-of-building-located-near-the-slopes-for-structural-unstable-soils> (өтініш берген күні: 08.12.2022) (орыс тілінде)
7. Мелихов М.В. Карьерлерде тасқа қарсы уақытша құрылыстар салу тұжырымдамасы // Жер қойнауын пайдалану мәселелері. – 2018. – №2 (17). – Б. 130-140 (орыс тілінде)
8. Ресейдегі Карьер беткейлерінің тұрақтылығын реттеу // <https://www.srk.com/en/publications/regulation-of-open-pit-slope-stability-in-russia> (өтініш берген күні: 08.12.2022) (орыс тілінде)
9. Томилина Н.Г., Бурмистров К.А., Гавришев С.Е. Тау-кен өндірушілеріндегі конвейерлік көлік жұмыстарының көлемін ұлғайту предприятиях // https://www.researchgate.net/publication/305790181_Increasing_the_Work_Scope_of_conveyor_transport_at_mining_companies (өтініш берген күні: 09.12.2022) (орыс тілінде)
10. Хамрин Х. Ашық даму әдістері // <https://www.iloencyclopaedia.org/part-xi-36283/mining-and-quarrying/item/597-techniques-in-underground-mining> (өтініш берген күні: 09.12.2022) (орыс тілінде)
11. Чжоу В., Гуо Т., Ли Ч. Жерді үнемдеудің өзгеру заңдылықтарын оңтайландыру және карьердегі беткейлердің жоғалуы мен тұрақтылығын азайту // <https://www.hindawi.com/journals/geofluids/2021/6620235> (өтініш берген күні: 08.12.2022) (ағылшын тілінде)
12. Юань Л., Ли С., Ма С. Fusion InSAR-мониторинг және сандық модельдеу технологиясы негізінде шахта беткейлерінің тұрақтылығы // <https://www.hindawi.com/journals/sp/2022/8643586> (өтініш берген күні: 08.12.2022) (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. An overland tubular conveyor with 22 horizontal and 45 vertical bends connecting a coal mine with a rail загрузкой//<https://www.pipeconveyor.com/Case%20Studies/Skyline%20Mine/overland.htm> (accessed: 09.12.2022) (in Russian)
2. Dotson K.B. Methods of open development // <https://www.iloencyclopaedia.org/part-xi-36283/mining-and-quarrying/item/599-surface-mining-methods> (date of application: 09.12.2022) (in Russian)
3. Ausgabe A. Optimization of mining and lifting operations with conventional shaft sinking//<https://mining-report.de/english/optimizing-of-mucking-and-hoisting-operation-in-conventional-shaft-sinking> (date of reference: 09.12.2022) (in Russian)
4. Bazalyuk O., Rysbekov K., Nurpeisova M. Comprehensive monitoring of the state of the rock mass during large-scale mining // https://www.researchgate.net/publication/360189569_Integrated_Monitoring_for_the_Rock_Mass_State_During_Large-Scale_Subsoil_Development (date of application: 08.12.2022) (in Russian)
5. Begalinov A., Khomyakov V., Serdaliev E., Iskakov E. Formulation of methods for reducing landslide phenomena and the collapse of the slopes of quarries during open-pit mining // https://www.researchgate.net/publication/341201652_Formulation_of_methods_reducing_landslide_phenomena_and_the_collapse_of_career_slopes_during_open-pit_mining (date of application: 08.12.2022) (in Russian)
6. Ivanova M.S., Konoval S.V., Abed S.F. Improving the stability calculation of buildings located near slopes for structurally unstable soils // <https://cyberleninka.ru/article/n/improvement-the-calculation-of-the-stable-of-building-located-near-the-slopes-for-structural-unstable-soils> (date of reference: 08.12.2022) (in Russian)
7. Melikhov M. V. The concept of erecting temporary rockfall structures at quarries // Problems of subsoil use. – 2018. – No.2 (17). – PP.130-140 (in Russian)
8. Regulation of stability of slopes of quarries in Russia // <https://www.srk.com/en/publications/regulation-of-open-pit-slope-stability-in-russia> (date of reference: 08.12.2022) (in Russian)

9. Tomilina N.G., Burmistrov K.A., Gavrishchev S.E. Increase in the volume of conveyor transport operations at mining // https://www.researchgate.net/publication/305790181_Increasing_the_Work_Scope_of_Conveyor_Transport_at_Mining_Companies (date of application: 09.12.2022) (in Russian)
10. Hamrin H. Methods of open development // <https://www.iloencyclopaedia.org/part-xi-36283/mining-and-quarrying/item/597-techniques-in-underground-mining> (date of address: 09.12.2022) (in Russian)
11. Zhou V., Guo T., Li Ch. Optimization of patterns of land conservation changes and reduction of losses and stability of slopes in the quarry // <https://www.hindawi.com/journals/geofluids/2021/6620235> (accessed: 08.12.2022) (in English)
12. Yuan L., Li S., Ma S. Stability of mine slopes based on Fusion InSAR-monitoring and numerical modeling technology // <https://www.hindawi.com/journals/sp/2022/8643586> (accessed: 08.12.2022) (in English)

Сведения об авторах:

Жалбыров Ж.Д., докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), zhanibek_zhalbyrov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7652-6242>

Замалиев Н.М., доктор PhD, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), nailzamaliev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0628-2654>

Валиев Н.Г., заведующий кафедрой горного дела, д-р техн. наук, профессор Уральского государственного горного университета (г. Екатеринбург, Россия), Niyaz.Valiyev@m.ursmu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5556-2217>

Жансейтов А.Т., магистр наук, Академия государственного управления при Президенте Республики Казахстан (г. Караганда, Казахстан), a.zhanseitov@apa.kz; <https://orcid.org/0000-0001-9495-0530>

Авторлар туралы мәліметтер:

Жалбыров Ж.Д., докторант «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру» кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Замалиев Н.М., PhD, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру» кафедрасының доцентінің м. а., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Валиев Н.Г., тау-кен кафедрасының меңгерушісі, техника ғылымдарының докторы, профессор, Орал мемлекеттік тау-кен университеті (Екатеринбург қ., Ресей)

Жансейтов А.Т., ғылым магистрі, Қазақстан Республикасы Президентінің жанындағы Мемлекеттік басқару академиясы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about authors:

Zhalbyrov Zh.D., department of «Development of mineral deposits», Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

Zamaliyev N.M., PhD, acting associate professor of the department of «Development of mineral deposits», Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

Valiev N.G., head of the mining department, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ural State Mining University (Yekaterinburg, Russia)

Zhanseitov A.T., master of science, Academy of Public Administration under the President of Republic of Kazakhstan (Karaganda, Kazakhstan)

Код МРНТИ 52.13.21

П.В. Меньшиков, *В.А. Кутуев, С.Н. Жариков

Институт горного дела УрО РАН (г. Екатеринбург, Россия)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОРМУЛ ПО РАСЧЕТУ СКОРОСТИ ДЕТОНАЦИИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ*

Аннотация. В статье представлено описание гидродинамической теории детонации и известные классические методики расчета скорости детонации на основе законов сохранения условия Чепмена-Жуге и уравнения состояния и термодинамические методы расчета скорости детонации, основанные на теплоте взрыва и составе продуктов детонации. Проведен расчет скорости детонации промышленных эмульсионных ВВ (ЭВВ) поремит-1А, нитронит Э-70, Э-100 и фортис 70, 85, 100 по различным методам расчета предлагаемых отечественными и зарубежными учеными. Проведен сравнительный анализ расчетных значений с данными из технических условий на производство ВВ и измеренными величинами скорости детонации на карьерах в технологических скважинах, а также на полигонах испытаний взрывчатых материалов (ВМ) в гильзовых зарядах, в условиях предприятий Урала.

Ключевые слова: взрывчатые вещества, скорость детонации, ударная волна, продукты детонации, скорость звука, массовая скорость, теплота взрыва, плотность ВВ, температура взрыва, коволюм.

Жарылғыш заттардың жарылу жылдамдығын есептеу формулаларын салыстырмалы талдау

Андатпа. Мақалада детонацияның гидродинамикалық теориясының сипаттамасы және жарылыс жылуы мен детонация өнімдерінің құрамына негізделген детонация жылдамдығын есептеудің белгілі классикалық әдістері, Чапман-Джугет шарттары мен күй теңдеулері және детонация жылдамдығын есептеудің термодинамикалық әдістері келтірілген. Отандық және шетелдік ғалымдар ұсынатын есептеудің әртүрлі әдістері бойынша поремит-1А, нитронит Э-70, Э-100 және Фортис 70, 85, 100 өнеркәсіптік эмульсиялық ВВ (ЭВВ) детонация жылдамдығын есептеу жүргізілді. ЖВ өндірісінің техникалық шарттарынан алынған деректермен және технологиялық ұңғымалардағы карьерлерде, сондай-ақ гильзалық зарядтардағы жарылғыш материалдарды (ЖМ) сынау полигондарында, Орал кәсіпорындары жағдайында детонация жылдамдығының өлшенген шамаларымен есептік мәндерге салыстырмалы талдау жүргізілді.

Түйінді сөздер: жарылғыш заттар, жарылыс жылдамдығы, соққы толқыны, жарылыс өнімдері, дыбыс жылдамдығы, массалық жылдамдық, жарылыс жылуы, ВВ тығыздығы, жарылыс температурасы, коволюм.

Comparative analysis of formulas for calculating the detonation velocity of explosives

Abstract. The article describes the hydrodynamic theory of detonation and the known classical methods for calculating the detonation velocity based on the Chapman-Jouguet condition and the equation of state, as well as thermodynamic methods for calculating the detonation velocity based on the heat of explosion and the composition of the detonation products. The detonation velocity of industrial emulsion explosives such as Poremite, Nitronit, Fortis was calculated using various calculation methods proposed by domestic and foreign scientists. A comparative analysis of the calculated values with data from the technical specifications for the production of explosives and measured values of the detonation velocity in quarries in technological wells, as well as in test sites for explosive materials in cartridge charges, was carried out under the conditions of enterprises in the Urals.

Key words: explosives, detonation velocity, shock wave, detonation products, sound velocity, mass velocity, explosion heat, explosive density, explosion temperature, covolum.

Введение

Детонация представляет собой цепную химическую реакцию, распространяющуюся во взрывчатом веществе (ВВ) с определенной постоянной для данных параметров заряда скоростью. Скорость детонации современных промышленных ВВ изменяется от 1500 м/с (для простейших взрывчатых смесей) до 6700 м/с и более (для детонирующих шнуров и мощных промежуточных детонаторов).

Скорость детонации определяется составом ВВ, плотностью, характеристиками заряда и условиями взрыва. При одинаковых условиях скорость детонации постоянна и ее значение является максимально возможным. Это делает скорость детонации одной из важнейших характеристик ВВ.

Скорость детонации взрывчатой системы при прочих равных условиях определяется в основном удельной химической энергией (теплотой взрыва). Однако на скорость детонации и прочие характеристики детонационного процесса оказывают влияние и физические характеристики заряда: его диаметр, плотность, агрегатное состояние, размер частиц, однородность, наличие оболочек и др. Изучение зависимости скорости детонации от условий взрыва, состава и свойств ВВ позволяет сделать важные выводы о взрыве. Измеренные значения, получаемые опытным путем, можно использовать для вычисления

других параметров взрывчатого превращения и во многих случаях они могут служить характеристикой, отражающей взрывное действие ВВ при его практическом применении [1-3]. Первая математическая модель детонационной волны в газах, опирающаяся на теорию ударных волн, была разработана достаточно давно и вслед за техническим прогрессом требовала развития. У истоков стояли В. А. Михельсон, Д. Л. Чепмен, Е. Жуге.

Намного позднее развитие этой теории получило в работах Я. Б. Зельдовича, Д. Неймана и В. Деринга, независимо предложивших модель детонационной волны, учитывающую физическую зону превращения исходного ВВ в конечные продукты взрыва. Согласно этой модели, при распространении детонации вдоль заряда ВВ, вначале происходит его нагревание, а химические реакции происходят спустя определенное время. В ходе химических реакций выделяется тепло, которое приводит к дополнительному расширению газообразных продуктов взрыва и увеличению скорости их движения. Таким образом, зона химических реакций толкает ведущую ударную волну и обеспечивает ее устойчивость.

Теория вопроса

Гидродинамическая теория детонации предполагает распространение по ВВ ударной волны, во фронте которой протекает реакция взрывчатого превращения, при этом параметры ударной волны, такие как скорость

* Исследования выполнены в рамках Государственного задания №075-00412-22 ПП, темы 1 (2022-2024): Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005), рег. №1021062010531-8-1.5.1.

и амплитуда, являются постоянными. На фронте ударной волны при сжатии в виде скачков возникает непостоянное изменение температуры, давления и плотности. Параметры состояния волны могут быть выведены согласно математическим выражениям, изложенным в [4, 5].

Для расчета скорости детонации в инженерной практике используют различные приближенные методы, основанные на полуэмпирических уравнениях состояния продуктов детонации или на корреляционных зависимостях параметров детонации от каких-либо известных свойств ВВ [4].

Все существующие методики расчета скорости детонации можно разделить на термодинамические и классические.

Термодинамические методики основаны на нахождении зависимости скорости детонации от теплоты взрыва, состава продуктов детонации и др., а классические методики основаны на решении системы уравнений, законов сохранения условия Чепмена-Жуге и уравнения состояния. Все методики учитывают в основном лишь свойства продуктов детонации и не принимают во внимание тот факт, что детонационный фронт (передняя граница зоны химической реакции) распространяется по не прореагировавшему ВВ, следовательно, скорость детонации может быть в большей степени описана свойствами заряда ВВ. Из свойств заряда ВВ, связанных с распространением по нему ударного фронта детонации, в первую очередь оказывают влияние его волновые свойства, такие, как скорость распространения звука по непрореагировавшему ВВ и в продуктах детонации. Поэтому необходимо в основном проводить оценку параметров детонации через эти показатели и теплоту взрыва ВВ.

Анализ скорости звука и скорости детонации позволяет установить некоторые закономерности их взаимосвязи. Разделив влияние упругой и тепловой составляющей давления, и энергии на скорость распространения фронта, можно выразить ее через суммарный волноэнергетический фактор. Волновую составляющую данного фактора определяет скорость звука, а тепловую – энерговыделение в зоне химической реакции, определяющее массовую скорость.

В этой плоскости ударный фронт перемещается относительно продуктов реакции со скоростью, равной местной скорости звука. В общем виде скорость детонации ВВ определяется соотношением, постулированным Е. Жуге:

$$D = U + C, \quad (1)$$

где U – массовая скорость распространения продуктов детонации за ударным фронтом;

C – местная скорость звука в продуктах детонации (ПД).

На рисунке 1 в координатах давление – объем изображена детонационная волна по модели Зельдовича – Неймана, причем кривая АВ есть ударная адиабата сжатия ВВ, а кривая ЕF – продуктов детонации (адиабата Гюгонно), АВ – прямая Михельсона, а участок ВС на ней отображает зону химического пика [4, 5].

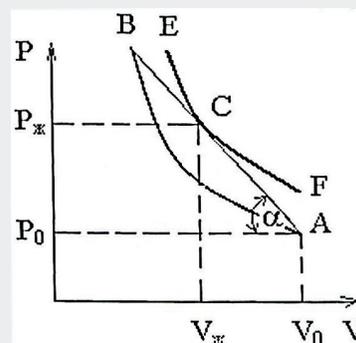


Рис. 1. P-V диаграмма детонационной волны [4, 5].
Сурет 1. P-V детонациялық толқын диаграммасы [4, 5].
Figure 1. P-V diagram of a detonation wave [4, 5].

В зависимости от энергетической характеристики ВВ скорость детонации может быть определена согласно [6], по формуле (2):

$$D = \sqrt{2Q(n^2 - 1)}, \text{ м/с}, \quad (2)$$

где Q – теплота взрыва при постоянном объеме, кДж/кг;
 n – показатель политропы.

Согласно Кутузову Б.Н. [7] значение n для $Q = 4190$ кДж/кг в зависимости от начальной плотности может быть принято равным из таблицы 1.

Таблица 1
Показатель политропы в зависимости от плотности
Кесте 1
Тығыздыққа байланысты политроптың көрсеткіші
Table 1
Polytropic exponent as a function of density

Плотность ρ_0 , г/см ³	0,2	0,25	0,50	0,75	1,0	1,25	1,70
Показатель политропы n	1,30	1,60	2,22	2,80	3,05	3,21	3,40

Формула (2) дает завышенные результаты для конденсированных (твердых) ВВ, поэтому для приближенной оценки скорости детонации можно воспользоваться выражением (3):

$$D = D_{\text{эт}} \sqrt{\frac{Q_{\text{ВВ}}}{Q_{\text{эт}}}}, \quad (3)$$

где D – скорость детонации ВВ, м/с;

$D_{\text{эт}}$ – скорость детонации эталонного ВВ при соответствующей плотности заряжания, м/с;

$Q_{\text{ВВ}}$ – теплота взрыва ВВ, кДж/кг;

$Q_{\text{эт}}$ – теплота взрыва эталонного ВВ, кДж/кг.

Идеальная скорость детонации (максимально возможная при заданной плотности ВВ) может быть определена по формуле (4), предложенной китайскими исследователями [6]:

$$D_{\text{и}} = 2641 + 3,231\Delta\sqrt{\omega}, \quad (4)$$

где Δ – плотность ВВ, г/см³;

ω – так называемое характеристическое произведение теплоты взрыва на объем ПВ, предложенное Берглю (1883 г.) для оценки эффективности ВВ.

$$\omega = Q_{\text{взр}} \cdot V_{\text{пв}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{взр}}$ – теплота взрыва, ккал/кг;

$V_{\text{пв}}$ – объем продуктов взрыва, л.

Кривченко А.Л. [8] указывает на зависимость скорости детонации от объемной скорости звука, которая выражалась линейной функцией, складывающейся из энергетической и динамической составляющих:

$$D = 4490 + 1,5C_0, \quad (6)$$

где C_0 – объемная скорость звука в исходном веществе, м/с.

Он также предлагает использовать уравнение обобщенной ударной адиабаты органического вещества для расчета скорости детонации через скорость ударного фронта, если представлять, что детонационная волна распространяется в стационарном режиме с постоянной скоростью [8]:

$$D = 1,2C_0 + 1,7U_{\phi}, \quad (7)$$

где U_{ϕ} – массовая скорость на фронте процесса, м/с.

Считается, что фронт детонационной волны, распространяющийся по непрореагировавшему ВВ, фактически является фронтом ударной волны, а соотношение массовых скоростей на фронте и в плоскости Чепмена-Жуге примерно равно 1,5. Тогда уравнение (7) примет вид:

$$D = 1,2C_0 + 2,55U, \quad (8)$$

где U – массовая скорость в плоскости Чепмена-Жуге, м/с.

Основной сложностью методов расчета параметров детонации является описание их зависимости от плотности. Как правило, для этого пользуются формулой Кука (9):

$$D_{\rho_0} = D - \mu(\rho - \rho_0), \quad (9)$$

где D_{ρ_0} – скорость детонации при текущей плотности заряда ρ_0 , м/с;

ρ – предельная (максимальная) плотность, при которой возможна детонация заряда ВВ, г/см³;

μ – постоянный коэффициент.

Скорость детонации зависит от максимальной теплоты взрыва Q_m , скорости звука C_0 и кислородного коэффициента α . Однако две последние характеристики зависят от плотности. Дремин А.Н., Савров С.Д., Трофимов В.С. и Шведов К.К. предлагают расчет скорости детонации для зарядов любой плотности вести по следующей формуле (10) [8, 9]:

$$D = 1,2C_0 \frac{\rho_0}{\rho} + 2,55 \sqrt{\frac{\alpha+1,65}{5,5} \rho_0 Q_m}. \quad (10)$$

Постоянный коэффициент в формуле Кука определяется по формуле (11):

$$\mu = 1,2C_0 \left(1 - \frac{\rho-1}{\rho} \right) + 2,55 \left(\sqrt{\frac{\alpha+1,65}{5,5} \rho_0 Q_m} - \sqrt{\frac{\alpha+1,65}{5,5} (\rho-1,0) Q_m} \right). \quad (11)$$

Постоянный коэффициент зависит не только от кислородного коэффициента, но и от плотности ВВ, скорости звука и максимальной теплоты взрыва. Данная методика применима для расчета скорости детонации флегматизированных и металлизированных ВВ.

$$D = 1,2C_0 \frac{\rho_0}{\rho} + 2,55 \sqrt{\frac{\alpha+1,65}{5,5} \rho_0 Q_m (1-\beta)}, \quad (12)$$

где β – массовая доля добавки;

$C_0 \frac{\rho_0}{\rho}$ – расчетная или экспериментально определяемая скорость звука в образцах с помощью ультразвукового дефектоскопа;

α – кислородный коэффициент;

Q_m – максимальная теплота взрыва.

Скорость звука в смесевых системах может быть определена, исходя из следующего выражения (13) [8, 9]:

$$C_{0,1,2} = C_{0,1} C_{0,2} \frac{\beta \rho_{0,1} + (1-\beta) \rho_{0,2}}{\beta \rho_{0,1} C_{0,1} + (1-\beta) \rho_{0,2} C_{0,2}}, \quad (13)$$

где индекс 01 относится к взрывчатому компоненту, а 02 – к добавке (флегматизатора). Для поликомпонентной смеси скорость звука определяется последовательно, исходя из выражения (14) для бинарных смесей. Объемная скорость звука для металла и кристаллических добавок рассчитывается по продольной C_l и поперечной C_t скоростям звука

$$C_0^2 = C_l^2 - \frac{4}{3} C_t^2. \quad (14)$$

Дремин А.Н., Савров С.Д., Трофимов В.С. и Шведов К.К. предлагают совмещенное выражение для уравнения состояния и условия Чепмена-Жуге через объемную скорость звука в заряде ВВ и соотношение плотности ПД (продуктов детонации) в плоскости Чепмена-Жуге для зарядов любой плотности. Рассчитав соотношение ρ/ρ_0 , можно вычислить скорость детонации [5, 6]:

$$D = C_0 \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^4. \quad (15)$$

Скорость детонации по гидродинамическому принципу рассчитывается по формуле (16):

$$D = \sqrt{2 \left[\frac{\alpha+1,65}{5,5} \rho_0 Q_m (1-\beta) \right] (n^2 - 1)}. \quad (16)$$

Основная трудность расчетов связана с неопределенностью уравнения состояния для продуктов взрыва конденсированных ВВ ввиду чрезвычайно высокого их давления.

В качестве одного из вариантов можно было бы воспользоваться уравнением состояния газов типа уравнения

Ван-дер-Ваальса, а значение коволюма α брать переменным, зависящим от плотности ВВ. В этом случае скорость детонации с достаточным приближением можно рассчитывать по формуле (17).

$$D = \frac{\dot{V}_0}{V_0 - \alpha} \cdot \frac{1+k}{k} \sqrt{k \frac{8310}{M} T_{\text{взр}}}, \quad (17)$$

где V_0 – начальный удельный объем;

$k = C_p/C_v$ – показатель изоэнтропы ПД при нормальном давлении;

M – средняя молекулярная масса ПД;

$T_{\text{взр}}$ – температура взрыва (детонации), которая отличается от аналогичного выражения для определения скорости детонации в газах на множитель $V_0/(V_0 - \alpha)$.

Косвенным путем получены значения коволюма для различных нитросоединений:

$\alpha = 0,58 \div 0,59$ при плотности $1 - 1,03$ г/см³;

$\alpha = 0,44 \div 0,45$ при плотности $1,59 - 1,73$ г/см³.

Для приближенных расчетов нет необходимости находить значение скорости детонации во всем диапазоне интересующих плотностей ВВ. Соответствующие величины можно найти экстраполяцией или интерполяцией по двум-трем экспериментальным точкам. Например, М. Куком рекомендована следующая усредненная зависимость (18):

$$D = D_1 + 350(\rho - 1), \quad (18)$$

где D_1 – скорость детонации при плотности ВВ 1 г/см³;

ρ – плотность ВВ.

Почти все исследователи подчеркивают зависимость скорости детонации от плотности ВВ. Так в источнике [10] эта зависимость описывается уравнением (19):

$$D = D_1 + k(\rho_{\text{ВВ}} - \rho_{\text{ВВ1}}), \quad (19)$$

где D_1 – известная (измеренная) скорость детонации при плотности $\rho_{\text{ВВ1}}$;

k – коэффициент пропорциональности, $k = 350$.

Скорость детонации возрастает с увеличением диаметра заряда, и эта зависимость в общем виде может быть описана уравнением (20):

$$D = D_i(1 - a/d_a), \quad (20)$$

где D_i – предельная (идеальная) величина скорости детонации при бесконечно большом диаметре заряда d_a ;

a – константа.

Для твердых гранулированных ВВ [10]

$$D = D_i[1 - (1 - d_3/a_0)^3]^{1/2}, \quad (21)$$

для жидких ВВ

$$D = D_i(d_3/a_0)^{3/5}, \quad (22)$$

где a_0 – ширина зоны химической реакции, м;

d_3 – эффективный диаметр, определяемый диаметром заряда ВВ, соответствующим скорости детонации D , и

параметром a_k , учитывающим влияние краевого эффекта (для твердых ВВ $a_k \approx 0,06$ м, для жидких $a_k \approx 0,05$ м).

Скорость детонации смеси гранулированной аммиачной селитры с дизельным топливом зависит от массы и размера инициатора. В скважинах более 0,15 м оптимальный режим иницирования достигается при приближении размера диаметра боевика к диаметру заряда. В зависимости от массы инициатора скорость детонации АС-ДТ может быть описана [10] следующим уравнением (23).

$$D \approx D_i \exp[-(0,625 - r) / 4m], \quad (23)$$

где r – удаление от инициатора, $r \leq 0,625$ м;

m – масса инициатора.

Скорость детонации зависит от диаметра гранул аммиачной селитры [10]:

$$D / D_1 \approx 0,85 + 0,15R_1 / R, \quad (24)$$

где D и D_1 – скорость детонации при диаметрах гранул, соответственно R и R_1 .

Обобщенное уравнение для определения скорости детонации можно записать в следующем виде:

для смеси гранулированной аммиачной селитры с дизельным топливом

$$D = D_i \left\{ \left[1 - \left(1 - \frac{d_3}{a_0} \right)^3 \right]^{1/2} \cdot \exp[(r - 0,625) / 4m] \cdot \frac{1}{0,85 + 0,15R_1/R} \right\}, \quad (25)$$

для жидких ВВ

$$D = D_i(d_3/a_0)^{3/5}. \quad (26)$$

Свойства среды, окружающей зарядную полость, также существенно влияют на скорость детонации. В тех случаях, когда продукты детонации легко сжимают среду, их энергия быстро убывает. Это приводит к уменьшению зоны первичной реакции, искривлению фронта ударной волны и, в конечном итоге, к уменьшению величины скорости детонации.

Также в работе [11] предлагается другое выражение для определения скорости детонации с применением уравнения Клайперона (27):

$$D = \sqrt{\frac{(k+1)^2 \cdot m}{k \cdot M} \cdot RT}. \quad (27)$$

Тогда, полагая [11] отношение теплоемкостей $C_p/C_v = k = 1,2$ и учитывая, что M/m – средний молекулярный вес продуктов взрыва (для обычных ВВ они состоят из CO_2 , CO , N_2 , H_2O) близок к 30, получаем уравнение (28):

$$D \approx \frac{\sqrt{T}}{30}, \text{ км/с}. \quad (28)$$

Гидродинамическая теория детонации была впервые создана русским ученым Михельсоном в его диссертации в 1891 г., одновременно с цитируемой работой Вьеля. Первым гидродинамическую теорию детонации опубликовал в 1899 г. независимо разработавший ее Чепмен. Вьелью была лишь известна теория ударной волны, созданная Гюгонио в 1887 г. [11].

Первая попытка расчета скорости детонации конденсированных ВВ с учетом неидеальности продуктов взрыва была сделана известным исследователем ВВ и порохов П. Вьелем [11], который полагал, что скорость детонации равна скорости звука в неподвижных продуктах взрыва с учетом постоянного коволюма ($\alpha = \text{const}$) и влияния плотности. Формула (29) была получена из укороченного выражения Ван дер Ваальса еще до гидродинамической теории детонации.

$$C = \frac{\sqrt{kf}}{1-\alpha\rho}, \quad (29)$$

где α – коволюм;

k – отношение теплоемкостей;

f – сила взрыва, определяемая по формуле (30):

$$f = \frac{m}{M} RT. \quad (30)$$

Формула П. Вьеля дает очень грубый расчет, т.к. скорость детонации не равна скорости звука и коволюм не является постоянным. Тем не менее П. Вьелем первым были поставлены вопросы взаимосвязи скорости детонации со скоростью звука в продуктах взрыва и коволюмом [11].

Используя два закона сохранения, условие минимума скорости детонации и уравнение состояния продуктов взрыва, Таффанель и Дотриш впервые в 1912 г. получили для скорости детонации формулу (31) [11]:

$$D = A \frac{\sqrt{f}}{1-\alpha\rho_0} = \frac{k+1}{\sqrt{k}} \sqrt{\frac{mRT}{M_0}} \cdot \frac{V_0}{V_0-\alpha}. \quad (31)$$

Формула Таффанеля и Дотриша также дает грубые расчеты, т.к. в действительности коволюм не является постоянным и меняется с плотностью.

Шмидт предлагает аналогичную формулу (32) для расчета скорости детонации с учетом постоянного коволюма [11]:

$$D = D_{\text{ид}} \frac{V_0}{V_0-\alpha}, \quad (32)$$

где V_0 – начальный удельный объем;

$D_{\text{ид}}$ – идеальная скорость детонации.

Массовую скорость продуктов взрыва без учета коволюма Шмидт рассчитывал по формуле (33):

$$U = \sqrt{\frac{mR}{M_0k} T}. \quad (33)$$

Ландау, Покровским и Станюковичем предложена формула (34) расчета скорости детонации в интервале плотно-

стей от 0,5 до 1,8 г/см³, которая справедлива для основных бризантных ВВ [11]:

$$D = N\rho_0^{\frac{m-1}{2}} = N\rho_0^\alpha, \quad (34)$$

где N и m – константы, определяемые из измеренной скорости детонации;

α – показатель, принимает значения от 0,3 до 0,8.

Авакян Г.Л. для вычисления скорости детонации предложил пользоваться выражением (35):

$$D = f(\rho_0) \sqrt{\frac{T_{\text{д}}}{M}}, \quad (35)$$

$$f(\rho_0) = \sqrt{\frac{10,4 \cdot 10^8 \rho_0}{\frac{n}{(n+1)^2} \left(\frac{5n}{n+1} \rho_0 \right)}};$$

где n – показатель политропы;

ρ_0 – начальная плотность продуктов детонации;

M – средняя молекулярная масса продуктов детонации;

$T_{\text{д}}$ – температура взрыва (детонации).

Результаты исследований

Далее по представленным методикам для наиболее популярных промышленных ЭВВ нами был проведен расчет и сравнение полученных значений скорости детонации со значениями, представленными в технических условиях (ТУ), а также с полученными результатами натурных измерений фактических величин скорости детонации таких ЭВВ, как: Нитронит Э-70, Нитронит Э-100, Порэммит-1А, Фортис (марки 70, 85 и 100). Сотрудниками лаборатории разрушения горных пород Института горного дела УрО РАН в период с 2004 по 2021 гг. на карьерах в технологических скважинах, а также на полигонах испытаний взрывчатых материалов (ВМ) в гильзовых зарядах, в условиях предприятий ОАО «ЕВ-РАЗ КГОК», ПАО «Ураласбест» и ООО «Орика-УГМК», были получены значения скорости детонации ЭВВ при разных плотностях ($\rho = 1,05-1,3$ г/см³) и диаметрах зарядов от 80 до 250 мм.

В расчетах нами были сделаны некоторые допущения, например, при нахождении кислородного коэффициента и молярной массы ВВ для грубой оценки содержанием газогенерирующей добавки (ГГД) и дизельного топлива (ДТ) можно пренебречь, т.к. содержание аммиачной селитры в ЭВВ составляет до 98 %, ГГД – до 1,5 %, а ДТ – до 5%.

Результаты расчета скорости детонации современных промышленных ЭВВ и сравнительной оценки по десяти методикам представлены в таблице 2. К сожалению, не по всем методикам получилось произвести расчет скорости детонации, например, по формулам (32) и (33) [11] возникает сложность, т.к. для вычисления необходимо знать идеальную скорость детонации, по формуле (34) неизвестны численные значения констант, определяемые из измеренной скорости детонации, а результаты расчетов по формуле (35) дают очень завышенные значения.

Таблица 2

Расчетные значения скорости детонации по представленным выше методикам, из ТУ и результаты измерений скорости детонации современных промышленных ЭВВ

Кесте 2

Жоғарыда келтірілген әдістемелер бойынша детонация жылдамдығының есептік мәндері, ТУ-дан және қазіргі заманғы өнеркәсіптік ЭЕМ-нің детонация жылдамдығын өлшеу нәтижелері

Table 2

Calculated values of detonation velocity according to the methods presented above, from TU and the results of detonation velocity measurements of modern industrial explosives

Скорость детонации, м/с	Промышленное ЭВВ											
	порэммит-1А		нитронит Э-70		нитронит Э-100		фортис 70		фортис 85		фортис 100	
	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до
по ТУ	4800	5200	4800	5000	4400	4800	3000	6000	3000	6000	3000	6000
экспериментально измеренная [12]	2230	6389	2068	6090	2718	5316	4281	5686	3868	5989	4770	6168
с учетом энергетической характеристики (формула (2)) ¹	231	238	231	245	220	235	241	257	236	262	231	274
с учетом теплоты взрыва эталонного ВВ (формула (3)) ²	2983	3977	3047	4148	2906	3984	3159	4227	3170	4446	3170	4500
идеальная (Китай) (формула (4))	5816	6175	5487	6233	5344	6205	5479	6418	5304	6480	5037	6719
по Кривченко А. Л. (формула (6))	5832	6502	5832	6502	5832	6502	5832	6502	5832	6502	5832	6502
по Дремину А. Н. и Шведову К. К. (формула (10)) ³	1042	1683	960	1649	956	1645	979	1715	923	1656	836	1722
по Дремину А. Н. и Шведову К. К. совмещенное выражение (формула (15))	1427	1461	1570	2102	1570	2102	1342	1949	1570	2555	1342	3894
используя уравнение Ван-дер-Ваальса (формула (17)) ⁴	3212	4440	3708	4441	3737	4180	4347	4381	4454	4706	4254	6050
используя уравнение Клайперона (формула (27))	1491	2236	1491	2236	1491	2236	1491	2236	1491	2236	1491	2236
по П. Вьелю (формула (29)) ⁵	357	631	319	606	319	606	326	649	303	606	276	649
по Таффанелю и Дотришу (формула (31)) ⁵	550	825	583	810	586	764	675	824	675	812	675	805

¹ – Показатель политропы определен в зависимости от плотности по Кутузову Б.Н. [7].

² – Скорость детонации аммонита №6ЖВ – 3600-4800 м/с, теплота взрыва аммонита №6ЖВ – 4312 кДж/кг.

³ – Предельная плотность – 1,3 г/см³.

⁴ – Показатель изоэнтропии $k = 1,2$; молярная масса ПД – 30 г/моль; температура взрыва взята в диапазоне от 2000 до 4500 К.

⁵ – Универсальная газовая постоянная $R \approx 287$ Дж/(кг·К); коволюмом является постоянным $\alpha = 0,5$.

Выводы

Скорость детонации ВВ существенно зависит не только от плотности, но и от диаметра заряда, поэтому диапазон измеренных величин скорости детонации охватывает большой диапазон диаметров заряда и будет больше, чем диапазон расчетных значений скорости детонации по методикам, не учитывающим диаметр заряда, а также данных из ТУ, в которых указан диапазон скорости детонации при испытаниях в стальной трубе диаметром 60 мм.

Из таблицы 2 видно, что результаты расчетов скорости детонации ЭВВ с учетом энергетической характеристики, по Вьелю, Таффанелю и Дотришу дают очень грубый расчет и заниженные значения, и это понятно, т.к. в первом случае должен быть перерасчет с учетом теплоты взрыва эталонного ВВ, а первые уравнения Вьеля, Таффанеля, Дотриша и Шмидта не учитывают изменчивый объем молекул продуктов взрыва для разных плотностей заряжения ВВ и дают грубый расчет в связи с тем, что ранее коволюмом

считался постоянным, тем не менее именно Вьель первым показал взаимосвязь скорости детонации со скоростью звука в продуктах взрыва и коволюмом, а другие исследователи ухватились за эти идеи, что дало основу для дальнейшего развития гидродинамической теории детонации. Методы расчета по Дремину А. Н. и Шведову К. К., а также при использовании уравнения Клайперона дают низкие значения и грубый расчет, а выражение с учетом теплоты взрыва эталонного ВВ и уравнение Ван-дер-Ваальса дают низкие значения, но приемлемые результаты для ЭВВ нитронит и порэммит-1А, но достаточно точные значения для ЭВВ Фортис, которые находятся в диапазоне скорости детонации, указанной в ТУ. Несмотря на то, что по эмпирической формуле Кривченко А. Л. получаются высокие значения скорости детонации, она более точно отражает фактическую измеренную скорость детонации при больших диаметрах заряда, и соответствует ТУ ЭВВ фортис, но здесь для определения скорости звука в ПД был выбран диапазон температуры взрыва от 2000 до 4500 К,

поэтому для расчета по этой формуле изначально нужно знать точную температуру взрыва, что является достаточно трудоемким. Экспериментальная формула расчета идеальной скорости детонации китайскими исследователями дает завышенные результаты при высоких значениях теплоты взрыва и удельного объема ПД, но достаточно точные результаты идеальной скорости детонации в нижнем диапазоне. Из всех перечисленных методик наиболее достоверными являются методы расчета Кривченко А. Л. и китайских исследователей, т.к. они основаны на эмпирических зависимостях от температуры, теплоты взрыва и удельного объема ПД, также возможно воспользоваться формулами с учетом теплоты взрыва эталонного ВВ и уравнением Ван-дер-Ваальса для некоторых типов ЭВВ. Для гранулированных, порошкообразных и первично-иницируемых ВВ результаты расчетов могут быть другими.

Также существуют частные эмпирические формулы многих других исследователей, которые дают достаточно точные расчеты скорости детонации, тем не менее все исследователи отмечают зависимость скорости детонации от плотности. Интересными для практических целей являются формулы, учитывающие ширину зоны химической реакции, массу инициатора и диаметр гранул аммиачной селитры, т.к. позволяют взаимосвязать со скоростью детонации другие детонационные характеристики или решить обратную задачу.

В связи со сложностью определения скорости детонации теоретически, в большинстве случаев ее определяют экспериментально в промышленных условиях на специальных полигонах испытаний ВМ, а также непосредственно во время производства взрывных работ в карьере.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kabwe E. Измерение скорости детонации и анализ дробления для оценки эффективности взрывных работ // Журнал механики горных пород и геотехники. – 2018. – № 10(3). – С. 523-533. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.12.003> (на английском языке)
2. Ainalis D., Kaufmann O., Tshibangu J.-P., Verlinden O., Kouroussis G. Моделирование источника взрывных работ для численного моделирования вызванных взрывом колебаний грунта: обзор // Механика горных пород и горная инженерия. – 2017. – Vol. 50(1). – С. 171-193. <https://doi.org/10.1007/s00603-016-1101-2> (на английском языке)
3. Balakrishnan V., Pradhan M., Dhekne P.Y. Исследование поведения детонации эмульсионного взрывчатого вещества, столба индуцируемого воздушными промежутками // Горная наука. – 2019. – № 26. – С. 55-68. <https://doi.org/10.37190/msc192605> (на английском языке)
4. Андреев Л. Ф., Беляев К. К. Теория взрывчатых веществ. – М.: Оборонгиз. 1960. – С. 596 (на русском языке)
5. Ремпель Г. Г. К вопросу об оценке длины зоны химической реакции за фронтом детонационной волны // Взрывное дело. 1963. – № 52/9. – С. 39-56 (на русском языке)
6. Андреев С. Г. и др. Физика взрыва: в 2 т., Т.1. / Под ред. Л. П. Орленко. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Физматлит. 2002. – С. 832 (на русском языке)
7. Кутузов Б. Н. Разрушение горных пород взрывом: учебник для вузов. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Изд-во МГИ. 1992. – С. 516 (на русском языке)
8. Кривченко А. Л., Кривченко Д. А., Чуркин О. Ю. О принципах расчета параметров детонации в конденсированных и газовых системах // Наука и современность. 2010. – № 1-2. – С. 166-171 (на русском языке)
9. Дремин А. Н., Савров С. Д., Трофимов В. С., Шведов К. К. Детонационные волны в конденсированных средах. – М.: Наука. 1970. – С. 164 (на русском языке)
10. Барон В. Л., Кантор В. Х. Техника и технология взрывных работ в США. – М.: Недра. 1989. – С. 375 (на русском языке)
11. Вопросы теории взрывчатых веществ / Акад. наук Союза ССР, Ин-т хим. физики. – М.; Л.: Изд-во Акад. наук Союза ССР, 1947 — (Проблемы хим. кинетики, горения и взрывов / гл. ред. Н. Н. Семенов; ред. кол.: Я. Б. Зельдович [и др.]; вып. 1). Кн. 1: сб. статей / под ред. чл.-корр. АН СССР Ю. Б. Харитона и С. Б. Ратнера. 1947. – С. 188 (на русском языке)
12. Жариков С. Н., Кутуев В. А. О закономерностях протекания детонации взрывчатых веществ // Взрывное дело. 2022. – № 135-92. – С. 115-131. DOI: 10.25635/r3911-6125-0389-e (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Kabwe E. Жарылыс жұмыстарының тиімділігін бағалау үшін детонация жылдамдығын өлшеу және ұсақтауды талдау // Тау жыныстары механикасы және геотехника журналы. – 2018. – № 10(3). – С. 523-533. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.12.003> (ағылшын тілінде)
2. Ainalis D., Kaufmann O., Tshibangu J.-P., Verlinden O., Kouroussis G. Жарылыстан туындаған жер тербелістерін сандық модельдеу үшін жарылыс көзін модельдеу: шолу // Тау жыныстарының механикасы және тау-кен инженериясы. – 2017. – Vol. 50(1). – С. 171-193. <https://doi.org/10.1007/s00603-016-1101-2> (ағылшын тілінде)

3. Balakrishnan V., Pradhan M., Dhekne P. Y. Эмульсиялық жарылғыш заттың детонациялық әрекетін зерттеу, ауа кеңістігінен туындаған полюс // Тау-кен ғылымы. – 2019. – № 26. – Б. 55-68.
<https://doi.org/10.37190/msc192605> (ағылшын тілінде)
4. Андреев Л. Ф., Беляев к. к. Жарылғыш заттар теориясы. – М.: Қорғаныс. 1960. – Б. 596 (орыс тілінде)
5. Ремпель Г. Г. Детонациялық толқын майданының артындағы химиялық реакция аймағының ұзындығын бағалау мәселесіне // Жарылғыш зат. 1963. – № 52/9. – Б. 39-56 (орыс тілінде)
6. Андреев С. Г. және т. б. Жарылыс физикасы: 2 Т., Т. 1. / Ред. Л. П. Орленко. – 3-ші басылым., қосымша және қайта өңдеу – М.: Физматлит. 2002. – Б. 832 (орыс тілінде)
7. Кутузов Б. Н. тау жыныстарын жарылыспен жою: жоғары оқу орындарына арналған оқулық. – 3-ші басылым. қайта өңдеу. және қосымша. – М.: МГИ баспасы. 1992. – Б. 516 (орыс тілінде)
8. Кривченко А.Л., Кривченко Д. А., Чуркин О. Ю. Конденсацияланған және газ жүйелеріндегі детонация параметрлерін есептеу принциптері туралы // Ғылым және қазіргі заман. 2010. – № 1-2. – Б. 166-171 (орыс тілінде)
9. Дремин А. Н., Савров С. Д., Трофимов В. С., Шведов К. К. Конденсацияланған ортадағы детонациялық толқындар. – М.: Ғылым. 1970. – Б. 164 (орыс тілінде)
10. Барон В.Л., Кантор В. Х. АҚШ-тағы жарылыс техникасы және технологиясы. – М.: Жер Қойнауы. 1989. – Б. 375 (орыс тілінде)
11. Жарылғыш заттар теориясының сұрақтары / Акад. ССР Одағы ғылымдарының, Ин-т хим. физиктер. – М.; Л.: Акад баспасы. КСР Одағының ғылымдары, 1947 – (хим мәселелері. кинетика, жану және жарылыстар / ч. ред. Н.Н. Семенов; ред. кол.: Я. Б. Зельдович [және т. б.]; ВП. Gorenje. 1). Кн. 1: сб. мақалалар / ред. мүше.– корр. КСРО Ғылым академиясы Ю.Б. Харитон және С. Б. Ратнер. 1947. – Б. 188 (орыс тілінде)
12. Жариков С. Н., Кутуев В. А. Жарылғыш заттардың жарылу заңдылықтары туралы // Жарылғыш зат. 2022. – № 135-92. – Б. 115-131. DOI: 10.25635 / r3911-6125-0389-e (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Kabwe E. Velocity of detonation measurement and fragmentation analysis to evaluate blasting efficacy. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2018; Vol. 10(3): P. 523-533 <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.12.003>. (in English)
2. Ainalis D., Kaufmann O., Tshibangu J.-P., Verlinden O., Kouroussis G. Modelling the source of blasting for the numerical simulation of blast-induced ground vibrations: a review. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2017; Vol. 50(1): P. 171-193 <https://doi.org/10.1007/s00603-016-1101-2>. (in English)
3. Balakrishnan V., Pradhan M., Dhekne P.Y. Field investigation in the detonation behavior of emulsion explosive column induced with air gaps. *Mining Science*. 2019; Vol. 26: P. 55-68 <https://doi.org/10.37190/msc192605>. (in English)
4. Andreev L.F., Belyaev K.K. *Theory of Explosives*. Moscow: Oborongiz. 1960. P. 596 (in Russian)
5. Rempel G.G. On the evaluation of the length of the chemical reaction zone behind the detonation wave front. *Explosive business*. 1963. No. 52/9. P. 39-56 (in Russian)
6. Andreev S.G. et al. *Physics of Explosions: in 2 vol., Vol. 1*. Edited by L.P. Orlenko. – 3rd edition, revised and updated. Moscow: Fizmatlit. 2002. P. 832 (in Russian)
7. Kutuzov B.N. *Rock destruction by explosion: textbook for universities. 3rd revised and enlarged edition*. Moscow: Publishing house of Moscow State Mining University. 1992. P. 516 (in Russian)
8. Krivchenko A.L., Krivchenko D.A., Churkin O.Yu. On the principles of calculating detonation parameters in condensed and gaseous systems. *Science and Modernity*. 2010. No. 1-2. P. 166-171 (in Russian)
9. Dremmin A.N., Savrov S.D., Trofimov V.S., Shvedov K.K. *Detonation waves in condensed media*. Moscow: Nauka. 1970. 164 p. (in Russian)
10. Baron V.L., Kantor V.Kh. *Techniques and technology of blasting operations in the USA*. Moscow: Nedra. 1989. P. 375 (in Russian)
11. *Issues of the theory of explosives / USSR Academy of Sciences, Institute of Chemical Physics. Moscow; Leningrad: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1947 – (Problems of chemical kinetics, combustion and explosions / chief editor N.N. Semenov; editorial board: Ya.B. Zel'dovich et al.; vol. 1). Book 1: collection of articles / edited by corresponding member of the USSR Academy of Sciences Yu.B. Khariton and S.B. Ratner. 1947. P. 188 (in Russian)*
12. Zharikov S.N., Kutuev V.A. On the regularities of detonation in explosives. *Explosive business*. 2022. No. 135-92. P. 115-131. DOI: 10.25635/r3911-6125-0389-e (in Russian)

Сведения об авторах:

Меньшиков П.В., научный сотрудник ИГД УрО РАН, лаб. разрушения горных пород (г. Екатеринбург, Россия), menshikovpv@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0001-6672-6769>

Кутуев В.А., научный сотрудник ИГД УрО РАН, лаб. разрушения горных пород (г. Екатеринбург, Россия), 9634447996@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-8423-0246>

Жариков С.Н., канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, зав. лаб. разрушения горных пород (г. Екатеринбург, Россия), 333vista@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-0322-9973>

Авторлар туралы мәліметтер:

Меньшиков П.В., ғылыми қызметкер ИГД УрО РҒА, лаб. тау жыныстарының жойылуы, (Екатеринбург қ., Ресей)

Кутуев В.А., ғылыми қызметкер ИГД УрО РҒА, лаб. тау жыныстарының жойылуы, (Екатеринбург қ., Ресей)

Жариков С.Н., техника ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, меңгеруші, лаб. тау жыныстарын жою, ИГД УрО РАН, (Екатеринбург қ., Ресей)

Information about the authors:

Menshikov P.V., researcher, Institute of Mining of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, lab. rock breaking (Ekaterinburg, Russia)

Kutuev V.A., researcher, Institute of Mining of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, lab. rock breaking (Ekaterinburg, Russia)

Zharikov S.N., Candidate of Technical Sciences, leading researcher, head. lab. rock destruction (Ekaterinburg, Russia)

16+

Металлообработка. Сварка – Урал

12–15 марта 2024
Екатеринбург

международная выставка технологий,
оборудования, материалов для машиностроения,
металлообрабатывающей промышленности
и сварочного производства

крупнейший
специализированный
региональный проект в России



PRO
EXPO

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



Код МРНТИ 52.47.17

Н.Б. Ермуханова, А.Б. Арыстанбек, А.Е. Төлеген, *А.К. Абилова
Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті (Қызылорда қ., Қазақстан)

ҚҰМКӨЛ КЕН ОРНЫНДАҒЫ ТЕХНОГЕНДІК ЖЕР СІЛКІНУ ҮҚТИМАЛДЫҚТАРЫ

Аңдатпа. Мақалада Оңтүстік Торғай мұнай-газ аймағына жататын Құмкөл көмірсутек кен орындарының техногендік жер сілкіну үқтималдықтары қарастырылады. Кен орындарын игеруге тікелей байланысты техногендік тектоникалық қозғалыстар көптеген мұнай-газ бассейндерінде байқалады. Геодинамикалық оқиғалардың себептері болжамды факторлар болып табылады. Сейсмикалық түсірілімдер аймақтың асейсмикалық екенін көрсеткенімен, пайда болған белсенді жаңа жарықтар көлемі жыл өткен сайын ұлғаюда және жер қабатын бұрғылау кезіндегі сейсмикалық әсерлер де қатты бұзылуларға әкелуі мүмкін деген болжам бар. Себебі Құмкөл кен орнын жан-жағынан сейсмоқауіпті аймақтар қоршап жатыр. Өзірге микрожерсілкіністерді тіркеу де шектеулі. Сондықтан жер сілкінуі үқтимал мұнай-газ кен орындарында жоғары сезімтал станцияларды орналастыра отырып, мониторингтің арнайы желілерін ұйымдастыру қажеттілігі туындайды.

Түйінді сөздер: жер сілкінісі, сейсмикалық мониторинг, көмірсутекті кен орындары, сейсмогендік аймақтар, сейсмикалық карта, Құмкөл кен орны.

Probability of technological earthquakes at the Kumkol field

Abstract. The article considers the probabilities of man-made earthquakes of the Kumkol hydrocarbon deposits. Technogenic tectonic movements directly related to the development of deposits are observed in many oil and gas basins. The causes of geodynamic events are prognostic factors. Although seismic images have shown that the area is aseismic, the number of active new cracks forming is increasing every year, and it has been suggested that seismic effects during reservoir drilling can also lead to serious disturbances. Because the Kumkol deposit is surrounded by earthquake-prone zones on all sides. So far, micro-settlement registration is also limited. Therefore, there is a need to organize special monitoring networks with the placement of highly sensitive stations in oil and gas fields with potential earthquakes.

Key words: earthquake, seismic monitoring, hydrocarbon deposits, seismogenic zones, seismic map, Kumkol deposit.

Вероятность технологических землетрясений на месторождении Кумколь

Аннотация. В статье рассматриваются вероятности техногенных землетрясений Кумкольских углеводородных месторождений. Техногенные тектонические движения, непосредственно связанные с разработкой месторождений, наблюдаются во многих нефтегазоносных бассейнах. Причинами геодинамических событий являются прогностические факторы. Хотя сейсмические снимки показали, что область асейсмична, количество образующихся активных новых трещин увеличивается с каждым годом, и было высказано предположение, что сейсмические эффекты при бурении пласта также могут привести к серьезным нарушениям. Потому что месторождение Кумколь со всех сторон окружено сейсмоопасными зонами. Пока что регистрация микроземлели также ограничена. Поэтому возникает необходимость организации специальных сетей мониторинга с размещением высокочувствительных станций на нефтегазовых месторождениях с потенциальными землетрясениями.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмический мониторинг, углеводородные месторождения, сейсмогенные зоны, сейсмическая карта, месторождение Кумколь.

Кіріспе

Көмірсутек кен орындарын ұзақ уақыт игерудің нәтижесінде ауаның ілеспе газдың жану өнімдерімен, топырақтың мұнай өнімдерімен ластануынан басқа мамандар назарын геодинамикалық өзгерулер – жер бетінің қалыптан тыс деформациясымен мұнай-газ өндіру аудандарында сейсмикалық белсенділіктің артуы алаңдатуда. Осы кезге дейін АҚШ (Wilmington, Sleepy Hollow), Канада (Snipe Lake), Франция (Лак), Ресей (Ромашкин), Түркіменстан (Кум-Даг), Өзбекстанның (Газли) көмірсутек кен орындарын игеру аудандарында техногендік жер сілкіністері, соның ішінде ауыр жер сілкіністерінің көріністері тіркелген. Қазіргі уақытта геодинамикалық процестерді мақсатты зерттеу, ең алдымен, сейсмологиялық ақпаратты егжей-тегжейлі талдау негізінде жүзеге асырылады. Көмірсутек кен орындарындағы техногендік жер сілкінісі игеріліп жатқан кен орнының жақын маңында кеңістікте де, тереңдікте де болады [1].

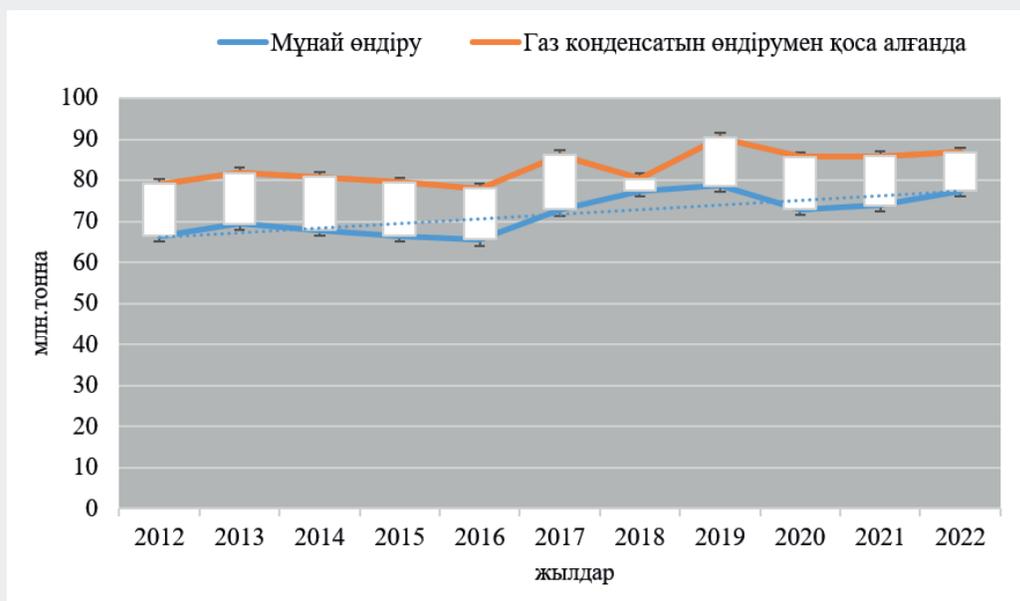
Сейсмология саласындағы заманауи әдістер ұңғымаларды зерттеудің геофизикалық әдістерін дамытуға және жетілдіруге үлкен әсер етті. Жаңа әдістердің (диэлектрлік өткізгіштік, ядролық магниттік резонанс, импульстік нейтрондық және гамма-гамма әдісі, кең жолақты акустикалық әдіс, қабатты көлбеулік зерттеу, ұңғымаларды бұрғылау процесінде зерттеу және т.б.) арқасында зерттеулер кешені едәуір кеңейді. Соның нәтижесінде Қазақстанның сейсмикалық мониторингі дәстүрлі түрде асейсмикалық болып саналатын аудандарда жер сілкіністерінің едәуір санын анықтады. Қазақстандағы жер сілкіну үқтимал аймақтарды сейсмологтар Тарбағатай-Алтай, Жонғар-Сол-

түстік Тянь-Шяньдық, Қаратау, Каспий маңы, Орталық Қазақстан сейсмоқауіпті аймақтары деп жіктейді. Сейсмоқауіпті 450 мың шаршы км алаңды қамтитын Шығыс Қазақстан, Алматы, Жамбыл, Оңтүстік Қазақстан, Қызылорда, Маңғыстау облыстарында өнеркәсіп үлесінің 30% жоғарысын құраса, тұрғын үйдің 35%, республика халқының 40%-ы тұрады. Жер сілкінісі қауіпті аймақтарда ірі қалалар мен елді мекендер, гидротехникалық ғимараттар, зиянды өндірістік өнеркәсіп орындары, жасанды су қоймалары, жарылыс қауіпі бар және улы материалдар қоймасы орналасқан [2].

Материалдар мен зерттеу әдістері

Қазақстан аумағында 200-ден астам мұнай кен орны ашылған, ол ел аумағының 62%-ын мұнай-газ аудандары алып жатыр. 2021 жылы мұнай өндіру 85.9 млн тоннаны (ішкі тұтыну үлесі – 23%), газ өндіру – 54.2 млрд текше метрді (61%) құрады. 2022 жылы мұнай өндіру шамамен 87 миллион тоннаны, ал 2024 жылдан кейін 100 миллион тоннаға жетуі мүмкін (1-сурет). Соңғы 30 жылда Қазақстан мұнай өндіруді 3.5 есеге арттырды [3].

Өркениеттің дамуы үшін энергетикалық және минералды ресурстарды тұтынудың сөзсіз өсуі оларды өндіру көлемінің және алу тереңдігінің ұлғаюымен, сондай-ақ өндіру үшін жаңа аумақтарды тартумен байланысты техногендік әсер ұлғая түседі. Тау-кен және кәсіпшілік жұмыстар ауқымының өсуі, өнеркәсіптік өндірістің кеңеюі, жаңа технологиялардың енгізілуі, халық санының өсуі және қалдықтардың әртүрлі түрлерінің тиісті ұлғаюы техногенез процесінің дамуын көрсетеді, оның салдары-



Сурет 1. Қазақстандағы соңғы он жылдағы мұнай өндіру динамикасы.

Figure 1. Dynamics of oil production in Kazakhstan over the past ten years.

Рис. 1. Динамика добычи нефти в Казахстане за последние десять лет.

ның бірі техногендік сейсмиканың барлық нысандарының одан әрі күшеюі болып табылады [4].

Кен орындарындағы жер сілкіністерінің себептерінің барлығы геологиялық ортаға ұзақ уақыт техногендік әсер етумен байланысты, бұл қатты пайдалы қазбалар өндірілетін жерлерде тау жыныстарының құлауы және тау-кен соққылары, сондай-ақ мұнай-газ кен орындарын игеру кезінде өнімді горизонттардан мұнай өндіру кезіндегі техногендік жер сілкіністері. Соңғы жылдары мұнай кен орындарындағы техногендік жер сілкіну тіркелуде. Мысалы, 2015 жылы инженерлік-геологиялық ізденістер станцияларының желісі 10 сейсмикалық оқиғаны (магнитудасы – 2.8÷3.5), ал 2016 жылы – 18 оқиғаны (магнитудасы – 2.5÷3.5) тіркеген [5].

Игеріліп жатқан көмірсутек кен орындарындағы сейсмикалық жағдайлар ұзақ уақыт игеру кезінде қабаттық қысымды төмендету кезінде де, қабаттық қысымды ұстап тұру және қабаттың мұнай беруін арттыру үшін оған сұйықтықты (мұнай кен орындары үшін) айдау арқылы қабатқа қайталама әсер ету кезінде де пайда болады. Соңғы жылдарда мұнай өндіру саласындағы техногендік жер сілкіністеріне де көп көңіл бөлінуде. Кен орындарын игеруге тікелей байланысты геодинамикалық құбылыстарға жататын тектоникалық қозғалыстар көптеген мұнай-газ бассейндерінде байқалады. Мұндай күшті геодинамикалық оқиғалардың себептері бірнеше факторлар болып табылады:

1. Көмірсутектерді ұзақ уақыт қарқынды өндіру, бұл қабаттағы және оның айналасындағы кернеулік өрістің өзгеруіне әкеледі: мысалы, газ кен орындарында сейсмикалық белсенділік ертерек (2-16 жылдан кейін), ал мұнай кен орындарында кейінірек (7-30 кейін және одан да көп) дамиды.

2. Қуатты тектоникалық кернеулер, олардың девiatorлық компоненті техногендік сипаттағы кішігірім

әсерлерге де күшті реакциялармен жауап береді (сұйықтықты таңдау – айдау); көмірсутектер қоймаларының шегінде ошақтары бар техногендік сейсмикалық жер сілкінуге 3,0-3,5 аспайтын жер сілкіну магнитудасы тән [6].

3. Коллектордың, негізгі жыныстардың және тығыздағыштың физикалық-механикалық біркелкі еместігі. Мысалы, аймақтық кернеу өрісінде әртүрлі бағытталған заманауи ақаулардың болуы, сондай-ақ ығысу деформациялары бар және 5,0 балл шамасында үлкен магнитудасымен сипатталатын, бұзылулармен басқарылатын көмірсутек қабаттарынан тыс жер сілкінісі көздері болуымен сипатталады. Техногендік жер сілкіністерінің көздерінің орналасуы ығысу деформациясына бейім бұзылулармен анықталады. Кен орнын игеру басталғаннан кейін 15-20 жылдан кейін мұнай-газ кәсіпшілігі нысандарына қатысты үлкен деструктивті күшке ие жер үсті жарылыстарын жиі байқауға болады [7].

Нәтижелері және оларды талқылау

Кен орнында аспаптық бақылаулардың болмауынан өткен жылдардағы сейсмикалық оқиғалардың көрініс беру сипаты туралы ақпарат алуға мүмкіндік болмады. Бұл кен орындарының аймақтарындағы сейсмикалық белсенділік деңгейі жалпы алғанда салыстырмалы түрде тыныштықпен сипатталады, ерекше сейсмикалық көріністер белгілі емес. Алайда, бұл аймақтардың барлығы дерлік қарқындылығы 5 баллға дейінгі күшті шалғай жер сілкіністерінен зардап шекті, олардың эпицентрі көршілес сейсмикалық белсенді аймақтарда орналасқан. Оларды сейсмикалық картадағы жаңа жарықтардың пайда болуынан көруге болады. Құмкөл кен орнына жақын сейсмоқауіпті аймақтар жеткілікті, оларға Құмкөл (48), Бастарау (49), Орталық Торғай (50) және Құланды (51) т.б. жатады, бірақ олардағы жер сілкінулер магнитудасы –

2.5÷3.5 аралығында тіркелгендіктен микросілкінулерге жатады [8-9].

Игерілгеніне 35 жылдан асқан кен орнында үздіксіз мұнай өндіру 1990 жылдан бері жүргізіліп келді. Дүние жүзінде көптеген кен орындарында 40-70 жыл бойы игеру кезінде рельефтің 2,3-тен 8,8 м-ге дейін айтарлықтай төмендеуі байқалған. Дегенмен кей авторлар [10] бұл қауіпті емес, игерілгеніне 100 жылдан асқан Атырау және 50 жылдан асқан Манғыстау мұнай кен орындарында апатты жер сілкіністері тіркелген жоқ, қазіргі уақытта мұнай және газ кен орындарын игеру мен техногендік сейсмикалық арасындағы өзара байланыстың болуын біржақты растауға немесе жоққа шығаруға болмайды деп дәлелдейді.

1997 жылдан бастап Теңіз, Қарашығанақ, Жаңажол, Кеңкияқ және Құмкөлде қазақстандық сейсмологтар аспаптық сейсмологиялық бақылауларды бастады. Сейсмологиялық мониторинг нәтижесінде геодинамикалық және геомеханикалық процестерге үздіксіз жедел бақылау қамтамасыз етіледі, бұл болуы мүмкін табиғи және техногендік апаттардың жағымсыз салдарын болдырмау бойынша дер кезінде шаралар қабылдауға кең мүмкіндік-

тер ашады. 2003 жылдан бастап сигналдарды жүйелі түрде анықтау және өңдеу, геофизикалық зерттеу институты деректер орталығында сейсмикалық бюллетеньдер құрастыру басталды. Қазақстан Республикасы Сейсмология институты деректеріне сәйкес, республикадағы сейсмобитсияны тек батыстың үш мұнай кен орнында: Кеңкияқ, Жаңажол, Құмкөлде бақылайды. Қалған ірі Өзен, Теңіз, Қарашығанақ кен орындарының арнайы сейсмикалық мониторинг жүйесі жолға қойылған [11].

Қорытынды

Тұтастай алғанда, Қазақстанның кең аумағындағы мұнай-газ кен орындарындағы сейсмикалық бақылаулардың стационарлық желісі бойынша магнитуда 3,0 – 3,5-ті құрайды, дегенмен уақыт ұзара келе, мұнай-газ кен орындарындағы жер сілкіну амплитудасының өсу ықтималдығы болуы мүмкін. 2010 жылғы ТЖД мәліметінше, Құмкөл кен орнында магнитудасы 5 балл болатын жер сілкінісі тіркелген. Осыған орай мұнай-газ кен орындарында сондай-ақ басқа да қауіпті аймақтарда жоғары сезімтал станцияларды орналастыра отырып, мониторингтің арнайы желілерін ұйымдастыру қажет.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Кузьмин Ю.О. Мұнай және газ кен орындарындағы индукцияланған сейсмикалық процестер. // Жер қойнауын пайдалану мәселелері. – 2019. – № 4. – Б. 9-17 (орыс тілінде)
2. Абдрахманов С., Ермуханова Н.Б. Тіршілік әрекетінің қауіпсіздігі. // – Астана: Фолиант, 2015. – Б. 192 (қазақ тілінде)
3. Клаудия Шимшаль, Гидо Гирсе. Геотермиялық жобаларды талдауға арналған заманауи сейсмикалық деректер. // Геотермиялық дерексіз диапазон. Том 2. – 2023 (неміс тілінде)
4. Джузеппе Карло Марино, Марко Мартини Россо. Жер сілкінісіне байланысты инженерлік салалардағы генеративті қарсыласу желілеріне шолу. // Жер сілкінісіне төзімді инженерия. – 2023 (ағылшын тілінде)
5. Соколова И.Н., Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Полешко Н.Н. Қазақстан аумағындағы техногенді сейсмика. // Хабаршы ҰЯО ҚР. – 2017. – Бас 2. – Б. 47–58 (орыс тілінде)
6. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенді сейсмика – индукцияланған және триггерлі. // М.: РГА ГДИ, – 2015. – Б. 364 (орыс тілінде)
7. Ганбарли З. А. Мұнай және газ кен орындарын игеру кезіндегі техногендік жер сілкінісі. // Жастардың шығармашылығы-табысты болашаққа қадам : профессор Коровин М. К. атындағы ғылыми мектептің элементтері бар VIII бүкілресейлік ғылыми студенттік конференция материалдары. – Томск, 2015. – Б. 390-393 (орыс тілінде)
8. Қазақстан Республикасының жалпы сейсмикалық аудандастыру картасы. Масштаб: 1: 5000000. – 2010. // Қазақстан Республикасының Ұлттық атласы. 1 Том: табиғи жағдайлар мен ресурстар. – Алматы, 2010. – С. 150 (орыс тілінде)
9. Ананьин И.В. Сейсмикалық және шығыс еуропалық платформа және оған іргелес аудандарда жер сілкінісінің көріну заңдылықтары. // Дисс рефераты. . доктор . физ.-мат. ғылыми баяндама нысанында. – 1990. – Б. 66 (орыс тілінде)
10. Чагай В.Г. Жер сілкінісі және мұнай және газ кен орындарын игеру. Геология, мұнай мен газды игеру, бұрғылау, өндіру, экология, оқыту және біліктілікті арттыру // Еңбектер жинағы. Басылым 1. – Ақтау, 2014. – Б. 12-13 (орыс тілінде)
11. Вэйчжэнь Цуй, Син Сю, Чжэнпэн Хоу, Фэн Чжан, Фусин Лю. Сейсмикалық реакцияны талдау негізінде мұнай сақтайтын резервуардың сейсмикалық сипаттамаларын зерттеу. // Азаматтық құрылыс саласындағы жетістіктер: құрылымдардың жер сілкінісіне төзімділігі, мониторинг және анықтау. – 2022 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Kuzmin Yu.O. Industsirovannyye sejsmicheskie protsessy na mestorozhdeniyah nefi i gaza. // Problemy nedropol'zovaniya . – 2019. – № 4. – P.9-17 (in Russian)

2. *Abdrakhmanov S., Ermukhanova N. Tirshilik areketinin kauipsizdigi. // – Astana: Faliant, 2015. – P. 192 (in Kazakh)*
3. *Claudia Schimschal, Guido Gierse. Moderne seismische Datenbearbeitung zur Erfüllung der Anforderungen von Geothermieprojekten. // GeoTHERM Abstract-Band. Band 2. – 2023 (in Deutsch)*
4. *Giuseppe Carlo Marano, Marco Martino Rosso. Generative adversarial networks review in earthquake-related engineering fields. // S.I.: AI, S and BDA in earthquake engineering. – 2023 (in English)*
5. *Sokolova I.N., Mikhajlova N.N., Velikanov A.E., Poleshenko N.N. Tekhnogennaya sejsmika na territorii Kazakhstana. // Herald NYATS RK. – 2017. – Vypusk 2. – P. 47-58 (in Russian)*
6. *Adushkin V.V., Turuntaev S.B. Tekhnogennaya sejsmichnost – indutsirovannaya i trigger'naya. // M.: IDG RAN, – 2015. – P. 364 (in Russian)*
7. *Ganbarli Z. A. Tekhnogennye zemletryaseniya pri razrabotke neftnyan'kh i gazovykh mestorozhdenij. // Youth creativity is a step into a successful future: materials of the VIII All-Russian Scientific Student Conference with elements of the scientific school named after Professor M. K. Korovin. – Tomsk, 2015. – P. 390-393 (in Russian)*
8. *Map of the general seismic zoning of the Republic of Kazakhstan. Scale: 1: 5000000. – 2010. // National Atlas of the Republic of Kazakhstan. Volume 1: Natural conditions and resources. – Almaty, 2010. – P. 150 (in Russian)*
9. *Anan'in I.V. Zakonomernosti proyavleniya zemletryasenij na sejsmicheskoy i vostochnoevropejskoj platforme i pril'gayushchej k nej // avtoreferat diss. . doctor . fiz.-mat. V forme nauchnogo doklada. – 1990. – P. 66 (in Russian)*
10. *Chagaj V.G. Zemlyatresenie i razrabotka neftnyan'kh i gazovykh mestorozhdenij. Geologiya, razrabotka nefti i gaza, burenie, dobycha, ekologiya, obuchenie i povyshenie kvalifikatsii // collection of works. Publication 1. – Aktau, 2014. – P. 12-13 (in Russian)*
11. *By Weizhen Cui, Xingyu Xu, Zhengpeng Hou, Feng Zhang, Fuxing Liu. Study on seismic performance of oil storage tank based on seismic response analysis. // Advances in Civil Engineering: Structural Seismic Resistance, Monitoring and Detection. – 2022 (in English)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Кузьмин Ю.О. Индуцированные сейсмические процессы на месторождениях нефти и газа. // Проблемы недропользования. – 2019. – № 4. – С.9-17 (на русском языке)*
2. *Абдрахманов С., Ермуханова Н. Безопасность жизнедеятельности. // – Астана: Фолиант, 2015. – С. 192 (на казахском языке)*
3. *Клаудия Шимшал, Гвидо Гирсе. Современные сейсмические данные для анализа геотермических проектов. // Геотермический абстрактный диапазон. Том 2. – 2023 (на немецком языке)*
4. *Джузеппе Карло Марано, Марко Мартино Россо. Обзор генеративных состязательных сетей в инженерных областях, связанных с землетрясениями. // Сейсмостойкая инженерия. – 2023 (на английском языке)*
5. *Соколова И.Н., Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Полешко Н.Н. Техногенная сейсмика на территории Казахстана. // Вестник НЯЦ РК. – 2017. – Выпуск 2. – С. 47–58 (на русском языке)*
6. *Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенная сейсмичность – индуцированная и триггерная. // М.: ИДГ РАН, – 2015. – С. 364 (на русском языке)*
7. *Ганбарли З. А. Техногенные землетрясения при разработке нефтяных и газовых месторождений. // Творчество молодежи – шаг в успешное будущее: материалы VIII Всероссийской научной студенческой конференции с элементами научной школы имени профессора Коровина М. К. – Томск, 2015. – С. 390-393 (на русском языке)*
8. *Карта общего сейсмического районирования Республики Казахстан. Масштаб: 1: 5000000. – 2010. // Национальный атлас Республики Казахстан. Том 1: природные условия и ресурсы. – Алматы, 2010. – С. 150 (на русском языке)*
9. *Ананьин И.В. Закономерности проявления землетрясений на сейсмической и восточноевропейской платформе и прилегающих к ней районах // автореферат дисс. доктор. физ.-мат. в форме научного доклада. – 1990. – С. 66 (на русском языке)*
10. *Чагай В.Г. Землетрясение и разработка нефтяных и газовых месторождений. Геология, разработка нефти и газа, бурение, добыча, экология, обучение и повышение квалификации // сборник трудов. Издание 1. – Актау, 2014. – С. 12-13 (на русском языке)*
11. *Вэйчжэнь Цуй, Синью Сюй, Чжэньпэн Хоу, Фэн Чжан, Фусин Лю. Исследование сейсмических характеристик резервуара для хранения нефти на основе анализа сейсмического отклика. // Достижения в области гражданского строительства: сейсмостойкость конструкций, мониторинг и обнаружение. – 2022 (на английском языке)*

Авторлар туралы мәліметтер:

Ермуханова Н.Б., PhD доктор, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университетінің, «Электр энергетикасы, техносфералық қауіпсіздік және экология» кафедрасының аға оқытушысы (Қызылорда қ., Қазақстан), nurzhamal77@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5748-3731>

Арыстанбек А.Б., Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университетінің, «Электр энергетикасы, техносфералық қауіпсіздік және экология» кафедрасының оқытушысы (Қызылорда қ., Қазақстан), a.akbota80@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1450-443X>

Төлеген А.Е., Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университетінің, «Электр энергетикасы, техносфералық қауіпсіздік және экология» кафедрасының оқытушысы (Қызылорда қ., Қазақстан), aiym-tolegen@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1610-7104>

Абилова А.К., Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, «Электр энергетикасы, техносфералық қауіпсіздік және экология» кафедрасының магистранты (Қызылорда қ., Қазақстан), aidauren_zko.96@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4230-1800>

Information about the authors:

Ermukhanova N.B., PhD, Senior Lecturer of the Department «Electric Power Engineering, Technosphere Safety and Ecology», Korkyt Ata Kyzylorda University (Kyzylorda, Kazakhstan)

Arystanbek A.B., Lecturer of the Department «Electric Power Engineering, Technosphere Safety and Ecology», Korkyt Ata Kyzylorda University (Kyzylorda, Kazakhstan)

Tolegen A.E., Lecturer of the Department «Electric Power Engineering, Technosphere Safety and Ecology», Korkyt Ata Kyzylorda University (Kyzylorda, Kazakhstan)

Abilova A.K., Korkyt Ata Kyzylorda University, Master's student of the Department «Electric Power Engineering, Technosphere Safety and Ecology» (Kyzylorda, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Ермуханова Н.Б., доктор PhD, старший преподаватель Кызылординского университета имени Коркыт Ата, кафедра «Электроэнергетика, техносферная безопасность и экология» (г. Кызылорда, Казахстан)

Арыстанбек А.Б., преподаватель кафедры «Электроэнергетика, техносферная безопасность и экология» Кызылординского университета имени Коркыт Ата (г. Кызылорда, Казахстан)

Төлеген А.Е., преподаватель кафедры «Электроэнергетика, техносферная безопасность и экология» Кызылординского университета имени Коркыт Ата (г. Кызылорда, Казахстан)

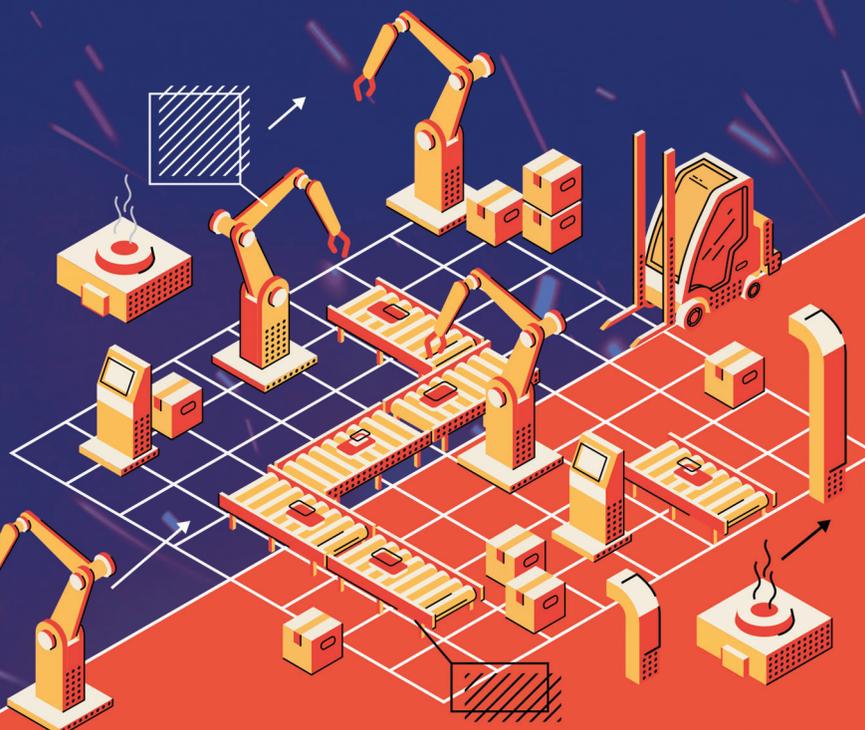
Абилова А.К., магистрант кафедры «Электроэнергетика, техносферная безопасность и экология» Кызылординского университета имени Коркыт Ата (г. Кызылорда, Казахстан)

KAZAKHSTAN
INDUSTRY WEEKKAZAKHSTAN
MACHINERY FAIRМЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИМЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ И МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ**10-12 мая 2023**Международный выставочный центр «EXPO»
г. Астана, Казахстан

promweek.kz

Организаторы:Министерство индустрии
и инфраструктурного развития
Республики Казахстан

AEXKS

Контакты:Выставочная компания
«Астана-Экспо КС»
+7 (7172) 64 23 23

Код МРНТИ 52.45.25

*А. Доберсек, А. Кирнарский, А. Райш

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

СГУЩЕНИЕ ХВОСТОВОЙ ПУЛЬПЫ НА ЮЖНОМ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОМ КОМБИНАТЕ

Аннотация. Приведен гранулометрический состав хвостов обогащения компании ЮГОК и исходные характеристики хвостовой пульпы. Изложена методика и приборное оформление лабораторных и пилотных исследований сгущения хвостовой пульпы в скоростном режиме. Описан состав и принцип работы технологического комплекса сгущения, а также порядок запуска в эксплуатацию комплекса сгущения хвостовой пульпы. Приведены достигнутые технические показатели сгустителя HRT-62. В работе по запуску и наладке комплекса приняли участие профильные специалисты (инженеры-механики, системотехники, гидротехники, электрики комбината ЮГОК и ряда зарубежных фирм). Представлены результаты приемочных испытаний и комплексного опробования комплекса сгущения на основе высокоскоростных сгустителей HRT-62, которые при работе на хвостовой пульпе ЮГОКа подтвердили проектные технологические показатели по удельной нагрузке (0,4-0,45 т/(м²·ч), уплотнению осадка до 57-63%, чистоте слива менее 150 мг/л. Комплекс сгущения обеспечивает процент водооборота на уровне 95%. Реализация данного проекта позволяет организовать внутриводный водооборот, при котором максимальное использование оборотных вод достигается сгущением хвостовой пульпы в сгустителях HRT-62 до содержания твердого 57-63% и применением осветленной воды для технологических целей.

Ключевые слова: хвостовая пульпа, сгущение, слив, сгущенный продукт, водооборот, гранулометрический состав, содержание твердого.

Оңтүстік тау-кен байыту комбинатында құйрық целлюлозасын қоюлату

Аннотация. ОТКБК компаниясының байыту құйрықтарының гранулометриялық құрамы және құйрық целлюлозасының бастапқы сипаттамалары келтірілген. Құйрық целлюлозасын жылдамдық режимінде қоюлатудың зертханалық және пилоттық зерттеулерінің әдістемесі мен аспаптық дизайны көрсетілген. Қоюландырудың технологиялық кешенінің құрамы мен жұмыс принципі, сондай-ақ құйрық целлюлозасын қоюландыру кешенін пайдалануға беру тәртібі сипатталған. HR-62 қоюландырығышының қол жеткізілген техникалық көрсеткіштері келтірілген. Кешенді іске қосу және баптау жұмыстарына бейінді мамандар (инженер-механиктер, жүйелік техниктер, гидротехниктер, ОТКБК комбинатының электрліктері және бірқатар шетелдік фирмалар) қатысты. Кабылдау сынақтарының нәтижелері және HRT-62 жоғары жылдамдықты Қоюландырығыштар негізінде қоюландыру кешенін кешенді сынау ұсынылды, олар ОТКБК-ның құйрық целлюлозасында жұмыс істеген кезде меншікті жүктеме (0,4-0,45 т/(м²·сағ), тұнбаны 57-63% дейін тығыздау, ағызу тазалығы 150 мг/л-ден аз жобалық технологиялық көрсеткіштерді растады. қоюландыру кешені су айналымының пайызын 95% деңгейінде қамтамасыз етеді. Бұл жобаны іске асыру зауытшілік су айналымын ұйымдастыруға мүмкіндік береді, бұл ретте айналымдағы суларды барынша пайдалануға HRT-62 қоюлатқыштарындағы құйрық целлюлозасын қатты 57-63%-ға дейін қоюлату және технологиялық мақсаттар үшін тазартылған суды қолдану арқылы қол жеткізіледі.

Түйінді сөздер: құйрық целлюлозасы, қоюлану, ағызу, қоюландырылған өнім, су айналымы, гранулометриялық құрамы, қатты құрамы.

Thickening of tail pulp at the southern mining and processing plant

Annotation. The granulometric composition of the tailings of the SM&PP enrichment company and the initial characteristics of the tail pulp are given. The methodology and instrumentation design of laboratory and pilot studies of tail pulp thickening in high-speed mode are described. The composition and principle of operation of the technological thickening complex, as well as the procedure for commissioning the tail pulp thickening complex, are described. The achieved technical indicators of the HRT-62 thickener are given. Specialized specialists (mechanical engineers, system engineers, hydraulic engineers, electricians of the SM&PP combine and a number of foreign companies) took part in the work on the launch and commissioning of the complex. The results of acceptance tests and complex testing of the thickening complex based on HRT-62 high-speed thickeners, which, when working on the tail pulp of the tank, confirmed the design technological indicators for specific load (0.4-0.45 t/(m²·h), sediment compaction up to 57-63%, drain purity less than 150 mg/l, are presented. The condensation complex provides a percentage of water turnover at the level of 95%. The implementation of this project makes it possible to organize an intra-factory water circulation, in which the maximum use of circulating water is achieved by thickening the tail pulp in HRT-62 thickeners to a solid content of 57-63% and using clarified water for technological purposes.

Keywords: tail pulp, thickening, draining, condensed product, water circulation, granulometric composition, solid content.

Введение

Южный горно-обогатительный комбинат первым среди горно-обогатительных комбинатов Кривбасса разработал, построил и запустил в эксплуатацию комплекс сгущения хвостовой пульпы (рис.1). Такой проект не имеет аналогов в Украине. Его реализация позволяет сократить объем шламов, складываемых в хвостохранилище, в 10 раз, а потребление электроэнергии – до 40%.

Проектную документацию предоставил государственный институт «УкрНИИводоканалпроект». Генеральный технолог проекта – фирма Engineering Dobersek GmbH. Генеральный строительный подрядчик «СУ-7». Комплекс сгущения рассчитан на обработку 500 млн. м³ исходной хвостовой пульпы или 22,55 млн. т хвостов в годовом измерении и включает три высокоскоростных сгустителя HRT-62, коробку распределения хвостов (КРХ), объединенную пульпонасосную станцию (ОПНС), центробежные насосы: для откачки сгущенного продукта из под сгустителей типа 14/12 FY АН WRT и дальнейшей его подачи на хвостохранилище типа 20/18 НР-АНР, арматура, пульпопроводы, силовое электрооборудование, приборы контроля и автоматизации технологических процессов.

1. Вещественный состав хвостов обогащения

Результаты ситового анализа хвостов ЮГОКа приведены в таблице 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав хвостов ЮГОКа

Кесте 1

ОТКБК құйрықтарының гранулометриялық құрамы

Table 1

Granulometric composition of the tailings of the fungus SM&PP

Класс крупности, мм	Выход классов, %	Класс крупности, мм	Выход классов, %
1,0-3,0	0,6	0,05-0,07	5,4
0,5-1,0	2,2	0,02-0,05	28,8
0,2-0,5	9,3	0,002-0,02	37,8
0,1-0,2	5,2	0,001-0,002	3,44
0,07-0,1	5,9	0,000-0,001	1,36
		Итого	100,00



Рис.1. Комплекс сгущения хвостовой пульпы на ЮГОКа.
Сурет 1. Оңтүстіктегі каудальды целлюлозаны қоюландыру кешені ОТКБК-да.
Fig. 1. Tail pulp thickening complex in SM&PP.

Плотность твердой фазы хвостовой пульпы определялась пикнометрическим методом и составила 2950 кг/м³. Содержание твердого определялось методом выпаривания и равнялось 4,0-5,0%. Химический состав твердой фазы хвостовой пульпы представлен в таблице 2.

Таблица 2

Химический состав твердой фазы хвостовой пульпы ЮГОКа

Кесте 2

ОТКБК -ның құйрық целлюлозасының қатты фазасының химиялық құрамы

Table 2

Chemical composition of the solid phase of the tail pulp of SM&PP

Компоненты	Содержание, %
Fe _{общ}	12,1-13,5
SiO ₂	64,2-60,7
CaO	2,6-3,7
MgO	4,8-5,6
Al ₂ O ₃	0,6-1,4
P	0,06-0,09
S	0,11-0,3
потери при прокаливании	9,5-11,8

2. Лабораторные и пилотные исследования сгущения хвостовой пульпы

На первом этапе проводились статические исследования на предмет определения скорости осаждения хвостов по методу Коу Клевенджера в стеклянных цилиндрах вместимостью 1000 мл. Седиментационные опыты проводились в «чистом виде» при естественной скорости осаждения частиц без добавления флокулянтов и в режиме ускоренного сгущения при добавлении флокулянтов типа Магнафлок MF 10, MF 1011, MF 336, MF 338. Содержание твердого в исходной хвостовой пульпе составляло 5,0%, а концентрация рабочего раствора – 0,005%. Расход флокулянтов изменялся в пределах от 20 до 30 г/т, оптимальный расход – 25 г/т. Наиболее эффективным по результатам испытаний оказался флокулянт MF 1011, который был рекомендован для промышленного употребления при условии подтверждения данных лабораторных исследований на пилотной установке непосредственно на хвостовой пульпе ЮГОКа. Полупромышленные испытания сгущаемости хвостовой пульпы на пилотной установке проведены в мае 2014 года на натурной пробе хвостов обогатителя ЮГОКа. Пилотная установка высокопроизводительного сгустителя включает стакан диаметром 94 мм с конусным дефлектором, валом с граблинами и редукторным электродвигателем. Хвостовая пульпа подавалась из хвостового трубопровода в усреднительную промежуточную емкость, оборудованную мешалкой, откуда посредством шлангового насоса пульпа перекачивалась в питающий стакан.

Скорость питающего насоса составляла 40 об/мин., что соответствует средней подаче по исходному продукту – 998-1011 мл/мин. Рабочий раствор флокулянта подавался дозировочным насосом в питающий трубопровод до попадания материала в питающий стакан. 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 состоянии. 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 хвостовой пульпы на пилотной установке использовался флокулянт Магнафлок М 1011 при удельном расходе 25-30 г/т. Удельная нагрузка составила 0,44-0,45 т/(м²·час), при этом содержание твердого в сливе составляло 150 мг/л, а в сгущенном продукте 60%. Скорость восходящего потока равнялась 8,7 м/ч.

В процессе высокоскоростного сгущения наблюдали резкое расслоение исходной пульпы на осветленный слой и уплотненный осадок при незначительном промежуточном слое, при этом содержание твердого в сгущенном продукте колебалось в пределах от 60 до 78,45%. Заданное техническим заданием значение содержания твердого равно 40%. Таким образом, технологически оказались в положении «шпагат». С одной стороны, согласно ТЗ на хвостохранилище должна подаваться пульпа с содержанием твердого 40%, с другой стороны, по условиям высокоскоростного сгущения этот параметр составляет более 60%. Создание рыхлой постели с размытой границей разделения технологически возможно, но в этом случае необходимо считаться с сокращением высоты осветленного слоя и увеличением вероятности загрязнения сливного продукта сгустителя выше установленной нормы (менее 150 мг/л). Вместе со специалистами ЮГОКа пришли к заключению, что наиболее оптимальный режим работы сгустителя при номинальном содержании твердого 60% необходимо оставить без изменений, а требуемое его уплотнение при подаче на хвостохранилище поддерживаем за счет разбавления сгущенного продукта сгустителя исходной пульпой в промежуточной емкости перед объединенной пульпонасосной станцией, при этом достигается высокая эффективность работы сгустителя, сокращается объемная нагрузка на сгуститель и снижается расход флокулянта.

3. Состав и принцип работы технологического комплекса сгущения

Полученные результаты исследований стали основой не только для расчета и выбора сгустителя, но и для разработки технологии сгущения в целом. Заданными считались такие параметры, как производительность комплекса сгущения по твердому – 2709,9 т/ч и по пульпе – 59738,7 м³/ч, содержание твердого в питании сгустителя – 4,62% и в сливе – менее 150 мг/л, в сгущенном продукте сгустителя – 60% и в сгущенной пульпе, перекачиваемой насосами на хвостохранилище – 40%.

Выбран был высокоскоростной сгуститель HRT-62 с центральным приводом с гидравлическим двигателем, управляемым гидронасосом. Конструктивно, на входе сгустителя предусмотрен центральный привод SR310-4, снабженный планетарным редуктором и гидравлическим двигателем, а на выходе – шестеренчатый редуктор с двойным подшипником. Сгустители были изготовлены фирмой Tepova, три станции приготовления и дозирования флокулянта PD 10000C поставлены фирмой P&P Dosiertechnik, а центробежные шламовые насосы группы Warman (10 шт.) производства фирмы WEIR Minerals. Технические характеристики сгустителя HRT-62 (рис. 2) приведены в таблице 3.

Таблица 3
Технические характеристики сгустителя HRT-62

Кесте 3
HRT-62 қоюландыргышының техникалық сипаттамалары

Table 3
Technical characteristics of the HRT-62 thickener

Характеристики	Размерность	Численное значение
Производительность, максимальная:		
- по твердому	т/ч	1366
- по пульпе	м ³ /ч	28 800
Площадь осаждения	м ²	3017,5
Диаметр чана	м	62
Высота стенки	м	3,5
Удельная нагрузка	т/(м ² ·ч)	0,45
Скорость восходящего потока	м/ч	8,7
Частота вращения граблин	об/мин	0,045
Высота подъема граблин	мм	600
Крутящий момент:		
- номинальный	кН·м	1200
- максимальный	кН·м	4000
- подъема граблин	кН·м	2600
Мощность электроприводов	кВт	45 +7,5
Температура окружающей среды	°С	от -30 ... до +35
Вместимость сгустителя	м ³	15 000
Масса сгустителя с чаном	т	600
Габаритные размеры:		
- длина	мм	64 000
- высота	мм	12 860
Количество сгустителей	шт.	3



Рис. 2. Высокоскоростной сгуститель HRT-62 на ЮГОКа.

Сурет 2. ОТКБК-ның HRT-62 жоғары жылдамдықты қоюландырғыш.

Fig. 2. HRT-62 high-speed thickener on SM&PP.

Исходная хвостовая пульпа с содержанием твердого 3-5% насосами подается в коробку распределения хвостов (КРХ), из которой по питающим пульповодам диаметром 1200 мм она распределяется по трем сгустителям HRT-62. На питающих пульповодах предусмотрены плотномеры и расходомеры. После намыва постели включают центробежные насосы 14/12 FY АН WRT и откачивают сгущенный до 60% нижний продукт сгустителей в промежуточную смешительную емкость вместимостью 400 м³, куда одновременно по пульповоду диаметром 800 мм из КРХ самотеком истекает исходная пульпа, при этом ее количество жестко увязано с требуемой плотностью пульпы, подаваемой на хвостохранилище (1360 кг/м³ или 40% по содержанию твердого) и подачи насосов 20/18 НР-АНР, номинальное значение которой составляет 4972 м³/ч. Для обеспечения требуемого напора на каждой магистральной линии установлены два последовательно соединенных насоса 20/18 НР-АНР. Приводные двигатели указанных насосов оборудованы частотными преобразователями. Диаметр магистральных пульповодов составляет 800 мм, а длина – 5000 м при ближней подаче и 10000 м – при дальней подаче сгущенной пульпы.

По показаниям плотномеров, установленных на пульповодах, автоматически регулируется объем исходной хвостовой пульпы, поступающей из КРХ в смешительную емкость объединенной пульпонасосной станции (ОПНС) и подача насосов 14/12 FY АН WRT. Рабочий режим работы комплекса сгущения – автоматический, для чего специалистами фирмы Engineering Dobersek GmbH разработана и внедрена программа автоматического управления технологией сгущения хвостовой пульпы ЮГОКа.

4. Запуск в эксплуатацию комплекса сгущения хвостовой пульпы

В период с 28 июня по 18 декабря 2020 года были проведены работы по шефмонтажу, наладке и запуску в эксплуатацию комплекса сгущения ЮГОКа с участием профиль-

ных специалистов (инженеров-механиков, системотехников, гидротехников, технологов, электриков) комбината и фирм Engineering Dobersek GmbH, Tenova Delkor, WEIR Minerals, Grundfos, ЭЛАКС, P&P Dosiertechnik, Arenal и Rockwell Automation. По завершению шефмонтажа и наладки оборудования в сентябре-октябре 2020 года был произведен пробный запуск сгустителей в режиме «сухого и мокрого холостого хода». Затем были подготовлены и запущены в эксплуатацию три станции приготовления и дозирования флокулянта (СПДФ). Флокулянт анионоактивный Магнафлок MF 1011 представлял собой сыпучий порошок из тонкозернистых гранул, не слипшихся и не загрязненных посторонними материалами. Флокулянт пневмотранспортом загружался в приемный бункер в автоматическом режиме и разбавлялся до базовой концентрации 0,5% питьевой водой. При удельном расходе флокулянта 25 г/т и нагрузке по сухим хвостам 2709,9 т/ч объем воды для первичного разбавления флокулянта составлял 13,5 м³/ч или 6,75 м³/ч на одну станцию СПДФ при двух работающих станциях. 30 октября была отобрана и отправлена в химическую лабораторию проба воды для проведения химического анализа, результаты которого приведены в таблице 4.

Таблица 4

Химический состав воды для первичного растворения флокулянта

Кесте 4

Флокулянтты бастапқы ерітуге арналған судың химиялық құрамы

Table 4

Chemical composition of water for primary dissolution of flocculant

Параметры и компоненты	Размерность	Численное значение
рН		8,16
Жесткость воды общая	ммоль/л	6,53
Сухой остаток	мг/л	1816
Хлориды	мг/л	48,61
Сульфаты	мг/л	58,02
Нитраты	мг/л	0,61
Нитриты	мг/л	< 0,03
Фосфаты	мг/л	0,107
Азот аммонийный	мг/л	< 0,1
Железо	мг/л	0,18

После созревания базового раствора в промежуточной емкости в течение 1 часа он разбавлялся до рабочей 0,05-й концентрации, для чего требовалось 121,33 м³ оборотной воды, в качестве которой использовался слив сгустителей с содержанием твердого менее 150 г/л. В декабре комплекс сгущения хвостовой пульпы прошел 72-часовые приемочные испытания. Хвостовая пульпа в объеме

42-50 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ при содержании твердого 3-5% подавалась из обогатительных фабрик ЮГОКа на КРХ и далее на два сгустителя HRT-62, в которые одновременно подавали рабочий раствор флокулянта, при этом слив сливался в желоба и далее в коллекторы и по лоткам самотеком поступал в оборотный цикл обогатительного производства, а сгущенный продукт накапливался в нижней части до образования постели, намыв которой продолжался в течение 8 часов и по достижении заданного уплотнения (57-63%) включали центробежные насосы 14/12 FY АН WRT, которые откачивали сгущенный продукт в смесительную емкость ОПНС, где он разбавлялся исходной пульпой до заданной плотности ($1360 \text{ кг}/\text{м}^3$), регистрируемой плотномером на магистральном пульпопроводе, и двумя последовательно соединенными насосами 20/18 НР-АНР подавали на хвостохранилище. При длительном прекращении подачи на сгуститель на работающих граблинах

наблюдали переуплотнение осадка до пастообразного состояния, при котором отобранная проба теряла текучесть. Содержание твердого в таком сгущенном продукте достигало более 70%. В нормальном, стабильном режиме эксплуатации сгустителя скопление и переуплотнения осадка в конической части не наблюдалось. Мутномеры показывали содержание твердого в сливе не более $150 \text{ мг}/\text{л}$. Показания мутномеров проверяли путем отбора контрольных проб, которые отправляли в химическую лабораторию. Содержание твердого в нижней части сгустителя определяли при помощи плотномеров на трубопроводах сгущенного продукта, а также периодическим отбором проб при помощи пробоотборников, встроенных в конической части сгустителей и на всасе насосов 14/12 FY АН WRT. Пробы отбирались технологами фирмы Engineering Dobersek GmbH в присутствии специалистов ЮГОКа. Достигнутые технологические показатели сгустителя HRT-62 сведены в таблицу 5.

Таблица 5

Технологические показатели сгустителя HRT-62

Кесте 5

HRT-62 қойландыргышының технологиялық көрсеткіштері

Table 5

Technological parameters of the HRT-62 thickener

Технологические характеристики	Размерность	Значение
1	2	3
Производительность, по пульпе	$\text{м}^3/\text{ч}$	25 000-28 800
Производительность, по твердому	$\text{т}/\text{ч}$	1186-1366
Гидравлическая нагрузка	$\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	8,28-9,54
Удельная нагрузка, по твердому	$\text{т}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	0,40-0,45
Удельная площадь осаждения	$(\text{м}^2 \cdot \text{ч})/\text{т}$	2,2-2,5
Скорость восходящего потока	$\text{м}/\text{ч}$	8,3-9,1
Содержание твердого в исходной хвостовой пульпе	%	3-5
Плотность твердой фазы хвостовой пульпы	$\text{кг}/\text{м}^3$	2950
Содержание твердого в сгущенном продукте, по массе	%	57-63
Содержание твердого в сгущенном продукте, по объему	%	29,4-36,6
Чистота слива сгустителей	$\text{мг}/\text{л}$	< 150
Удельный расход флокулянта	$\text{г}/\text{т}$	25-30
Тип применяемого флокулянта	Магнафлок	M 1011
Содержание класса – 0,04 мм в хвостах	%	64-73
Количество сгустителей в эксплуатации	шт.	2 – в работе 1 – в резерве

Выводы

1. Высокоскоростные сгустители HRT-62 при работе на хвостовой пульпе ЮГОКа подтвердили проектные показатели по удельной нагрузке ($0,4-0,45 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$), уплотнению осадка до 57-63%, чистоте слива менее $150 \text{ мг}/\text{л}$.

2. Подача хвостовой пульпы на комплекс сгущения составляла 42-50 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$. Содержание твердого в питании сгустителей – 3-5%. Удельный расход флокулянта Магнафлок 1011 составлял 25-30 $\text{г}/\text{т}$.

3. Комплекс сгущения обеспечивает процент водооборота на уровне 95%. Реализация данного проекта позволяет организовать внутрифабричный водооборот, при котором максимальное использование оборотных

вод достигается сгущением хвостовой пульпы в сгустителях HRT-62 до содержания твердого 60% и применением осветленной воды для технологических целей.

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), [info\(at\)dobersek.com](mailto:info(at)dobersek.com)

Кирнарский А.С., техника ғылымдарының докторы, «ENGINEERING DOBERSEK GmbH» компаниясында минералды қайта өңдеу жобаларының ғылыми жетекшісі (Менхенгладбах қ., Германия), anatoliy.kirnarskiy@ed-mg.de

Райш А.И., «ENGINEERING DOBERSEK GmbH» компаниясында жоба менеджері (Менхенгладбах қ., Германия), alexander.raisch@ed-mg.de

Information about the authors:

Dobersek A., PhD, President of ENGINEERING DOBERSEK GmbH (Mönchengladbach, Germany), [info\(at\)dobersek.com](mailto:info(at)dobersek.com)

Kirnarsky A.S., Doctor of Technical Sciences, Scientific Director of Mineral Processing Projects, ENGINEERING DOBERSEK GmbH, (Mönchengladbach, Germany), anatoliy.kirnarskiy@ed-mg.de

Raisch A.I., Project Manager, ENGINEERING DOBERSEK GmbH, (Mönchengladbach, Germany), alexander.raisch@ed-mg.de



16+

Металлообработка. Сварка – Урал

12–15 марта 2024
Екатеринбург

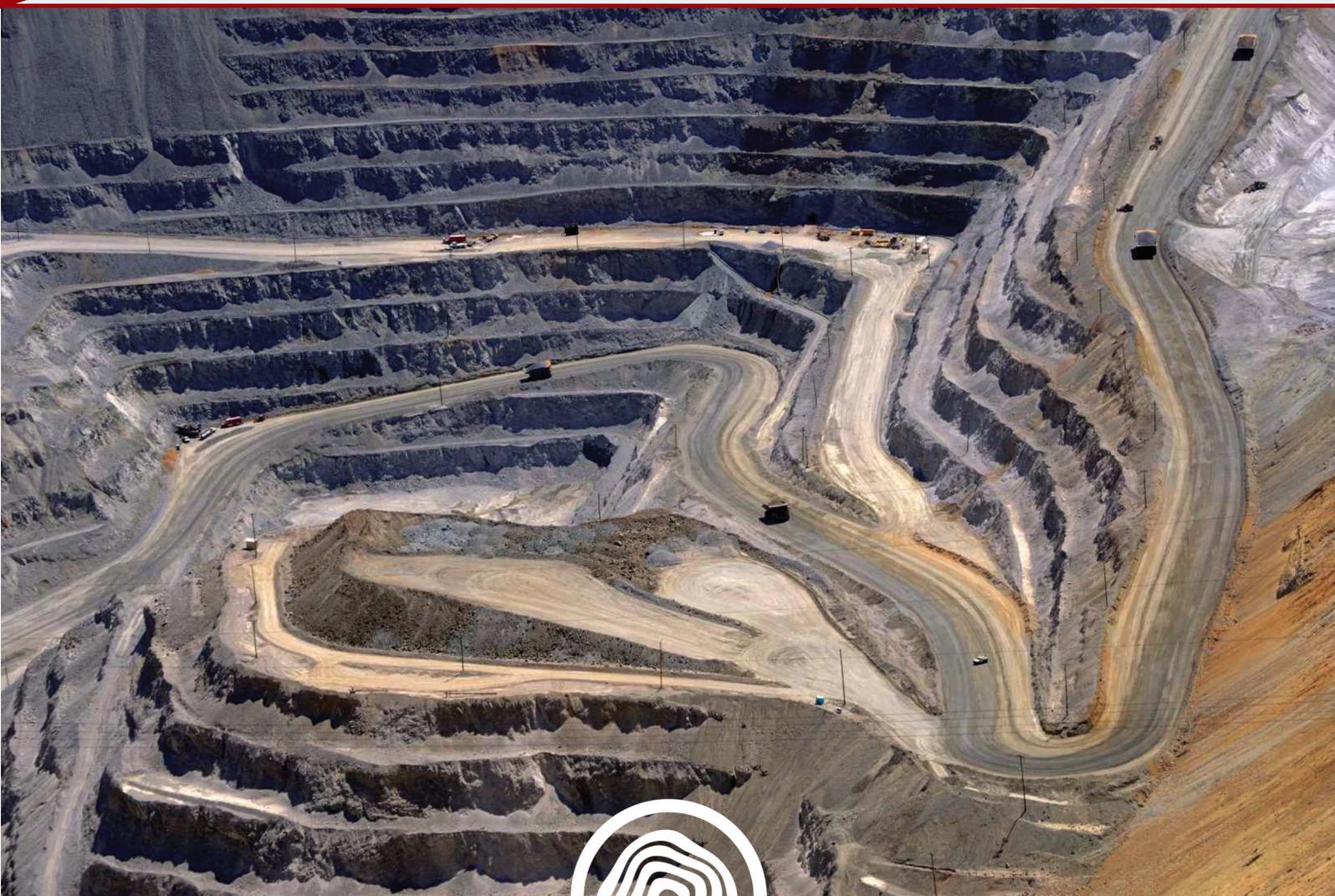
международная выставка технологий,
оборудования, материалов для машиностроения,
металлообрабатывающей промышленности
и сварочного производства

крупнейший
специализированный
региональный проект в России



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





AMM CONGRESS

1-2 июня 2023

Астана, Казахстан

ФОРУМ • ВЫСТАВКА • ЦЕРЕМОНИЯ НАГРАЖДЕНИЯ «ЗОЛОТОЙ ГЕФЕСТ»
+7 727 258 34 34

 [amm.kz](https://t.me/amm.kz)

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

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

Код МРНТИ 53.81.29

*T.A. Chepushtanova¹, D. Maratuly¹, K.K. Mamyrbayeva,¹ M. Brajendra²
¹Satbayev University (Almaty, Kazakhstan),
²Worcester Polytechnic Institute (Worcester, AKШ)

THE STUDYING OF PYRITE AND ARSENOPYRITE SPECIFIC SURFACE AND POROSITY AT ROASTING CONDITION

Abstract. The paper presents the results of studying the modification of the specific surface area and porosity of pyrite and arsenopyrite during their thermal decomposition. It has been established that the decomposition of pyrite and arsenopyrite is accompanied by an increase in the pore volume from $0.303 \cdot 10^{-3}$ to $1.23 \cdot 10^{-3}$ with an increase in the degree of pyrite decomposition by about 41%, and then a decrease by about $0.131 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{g}$, at a degree of decomposition of about 100%. The surface area of the pores increases from 0.31 to $1.085 \text{ m}^2/\text{g}$ with a subsequent decrease due to the coarsening and merging of small pores. An increase in porosity is accompanied by an increase in the aerodynamic resistance of particles resulting from increased dust formation of the furnace.

Keywords: pyrite, arsenopyrite, sulfur, surface area, porosity, thermal decomposition, degree of decomposition, furnace reaction zone.

Пирит пен арсенопириттің меншікті беті мен кеуектілігін зерттеу

Аннотация. Мақалада пирит пен арсенопириттің термиялық ыдырауындағы меншікті бетінің өзгеруі мен кеуектілігін зерттеу нәтижелері келтірілген. Пирит пен арсенопириттің ыдырауы кеуек көлемінің $0,303 \cdot 10^{-3}$ -тен $1,23 \cdot 10^{-3}$ -ке дейін ұлғаюымен, пириттің ыдырау дәрежесінің шамамен 41% жоғарылауымен, содан кейін ыдырау дәрежесі шамамен $0,131 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{г}$ төмендеуімен бірге жүретіні анықталды. Шамамен 100%. Кеуектердің беткі қабаты $0,31$ -ден $1,085 \text{ м}^2/\text{г}$ -ға дейін артады, содан кейін ұсақ кеуектердің кеңеюі мен бірігуіне байланысты төмендейді. Кеуектіліктің жоғарылауы пештің шанының жоғарылауы нәтижесінде пайда болатын бөлшектердің жел жылдамдығының жоғарылауымен, пирит пен арсенопириттің бөлшектерін пештің реакциялық аймағынан ауа ағынымен ішінара ыдыратуымен бірге жүреді.

Түйінді сөздер: пирит, арсенопирит, күкірт, меншікті бет, кеуектілік, термиялық ыдырау, ыдырау дәрежесі, пештің реакциялық аймағы.

Исследование удельной поверхности и пористости пирита и арсенопирита

Аннотация. В статье приведены результаты изучения модификации удельной поверхности и пористости пирита и арсенопирита при их термическом разложении. Установлено, что разложение пирита и арсенопирита сопровождается увеличением объема пор с $0,303 \cdot 10^{-3}$ до $1,23 \cdot 10^{-3}$ при увеличении степени разложения пирита примерно на 41%, а затем уменьшением примерно на $0,131 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{г}$ при степени разложения около 100%. Площадь поверхности пор увеличивается с 0,31 до $1,085 \text{ м}^2/\text{г}$ с последующим снижением за счет укрупнения и слияния мелких пор. Повышение пористости сопровождается увеличением аэродинамического сопротивления частиц, возникающим в результате повышенного пылеобразования печи.

Ключевые слова: пирит, арсенопирит, сера, удельная поверхность, пористость, термическое разложение, степень разложения, реакционная зона печи.

Introduction

The mining industry is experiencing difficulties associated with an increase in demand for metals. Discovery rates are slowing, grades are declining, and undeveloped deposits tend to be complex, presenting us with unique environmental and technological challenges. Careful study of deposits and the use of acquired knowledge in the field of metal recovery is a key aspect of the successful implementation of new mining projects and extending the life of old ones. The prospect of processing arsenopyrite ores is to extract gold, but the problem lies in the refractory of such ores, and often even in double refractory, the study of the structure of arsenopyrite, specific surface, porosity will make it possible to more accurately determine the conditions for the technological opening of gold [1].

Gold that is adsorbed onto the surface of other minerals during primary ore formation, oxidation, and/or processing is generally referred to as surface-bound gold. It is this kind of gold that is often found in pyrite-arsenopyrite ores. [2] In refractory ores, the gold is strongly isolated from the cyanide solution, and some oxidative pre-treatment is necessary to open it, this may be roasting, oxidation (biological or autoclave) or ultrafine grinding followed by oxidative leaching to make the ores suitable for cyanidation.

Thus, it is relevant to study the structure of arsenopyrite, specific surface area and porosity for the subsequent technological opening of gold.

As a result of ore base exhaustion of ferrous and nonferrous metallurgy at metallurgical treatment are involving more complicated and less qualitative ores. Magnetizing ores content considerable quantity of pyrite complicate the technology

of iron extraction. At the same time the pyrite concentrates processing at dressing content different nonferrous metals in industrial quantities [3-4].

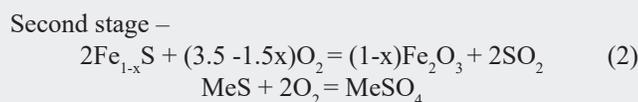
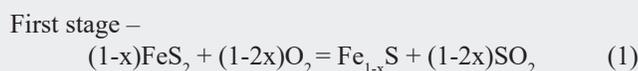
Extracting ores of nonferrous metals are contenting considerable quantity of arsenic at the present time. Extraction of base metals from complicated raw materials demands new technologies. Arsenic contenting in ores is necessary to utilize (waste burial) in more ecological compatible form. Arsenic on acting metallurgical and chemical enterprises from technological cycle is withdrawing in the form of arsenate – arsenite cakes, burial of their may lead to seriously ecological problems as times goes by.

It was carried out the cycle of researching by pyrite, arsenopyrite and arsenate – arsenite cakes treatment with the object of arsenic withdrawal in sulfide form – in more ecological and safe form and with the object of preparation of initial ore raw materials to following pyro- and hydrometallurgical treatment [5]. As a result of sulfidizing of arsenate – arsenite cakes by pyrite are forming the volatile arsenic forms and pyrrhotite of variable structure.

The experience of one-stage sulfatizing roast carrying out of pyrite concentrates in fluidized bed furnaces is show that more higher results by sulfurizing (the degree of cobalt sulfatizing – till 75%) achieve at carrying out of process in furnaces with return cyclone.

The positive influence on return cyclone degree of sulfatizing may be explain by that underdecomposed substances of higher sulfides return on roast from cyclone the time of sulfatizing at that is increase. This circumstance is increase the duration of process and decrease the productivity of roast.

We propose to conduct roasting in two stages: pyrrhotizing roasting in the atmosphere with limited oxygen quantity at the first stage and oxidizing-sulfatizing roasting of pyrrhotizing cinder at the second stage according to the next equations:



Using two-stage process of roasting of pyrite concentrates instead of one-stage roasting allows to decrease by 40 % the necessity heart of the furnaces, to increase the efficiency of use of blast oxygen, to decrease more than twice the quantity of the flush acid, to improve labor conditions and to stabilize the technological parameters of the process.

The pilot scale testing of the technology of oxidizing-sulphatizing roasting of pyrite-cobalt concentrates from Sokolovsk-Sarybai Integrated Industrial Plant gave extraction into solution of 90.0% (2).

On the basis of the results of laboratory and pilot scale tests of the two-stage roasting technology (pyrrhotizing-sulphatizing) and their comparison with the results of the one stage sulphatizing we give recommendations on improving the two stages process of sulphatizing roasting of pyrite concentrates with the aim of increasing cobalt and nickel sulphatization degree with simultaneous decrease of iron sulphatization, increase of roasting efficiency, increase of the oxygen blast utilization coefficient, increase of sulfur dioxide and decrease of sulfur trioxide in the escaping gases, etc [6-7].

Raw materials with strictly limited arsenic content are used in smelting processes. Direct hydrometallurgical processing of raw materials with high arsenic content is used in a limited number of cases. Forecasting of the roasting process parameters is possible from the study of behavior of arsenic-bearing materials under high temperatures. The behavior of arsenopyrite under roasting is of theoretical and practical interest. The mechanism of pyrite and arsenopyrite decomposition at their thermal treatment has an influence on properties and behavior.

The research has shown that during the pyrite roasting in the autogenous mode with limited oxygen content in the gaseous phase the quantity of the sulfide anhydride and elemental sulfur formed in course of the reaction depends on the blast oxygen content (1). Presence in the roasting gaseous phase of high concentrations of sulfur dioxide and elemental sulfur will influence the mechanism of arsenopyrite roasting and the composition of the products formed under roasting.

Behavior of roasted arsenopyrite was studied by many authors. In [8] it was determined that arsenopyrite begins to dissociate at 550°C and at 700-900°C the process goes on with high velocity. Two stages of the process are observed: first arsenic vapor and high sulfur pyrrhotite are formed, and then the high pyrrhotite changes into low sulfur pyrrhotite and troilite. Thermodynamic analyses has shown that under thermal processing of arsenopyrite in the presence of pyrite and limited quantities of oxygen in the gaseous phase forma-

tion of arsenic sulfides is possible according to the following reactions:



The process of arsenopyrite thermal treatment in faintly oxidizing atmosphere also accomplish by arsenic isolation to gas phase with pyrrhotites of variable structure forming, contenting some quantity of arsenic [9-11].

The arsenopyrite dissociation velocity depends on the grain size of the initial material. It is established that the velocity of arsenopyrite dissociation process limited by diffusion factor. In the presence of pyrite the arsenopyrite dissociates at lower temperatures and with higher velocities.

In this work introduce the results of studying of pyrite and arsenopyrite specific surface modification and porosity at their thermal decomposition at depends of decomposition degree [12].

Initial materials

The structure of arsenopyrite %: iron – 34.8, arsenic – 44.3, sulfur 20.5 and monomineral pyrite (99.05% pyrite), taking from industrial iron-magnetite ore, contenting 53.9% of iron and 45.25% sulfur.

Methods and equipment

The decomposition of initial materials was realized in fixed layer in alumina tube. We studied the initial materials influence of decomposition degree on specific surface and porosity of cinders. The different decomposition degree was provided by variation of temperature from 650 until 850° C, and duration from 15 until 60 minutes.

Initial materials and decomposition products analyzed by chemical and X-ray methods, carried out electron – microscopic researching and defined their specific surface and porosity.

The electron – microscopic researching were carried out on electron scanning microscope JEOL M – 25 S3.

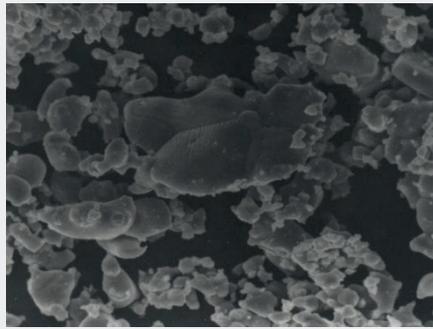
Electron – microscopic researching show that surface of initial pyrite is too much developing. Were defined the pores, splits in pyrite grains (figures a, b).

At the beginning of pyrite decomposition is observing the increasing of particles porosity, their some loosening making increasing their specific surface. At the end of decomposition the quantity of pores are decrease, the separate pores interflow, the size of pores increase and surface of materials smoothing (c, d). Reaction descends from surface to depth of particle. The form of initial particles are not change, the considerable particle destruction is absent.

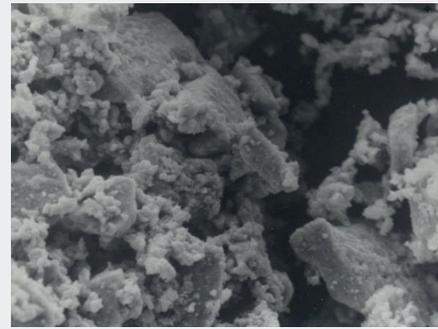
Photomicrographs of forming pyrrhotites at pyrite decomposition show the forming of layer-like structure (fig. 1c), this mechanism of appearance such structure demand additional studying. The results of pyrrhotites samples show that solution is occur anisotropically by layer in acids.

Electron-microscopic studying of arsenopyrite and products of arsenopyrite decomposition show that at arsenopyrite decomposition is forming the friable, porous structure with very developing surface. The decipitation of arsenopyrite grains is absent, geometrical sizes and particles form is differ slightly.

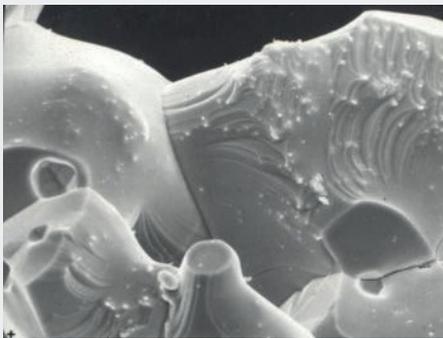
Specific surface and porosity were defined by BET methods by quantity of adsorbing nitrogen at his boiling-point.



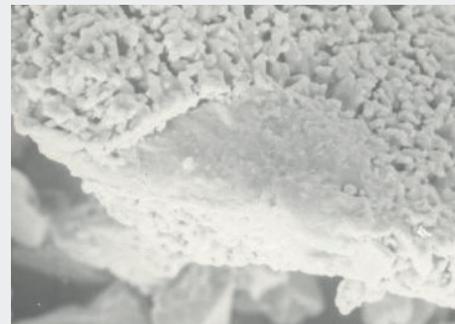
a) x300



b) x1000



c) x1500

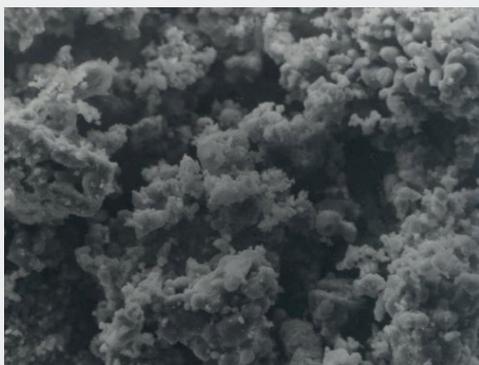


d) x1500

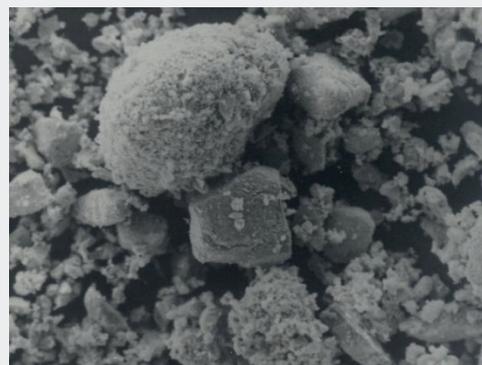
Figure 1. Electron photomicrography of initial pyrite and products of pyrite decomposition: a – initial pyrite concentrate; b – products of pyrite decomposition on 50%; c, d – products of pyrite decomposition on 95%.

Сурет 1. Бастапқы пирит пен оның ыдырау өнімдерінің электронды фотомикрографиясы: а – пириттің бастапқы концентраты; б – пириттің 50-ге ыдырау өнімдері %; с, д – пириттің 95-ке ыдырау өнімдері %.

Рис. 1. Электронная фотомикрография исходного пирита и продуктов его разложения: а – исходный концентрат пирита; б – продукты разложения пирита на 50%; с, д – продукты разложения пирита на 95%.



a) x200



b) x4500

Figure 2. Electron photomicrography of initial arsenopyrite and products of arsenopyrite decomposition: a – initial arsenopyrite; b – products of arsenopyrite decomposition on 97%.

Сурет 2. Бастапқы арсенопирит пен арсенопириттің ыдырау өнімдерінің электронды фотомикрографиясы: а – бастапқы арсенопирит; б – арсенопириттің 97-ге ыдырау өнімдері %.

Рис. 2. Электронная фотомикрография исходного арсенопирита и продуктов разложения арсенопирита: а – исходный арсенопирит; б – продукты разложения арсенопирита на 97%.

BET (Brunauer – Emmett – Taylor) analysis – analysis of measurement of the specific surface of dispersed materials by the method of low-temperature gas adsorption.

Specific surface was defined by following equations (5, 6):

$$S = \frac{X}{M} \cdot N \cdot A_N \cdot 10^{-20} \quad (5)$$

where: S – specific surface of sample, m^2/g ;

X – mass of nitrogen monomolecular layer, adsorbing 1 g of sample;

M – nitrogen molecular weight, $M = 28$ g;

N – number of molecules in gram-mole, $N = 6,023 \cdot 10^{23}$ molecules/mole;

A_N – area, engaging by one adsorbing nitrogen molecule $10^{-23} m^2/molecule$.

$$A_N = 1,091 \left(\frac{M}{\rho N} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot 10^{16} m^2/molecule, \quad (6)$$

ρ – nitrogen density; $\rho = 0,80925$ g/sm³;

$A_N = 16,2 \cdot 10^{-20} m^2/molecule$.

If we should substitute the getting expressions in initial equation we get the equation for calculation of specific surface:

$$S = \frac{X}{M} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \cdot 16,2 \cdot 10^{-20} = \frac{1}{(m+1) \cdot M} \cdot 9,75726 \cdot 10^4 \quad (7)$$

Results and discussion

The studying of modification of pyrite and arsenopyrite specific surface and porosity at their thermal decomposition.

Were studied the pyrite decomposed in nitrogen atmosphere at 823, 873, 923 and 973 K, decomposition degree was equal 20,1, 41,0, 85,8 and 100% accordingly, and arsenopyrite was decomposed at 823, 873, 923 and 973 K, decomposition degree was equal – 19,1, 35,0, 84,8 and 97,0%. The calculation of adsorbing nitrogen weight was made according with B.E.T. (Brunauer – Emmett – Taylor) method.

Table 1

Specific surface (S_{ss}) and porosity products of pyrite decomposition in nitrogen atmosphere

Кесте 1

Азот атмосферасындагы пириттің ыдырау өнімдерінің меншікті беті (S_{ss}) және кеуектілігі

Таблица 1

Удельная поверхность (S_{ss}) и пористость продуктов разложения пирита в атмосфере азота

T, K	Decomposition degree, %	S_{ss} , m^2/g	Pore radius, 10^{-10} m	Void space, sm^3/g	Pores surface area, m^2/g	Pore distribution, %	Total Pores surface, m^2/g
823	20.1	0.79	More 84.067	0.0503	0.0162	5.60	0.0162
			57.911-84.067	0.0768	0.0578	19.90	0.074
			38.239-57.911	0.0649	0.076	34.60	0.11405
			19.229-38.239	0.065	0.0806	48.0	0.21935
873	41.0	1.7	More 84.067	0.0372	0.12	5.1	0.012
			57.911-84.067	0.2345	0.0317	13.6	0.0437
			38.239-57.911	0.158	0.401	36.9	0.829
			19.229-38.239	0.2392	0.256	23.7	1.085
923	85.8	1.57	More 84.067	0.4725	0.152	14.0	0.152
			57.911-84.067	0.3660	0.276	25.4	0.428
			38.239-57.911	0.104	0.1218	24.6	0.2602
			19.229-38.239	0.145	0.2549	47.4	0.4951
973	100	1.20	More 84.067	0.1010	0.0325	6.6	0.0325
			57.911-84.067	0.1404	0.1059	21.4	0.1384
			38.239-57.911	0.0776	0.0908	24.1	0.1515
			19.229-38.239	0.1313	0.2253	58.8	0.3768

The results of studying specific surface and porosity show (table 1), that the initial pyrite concentrate has very developing surface this confirmed by the results of electron-microscopic researching.

With the increasing of decomposition degree the void space is increasing from $0.303 \cdot 10^{-3}$ to $1.23 \cdot 10^{-3}$ at increasing of pyrite degree decomposition about 41% and then decrease about $0.131 \cdot 10^{-3} m^3/g$ at degree of decomposition near 100%. The sur-

face area of pores increase from 0.31 to 1.085 m^2/g with following lowering due to 0.18-0.138 m^2/g , specific surface increased at the beginning from 1.088 to 1.7 m^2/g , and decrease to 0.488.

As development of dissociation process is occur the desulphurization that lead to confluence of separate micropores, forming of large pores, decreasing of specific surface. Electron-microscopic researching are confirming such modification of pyrite particles in decomposition process. Thus,

modification of pyrite porosity and specific surface at decomposition will be influence on velocity of gaseous sulfur removal forming as a result of process.

Further are introduced the results of researching specific surface and porosity products of arsenopyrite decomposition in nitrogen atmosphere (table 2).

Table 2
Specific surface (S_{ss}) and porosity products of arsenopyrite decomposition in nitrogen atmosphere

Азот атмосферасындағы арсенипириттің ыдырау өнімдерінің меншікті беті (S_{ss}) және кеуектілігі
Кесте 2
Удельная поверхность (S_{ss}) и пористость продуктов разложения арсенипирита в атмосфере азота
Таблица 2

T, K	Decomposition degree, %	S _{ss} , m ² /g	Pore radius, 10 ⁻¹⁰ m	Void space, sm ³ /g	Pores surface area, m ² /g	Pore distribution, %	Total Pores surface, m ² /g
823	19.1	0.85	More 84.07	0.0061	0.00201	0.5	0.00201
			57.91-84.07	0.0786	0.06912	13.3	0.7113
			38.24-57.91	0.1181	0.1317	29.7	0.60283
			19.23-8.24	0.140	0.2509	56.5	0.45373
873	35.0	1.89	More 84.07	0.2463	0.0776	7.3	0.0776
			57.91-84.07	0.1428	0.1068	10.0	0.1844
			38.24-57.91	0.2897	0.373	35.0	0.5574
			19.23-8.24	0.231	0.5079	47.7	1.0653
923	84.8	1.23	More 84.07	0.2372	0.0758	12.6	0.0758
			57.91-84.07	0.1406	0.1062	16.6	0.1820
			38.24-57.91	0.1276	0.1430	23.7	0.3250
			19.23-8.24	0.163	0.2783	46.1	0.6033
973	97.0	1.13	More 84.07	0.2483	0.0787	15.5	0.0787
			57.91-84.07	0.1534	0.1166	12.9	0.1947
			38.24-57.91	0.1483	1.0854	34.9	0.371
			19.23-8.24	0.0831	0.1346	26.7	0.5056

The results show that (table 2) as a developing of arsenopyrite thermal dissociation process specific surface and porosity of products of arsenopyrite decomposition is increasing at first (also windage) and at the end of decomposition are decreasing. At the degree of decomposition near 100% pores surface area increasing from 0.1166 until 1.0854 m²/g with following decreasing due to enlargement and confluence of minor pores.

From the beginning of process are forming many minor pores which for the end of decomposition enlarge. The increasing of windage partially decomposed pyrite and arsenopyrite particles could lead to their higher emission with dust obviously.

At sulfatizing roast of sulfide concentrates observe dust emission of underdecomposed pyrite particles possessing heightened windage which could be located by dust extractors. At the return of locating dust on roast from return cyclone pyrite decomposition degree increase and their windage diminish. Dust particles returning from return cyclone partially not rush out and follow to sulfatizing roast in full capacity.

Conclusion

Thus, was established that pyrite and arsenopyrite decomposition accomplish by increasing of porosity and specific surface at increasing of pyrite decomposition degree until 40-45% at following decomposition the specific surface and porosity are decreasing – occur enlargement and confluence of minor pores this also confirm by results of microscopic analysis. The increasing of porosity accomplishes by increasing of particle windage and this is lead to heightened dust emission partially decomposed pyrite and arsenopyrite particles by air stream from furnaces reaction zone. This is explaining heightened content of sulfide sulfur in roast dusts of sulfide concentrates.

Simultaneous modification of pyrite and arsenopyrite specific surface and porosity show that for more full arsenic sulfidizing of arsenopyrite the process more effectively realize in continuous conditions at constant receipt of elemental sulfur to reaction zone.

Acknowledgements

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan №AP15473200.

REFERENCES

1. Langmuir I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum // *Journal of the American Chemical Society*. 1918. V. 40, N 9. P. 1361-1403 (in English)
2. Karnauxov A.P. Adsorbtsiya. Tekstura dispersnyx i poristyx materialov. Novosibirsk: Nauka. Sib. predpriyatie RAN, 1999. 470 s. (in Russian)
3. Vyacheslavov A.S., Yefremova M.E. Opredelenie ploshchadi poverxnosti i poristosti materialov metodom sorbtsii gazov: metodicheskaya razrabotka. M.: MGU, 2011. 65 s. (in Russian)
4. Li, M., Chen, J., Lin, X., Li, X., Yan, J. The effect of extracellular polymeric substances (EPS) of iron-oxidizing bacteria (*Ochrobactrum EEELCW01*) on mineral transformation and arsenic (As) fate. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 130, PP. 187-196. 2023 (in English)
5. Zhao C., Yao, J. Knudsen, T.Š. Cao, Y., Liu, B. Performance and mechanisms for Cd(II) and As(III) simultaneous adsorption by goethite-loaded montmorillonite in aqueous solution and soil. *Journal of Environmental Management*, 330, 117163. 2023 (in English)
6. Song, H., Liang, W., Luo, K., Zhang, W., Peng, C. Simultaneous stabilization of Pb, Cd and As in soil by rhamnolipid coated sulfidated nano zero-valent iron: Effects and mechanisms. *Journal of Hazardous Materials*, 443, 130259. 2023 (in English)
7. Gomes, T., Da Rosa, R., Cargnin, M., Da Rosa Rabelo, N., Angioletto, E. Pyrite roasting in modified fluidized bed: Experimental and modeling analysis. *Chemical Engineering Science*, 261, 117977. 2022 (in English)
8. Su, M., Liu, H., Zhang, C., Liu, C., Pei, Y. H₂O₂ mediated oxidation mechanism of pyrite (0 0 1) surface in the presence of oxygen and water. *Applied Surface Science*, 617, 156568. 2023 (in English)
9. Feng, F., Qu, C., Tang, J., Xiao, R., Tang, C.-J. Quantification of enhanced nitrogen removal pathways of pyrite interaction with Anammox sludge system. *Chemical Engineering Journal*, 459, 141519. 2023 (in English)
10. Sasmaz, A., Didem Kilic, A., Akgul, B., Sasmaz, B. A spectral approach on mineralogy and geochemistry of garnet skarns in Arc-Type granitoids. *Spectrochimica Acta – Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 286, 122037. 2023 (in English)
11. Chu, Y., Liu, W., Tan, Q., Wu, Z., He, F. Vertical-flow constructed wetland based on pyrite intensification: Mixotrophic denitrification performance and mechanism. *Bioresource Technology*, 347, 126710. 2022 (in English)
12. Yao, Y., Hu, H., Yin, H., Qiu, Y., Wang, S. Pyrite-embedded porous carbon nanocatalysts assembled in polyvinylidene difluoride membrane for organic pollutant oxidation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 608, PP. 2942-2954. 2022 (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Лангмюр I. Әйнектің, слюданың және платинаның жазық беттеріндегі газдардың адсорбциясы // *Американдық химия қоғамының журналы*. 1918. – Б. 40, Н 9. – Б. 1361-1403 (ағылшын тілінде)
2. Карнаузов А.П. Адсорбция. Дисперсті және кеуекті материалдардың құрылымы. Новосибирск: Ғылым. Сиб. кәсіпорын РАН, 1999. – Б. 470 (орыс тілінде)
3. Вячеславов А.С., Ефремова М.Е. Газ сорбциясы арқылы материалдардың бетінің ауданы мен кеуектілігін анықтау: әдістемелік өңдеу. М.: МГУ, 2011. – Б. 65 (орыс тілінде)
4. Ли, М., Чен, Дж., Лин, Х., Ли, Х., Ян, Дж. Темір тотықтырғыш бактериялардың (*Ochrobactrum EEELCW01*) жасушадан тыс полимерлі заттардың (EPS) минералды трансформацияға және мышьякқа (As) әсері тағдыр. *Journal of Environmental Sciences (Қытай)*, 130, – Б. 187-196. 2023 (ағылшын тілінде)
5. Чжао, Ц., Яо, Дж., Кнудсен, Т.Ш., Цао, Ю., Лю, Б. Судағы гетитпен жүктелген монтмориллонит арқылы Cd(II) және As(III) бір мезгілде адсорбциялаудың өнімділігі мен механизмдері. ерітінді және топырақ. *Қоршаған ортаны басқару журналы*, 330, 117163. 2023 (ағылшын тілінде)
6. Сонг, Н., Линг, В., Луо, К., Джанг, W., Пенг, С. Pb, Cd және As топырақтағы рамнолипидпен қапталған сульфидтелген нано валентті темір арқылы бір мезгілде тұрақтандыру: әсерлері мен механизмдері. *Қауіпті материалдар журналы*, 443, 130259. 2023 (ағылшын тілінде)
7. Гомес, Т., Да Роза, Р., Каргнин, М., Да Роза Рабело, Н., Ангиолетто, Э. Пиритті түрлендірілген қабатта қуыру: Эксперименттік және модельдеу талдауы. *Химиялық инженерия ғылымы*, 261, 117977. 2022 (ағылшын тілінде)
8. Су, М., Лю, Х., Чжан, С., Лю, С., Пэй, Ю. Оттегі мен судың қатысуымен пирит (0 0 1) бетінің H₂O₂ тотығу механизмі. *Қолданбалы беттік ғылым*, 617, 156568. 2023 (ағылшын тілінде)

9. Фэн, Ф., Цю, С., Тан, Дж., Сяо, Р., Тан, С.-Дж. Анаммокс шлам жүйесімен пириттің өзара әрекеттесуінің жақсартылған азотты кетіру жолдарының сандық көрсеткіштері. «Химиялық инженерия» журналы, 459, 141519. 2023 ж. (ағылшын тілінде)
10. Сасмаз, А., Дидем Килич, А., Акгуль, Б., Сасмаз, Б. Доғалы гранитоидтардағы гранат скарндарының минералогиясы мен геохимиясына спектрлік көзқарас. *Spectrochimica Acta – A бөлігі: молекулалық және биомолекулалық спектроскопия*, 286, 122037. 2023 (ағылшын тілінде)
11. Чу, Ю., Лю, В., Тан, К., Ву З., Хэ, Ф. Колчеданды интенсификациялау негізінде тік ағынды салынған сулы-батпақты алқаптар: Миксотрофты денитрификация өнімділігі мен механизмі. *Биоресурс технологиясы*, 347, 126710. 2022 (ағылшын тілінде)
12. Яо, Ю., Ху, Х., Инь, Х., Цю, Ю., Ван, С. Органикалық ластаушы заттардың тотығуы үшін поливинилиден дифторидті мембранада жиналған пиритке енгізілген кеуекті көміртекті нанокатализаторлар. *Калойдты және интерфейс журналы Science*, 608, – Б. 2942-2954. 2022 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ленгмюр И. Адсорбция газов на плоских поверхностях стекла, слюды и платины // Журнал Американского химического общества. 1918. Т. 40, №9. – С. 1361-1403 (на английском языке)
2. Карнаухов А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов. Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1999. – С. 470 (на русском языке)
3. Вячеславов А.С., Ефремова М.Е. Определение площади поверхности и пористости материалов методом сорбции газов: методическая разработка. М.: МГУ, 2011. – С. 65 (на русском языке)
4. Ли, М., Чен, Дж., Лин, Х., Ли, Х., Ян, Дж. Влияние внеклеточных полимерных веществ (EPS) железоокисляющих бактерий (*Ochrobactrum EEELCW01*) на минеральную трансформацию и мышьякового (As) участка. *Журнал наук об окружающей среде (Китай)*, 130, –С. 187-196. 2023 (на английском языке)
5. Чжао С., Яо Дж., Кнудсен Т.Ш., Цао Ю., Лю Б. Эффективность и механизмы одновременной адсорбции Cd(II) и As(III) монтмориллонитом, содержащим гетит, в водной среде раствор и грунт. *Журнал экологического менеджмента*, 330, 117163. 2023 (на английском языке)
6. Сонг Х., Лян В., Луо К., Чжан В., Пэн С. Одновременная стабилизация Pb, Cd и As в почве сульфидированным нанонольвалентным железом, покрытым рамнолипидом: эффекты и механизмы. *Журнал опасных материалов*, 443, 130259. 2023 (на английском языке)
7. Гомес Т., Да Роса Р., Каргнин М., Да Роса Рабело Н., Анжиолетто Э. Обжиг пирита в модифицированном псевдооживленном слое: экспериментальный и модельный анализ. *Химическая инженерия*, 261, 117977. 2022 (на английском языке)
8. Си, М., Ли, Н., Zhang, С., Liu, С., Pei, Y. Опосредованный H₂O₂ механизм окисления поверхности пирита (0 0 1) в присутствии кислорода и воды. *Прикладная наука о поверхности*, 617, 156568. 2023 (на английском языке)
9. Фэн Ф., Цю С., Тан Дж., Сяо Р., Тан С.-Дж. Количественная оценка путей усиленного удаления азота при взаимодействии пирита с системой ила Анаммокс. *Журнал химической инженерии*, 459, 141519. 2023 (на английском языке)
10. Сасмаз А., Дидем Килич А., Акгуль Б., Сасмаз Б. Спектральный подход к минералогии и геохимии гранатовых скарнов в гранитоидах дугового типа. *Spectrochimica Acta – Часть А: Молекулярная и биомолекулярная спектроскопия*, 286, 122037. 2023 (на английском языке)
11. Чу, Ю., Лю, В., Тан, К., Ву З., Хе, Ф. Водно-болотные угодья, построенные с вертикальным потоком на основе интенсификации пирита: эффективность и механизм миксотрофной денитрификации. *Биоресурсные технологии*, 347, 126710. 2022 (на английском языке)
12. Яо, Ю., Ху, Х., Инь, Х., Цю, Ю., Ван, С. Пористые углеродные нанокатализаторы с включением пирита, собранные в поливинилидендифторидной мембране, для окисления органических загрязнителей. *Журнал науки о коллоидах и интерфейсах*, 608. – С. 2942-2954. 2022 (на английском языке)

Information about the authors:

Chepushtanova T.A., Head of Department, candidate of technical sciences, PhD, Associate Professor, Department of «Metallurgical Processes, Heatengineering and Technology of Special Materials», Mining and Metallurgical Institute, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), tchepushtanova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-6526-0044>

Maratuly D., Master's degree, PhD student of the Department «Metallurgical processes, heat engineering and technology of special materials», Mining and Metallurgical Institute, Satbayev University, (Almaty, Kazakhstan), d.maratuly@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-5101-7484>

Мамырбаева К.К., Ph.D., Associate Professor, «Metallurgical processes, heatengineering and technology of special materials», Mining and Metallurgical Institute, Satbayev University, (Almaty, Kazakhstan), k.mamyrbayeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-1094-5345>

Brajendra M., Professor and Director of MPI Mechanical and Materials Engineering, Worcester Polytechnic Institute (Worcester, USA), bmishra@wpi.edu; <https://orcid.org/0000-0001-7897-1817>

Авторлар туралы мәліметтер:

Чепуштанова Т.А., кафедра меңгерушісі, техника ғылымдарының кандидаты, PhD, Сәтбаев университеті, Тау-кен металлургия институты, «Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Маратулы Д., магистр, Сәтбаев университеті, Тау-кен металлургия институты, «Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар технологиясы» кафедрасының PhD докторанты, Satbayev University, (Алматы қ., Қазақстан)

Мамырбаева К.К., PhD, қауымдастырылған профессор, Сәтбаев университеті, Тау-кен металлургия институты, «Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Бражендра М., Вустер политехникалық институтының MPI механикалық және материалдар инженериясының профессоры және директоры (Вустер, АҚШ)

Сведения об авторах:

Чепуштанова Т.А., заведующая кафедрой, канд. техн. наук, PhD, ассоциированный профессор кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов», Горно-металлургический институт, Satbayev University, (г. Алматы, Казахстан)

Маратулы Д., магистр, PhD, докторант кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов», Горно-металлургический институт, Satbayev University, (г. Алматы, Казахстан)

Мамырбаева К.К., PhD, ассоциированный профессор кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов», Горно-металлургический институт, Satbayev University, (г. Алматы, Казахстан)

Бражендра М., профессор и директор MPI Машиностроение и материаловедение, Вустерский политехнический институт (г. Вустер, США)

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



13-16 июня
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты

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. Ферсмана, д.24
 Телефоны: (81555) 79567, (81555) 79268, факс: (81555) 74625



Код МРНТИ 52.39.01.:67.09.05

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

PROSPECTS FOR TECHNOGENIC WASTE PROCESSING FOR PRODUCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS

Abstract. Overview of foreign and domestic research on the utilization of various industrial wastes in the production of building products is presented, as well as some results of the works of the Mining and Metallurgical Institute of Satbayev University. Utilization of large-tonnage industrial waste, primarily from mining and metallurgical and fuel and energy complexes, into building materials is cost-effective and is aimed at solving environmental and social problems. Tailings of the processing plant of the Akzhal mine were studied as a filler for mixtures for strengthening fractured rock masses in a quarry, as well as disturbed pillars and ceilings in underground workings. Significance of the results obtained is expansion and reproduction of raw material base of building materials industry through technogenic waste processing and development of resource-saving technologies.

Key words: technogenic waste, environmental impact, environment, utilization, building materials, efficiency, environmental safety.

Құрылыс материалдарын алу үшін техногендік қалдықтарды қайта өңдеудің перспективалары

Аннотация. Құрылыс бұйымдарын өндіруде түрлі өнеркәсіптік қалдықтарды кәдеге жарату бойынша шетелдік және отандық зерттеулерге шолу жасалған, сонымен қатар Сәтбаев университетінің Тау-кен металлургия институты атқарып жатқан жұмысының нәтижелері келтірілген. Ірі көлемді өнеркәсіптік қалдықтарды, ең алдымен тау-кен металлургия және отын-энергетика кешендері қалдықтарын кәдеге жарату экономикалық тұрғыдан тиімді, сонымен қатар экологиялық және әлеуметтік проблемаларды шешуге бағытталған. Етін кері әсері және оларды қайта өңдеп, құрылыс саласында қолданудың тиімділігі баяндалған. Карьер беткейлерінің жарықшақталған тау жыныстарын нығайтатын және бұзылған жерасты қазбалары төбелері мен кентіректерін беріктейтін ертінділер алу үшін Ақжал кенішінің байыту фабрикасының қалдықтары зерттелді. Алынған нәтижелердің маңыздылығы – техногендік қалдықтарды қайта пайдалану және ресурс үнемдеуші технологияларды әзірлеу есебінен құрылыс материалдары өнеркәсібінің шикізат базасын кеңейту және молайту.

Түйінді сөздер: техногендік қалдықтар, экологиялық зардап, қоршаған орта, қайта өңдеу, кәдеге жарату, құрылыс материалдары, тиімділік, экологиялық қауіпсіздік.

Перспективы переработки техногенных отходов для получения строительных материалов

Аннотация. Представлен обзор зарубежных и отечественных исследований по утилизации различных промышленных отходов в производстве строительных изделий, а также приведены некоторые результаты работ горно-металлургического института Satbayev University. Утилизация крупнотоннажных промышленных отходов, прежде всего, горно-металлургического и топливно-энергетического комплексов в строительные материалы экономически эффективна и направлена на решение экологических и социальных проблем. Исследованы хвосты обогатительной фабрики рудника Ақжал в качестве заполнителя смесей для упрочнения трещиноватых горных массивов на карьере, а также нарушенных целиков и потолочин в подземных выработках. Значимость полученных результатов – расширение и воспроизводство сырьевой базы промышленности строительных материалов за счет переработки техногенных отходов и разработки ресурсосберегающих технологий.

Ключевые слова: техногенные отходы, экологическое воздействие, окружающая среда, переработка, утилизация, строительные материалы, эффективность, экологическая безопасность.

Introduction

In recent decades, transition to «green» economy, i.e. efficient use of natural resources and improving the well-being of citizens of Kazakhstan through economy diversification and creation of new jobs, improving living conditions for our citizens took particular significance in many countries of the world, including Kazakhstan.

On the territory of the Republic, according to the State Cadastre, in dumps, tailings and storage facilities of mining enterprises about 30 billion tons industrial waste are stored including: 72,5% – waste overburden, 25,7% – enrichment tailings, 1,8% – waste from metallurgical plants (table). With annual output of industrial waste of 1 billion tons, no more than 100 million tons are usefully consumed. The rest pollutes the environment gradually accumulating in it [1, 2].

Table 1
Concentration waste by regions of Kazakhstan

Кесте 1
Қазақстан облыстарындағы байыту фабрикаларының қалдықтары

Таблица 1
Отходы обогатительного производства по областям Казахстана

Regions	Quantity	Reserves, thousand tons	Area, km ²
Akmola	11	76834,50	12,30
Aktobe	8	30675,30	6,30
Almaty	5	47914,90	2,99
East Kazakhstan	39	887914,57	19,57
Zhambul	6	44188,93	1,58
Karaganda	37	2809342,13	89,20
Kostanay	4	611101,70	27,45
Pavlodar	2	8770,86	1,23
South Kazakhstan	5	142355,30	3,52

According to the data of the State control and supervision over natural resources, share of consumed waste in the republic is 18-20%. For example, in 2007, percentage of waste utilization was 16%, in 2008 – 18,98%, and in 2009 – 20%. However, this indicator in the recent past in the industry of the former USSR was 29%. It remains extremely low in comparison with world practice. In Western Europe (France, Germany, Italy, England), this figure is up to 58%, in North America (USA, Canada) – up to 63%, in Japan – up to 87%, China – up to 37% [3-5].

In addition, construction scale-up in Kazakhstan requires considerable amount of minerals for building materials industry. Intensification in this direction is associated with use of industrial waste instead of primary natural resources to reduce cost of building materials. Use of mining solid waste in the building materials industry is cost-effective than production of building materials based on the special extraction of mineral raw materials.

Methods

Study of technogenic waste composition was carried out using modern methods of physical and chemical research: x-ray, differential, thermal, petrographic, chemical and related equipment.

Results

Relevance of development (processing) of technogenic mineral formations is dictated by fact that they occupy vast territories, easily blown off material is source of increased environmental risk for regions of mining and metallurgical complex. Constant increase in the volumes of various types of waste generated in the mining and processing industries and their storage in storage facilities and experience of using such facilities in industry allows us to consider them as sources for obtaining secondary raw materials and building materials.

Purpose of this work, carried out by Mining and Metallurgical Institute of Satbayev University, is to consider the possibility of comprehensive use of technogenic waste in the areas of their disposal.

To determine possibility of using technogenic waste as secondary resources, it is necessary to carry out a set of the following works [6]:

1. Shooting technogenic waste for mapping and determining their actual volumes;
2. Sampling of technogenic waste to study their composition;
3. Conducting research on the samples composition to determine direction of their disposal;
4. Improvement of waste processing technologies to extract valuable components from them;
5. Technology development for obtaining effective building materials from waste rock;
6. Production of pilot batches of building materials.

Determination of actual occupied areas and waste volumes will be carried out by the Department of Mine Surveying and Geodesy (under the leadership of E.O. Orynbasarova), equipped with a complex of modern mine surveying and geodetic instruments (robotic electronic total station, 3D laser scanner, drones, aerial photography from UAVs – uncrewed aerial vehicles).

One of the enterprises where non-metallic rocks, enrichment tailings are formed and where research works is currently being carried out is Akshatau Mining and Processing Plant JSC, which receives feedstock from the Akzhal mine.

Survey results of workings at the Akzhal mine (in the quarry and underground horizons) showed that the largest number of fallouts is associated with fractured rocks, and the volume of the fallouts increases as the workings stand. Observations of workings passed through fractured rocks revealed that they are stable for a month. After two or three months, stabs up to 10-15 cm in size are formed. Stinging and falls develop within six months, the collapse of the roof occurs in the form of domes. This dramatically increases volume and labor intensity of tunneling operations, as well as the cost of fixing and repairing workings [7].

To prevent collapse of workings passed through fractured rocks, anchor bolts with metal mesh and sprayed concrete are used. However, rocks exfoliation roof of transport drift and significant rocks destruction indicates that this support does not solve problem of ensuring stability of workings and does not prevent the development of deformations. As a result, after 2-3 years of standing workings, lining is destroyed and a major overhaul is required. Therefore, effective solution of fixing and controlling geomechanical properties of rocks is of particular importance for adjacent rock mass and for underground workings passed through fractured rocks.

One of the most common hardening methods is rock cementation. Rocks cementation in quarries begins from the upper platform of the ledge, where fans of vertical and inclined wells are drilled. Cement slurry is injected into them until mass is completely saturated [8].

In this regard, main characteristics of waste from the Akzhal concentrating plant were studied, the X-ray pattern and diffraction characteristics of which are shown in fig. 1, from which it can be seen that they consist of calcite, therefore, reflections (peaks) characteristic of CaCO_3 are recorded on the X-ray pattern, with interplanar distances, d/n , Å: 3.8665; 3.3498; 3.0404; 2.8446; 2.496; 2.2847; 2.0952; 1.9127; 1.77; 1.6287; 1.60; 1.5236; 1.4393.

Chemical analysis showed that the waste rock mainly consists of, %: CaO – 54.6; CO_2 – 39.4; SO_3 – 2.0; MgO – 1.5; SiO_2 – 2.5%; $\text{Fe}[\text{S}_2]$ – about 0.18. Based on the results obtained, it can be stated that the non-metallic rock of the Akzhal deposit consists of limestone (CaCO_3) – about 95 – 97% and silica (SiO_2) – about 2.5 – 3%.

Derivatogram (fig. 2) shows only one endoeffect at 950°C, representing decomposition of CaCO_3 into CaO and CO_2 according to the equation: $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$. The weight loss reaches more than 305% of the sample weight.

Based on the results obtained, we have proposed a solution for strengthening fractured rocks containing filler, cement and process water. To reduce cost of solution as a filler, it was proposed to use tailings of concentrating plants.

Additionally, a dry superplasticizer Neolit 400, which is produced by Neochim (Russia), has a high water-reducing ability and makes it possible to reduce the water-binding ratio in systems by more than 20%. With a decrease in the water-binding ratio, the durability and density of the developed mortar increase, with a simultaneous decrease in shrinkage and creep deformations during the curing of mortars. Addi-

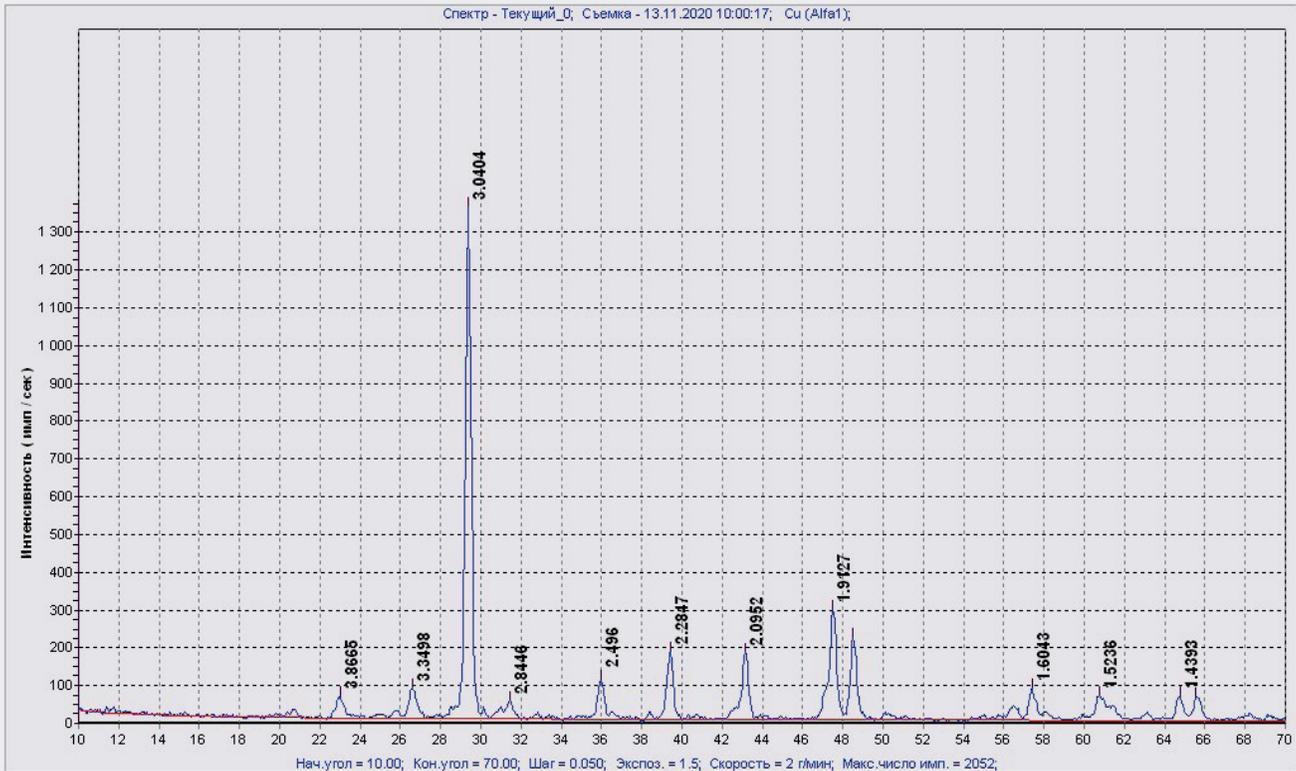


Figure 1. X-ray of Akzhal mine tailings.

Сурет 1. Ақжал кеніші байыту фабрикасы қалдықтарының рентгенограммасы.

Рис. 1. Рентгенограмма отходов обогащения рудника Акжал.

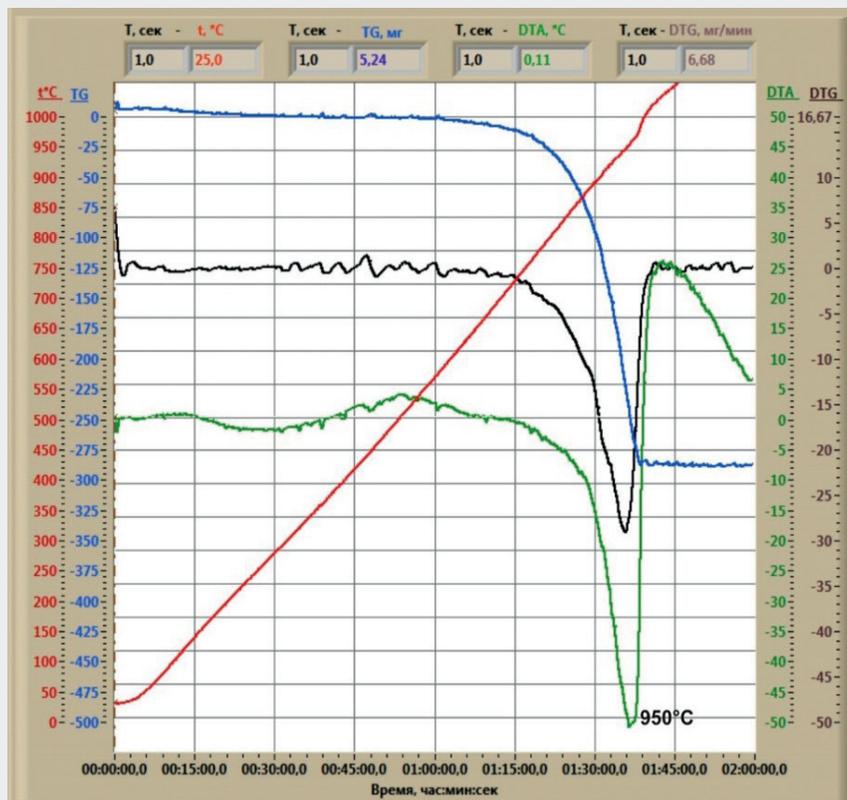


Figure 2. Derivatogram of Akzhal mine tailings.

Сурет 2. Ақжал кеніші байыту фабрикасы қалдықтарының дериватограммасы.

Рис. 2. Дериватограмма отходов обогащения рудника Акжал.

tive is well compatible with Portland cements, cement – up to 37%, tailings of processing plants – up to 52%, Superplasticizer Neolit 400-0.11-0.16 and the rest is water.

The technical novelty of created solution was confirmed by the patents of the Republic of Kazakhstan for invention [9].

Discussion

Studies analysis carried out in underground workings also showed that the highest technological and technical and economic indicators of fixing mine workings by shotcrete method are achieved due to the correctly selected composition of concrete mixture, taking into account specifics of specific mining, technical, geological and hydrogeological conditions of workings. Therefore, we are currently working on a feasibility study for use of common and recommended new composition of shotcrete mortar.

Use of waste from mining and metallurgical complexes is one of the urgent problems not only in Kazakhstan, but in all countries with developed economies. Technogenic waste processing can become promising direction for business development in Kazakhstan for production of competitive building materials and make important contribution to improving environmental situation (fig.3).

Use of secondary raw materials will reduce need for primary mineral resources, there will be no need for specialized quarries for development of clays, sands, etc. that violate natural landscape.

Technologies development for production of building materials based on technogenic waste, contributing to the development of industrial and innovative potential of the state, respect for natural resources and environment, should be considered as the most important scientific and practical task, solution of which is directly related to environmental safety in the disposal of billions of tons of waste in industrial regions [10]. Economic efficiency of waste use is determined by the fact that technogenic raw materials have already been extracted from the bowels, crushed to a finely dispersed state and laid in dumps.

Conclusion

1. Processing and utilization of MMC waste into building materials is aimed at solving environmental and social problems in regions with a developed mining and metallurgical industry.

2. Rational organization of waste processing process, combined with efficient modern equipment, makes it possible to obtain products from secondary raw materials with a cost 2-2.5 times lower than for similar products from primary raw materials, with a comparable product quality.

Acknowledgments

Study was financially supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (AP14871694).



Figure 3. Building materials produced from MMC waste.

Сурет 3. КМК қалдықтарынан шығарылатын құрылыс материалдары.

Рис. 3. Строительные материалы, выпускаемые из отходов ГМК.

REFERENCES

1. Baijanov D.O., Bek A.A. «Green» economy in building materials // *Mining Journal of Kazakhstan*: 2020, No.7. – PP. 45-48 <http://minmag.kz/ru/2021/10/05/%e2%84%967-2020/> (in Russian)
2. Information on waste management organization in the regions of the Republic of Kazakhstan.–Astana, 2019. – P.154 http://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2019/11/Informacionnyj-obzor-po-vedeniju-gosudarstvennogo-kadastra-othodov-za-2018_compressed.pdf (in Russian)
3. Melkonyan R.G. Environmental problems of mining waste disposal for glass production and construction industry. *Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia*. 2017. Vol. 3. ISSN: 2413-9858 <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2017/02/2017-No1Melkonyan.pdf> (in Russian)
4. Golik V. I., Tsidaev T. S. Methods of using tailings from processing substandard mineral raw materials. *Stroitelnye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2015. No. 12. – PP. 27-29 http://www.stroyamat21.ru/arch.php?file_=/2012-12/newtxt.htm (in Russian)
5. Lygina T.Z., Luzin V.P., Kornilov A.V., Multipurpose use of technogenic non-metallic raw materials and production of new types of products from it / *Fort Dialog-Iset, Yekaterinburg*. 2017, v.1, – PP. 67-71 ISBN: 978-5-91128-154-0 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29734811&pf=1> (in English)

6. Nurpeisova M.B., Estemesov Z.A., Bekbasarov Sh.Sh. Processing of technogenic mineral formations is a promising niche for business.// Proceedings of the Research and Production Complex dedicated to the 115th anniversary of A.Zh.Mashanov and the 100th anniversary of Zh.S. Erzhanov «Innovative technologies in geospatial digital engineering» – Almaty: KazNITU6, 2022. – PP. 191-197 (in Russian)
7. Rysbekov K.B., Nurpeisova M.B., Bek A.A. Use of enrichment waste for obtaining building materials// 4th International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources». Book of Abstracts. – Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2021, – PP. 16-19 https://elprivod.nmu.org.ua/ua/articles/Ukraine_2021_Book_of_Abstracts.pdf (in Russian)
8. Bek A. A., Yestemesov Z. A., Baidzhanov D. O., Fedotenko N. A. Effective strengthening solutions for fractured rock masses using tailings// Eurasian mining, 2022, No.1. – PP. 59-64 (Scopus Q1). Процентиль 71% (in English)
9. Utility model patent. No. 1573 RK. Composition for strengthening fractured rocks / Nurpeisova M.B., Kyrgyzbaeva G.M., Bek A.A. <https://kazpatent.kz/images/bulleten/2016/gazette/pdf/2-201608.pdf> (in Russian)
10. Kuldeev E.I., Nurpeisova M.B., Kyrgyzbaeva G.M. Subsoil development and environmental safety. – Deutschland LAP LAMBERT, 2021, 2021. – PP. 234 (in Russian)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Байджанов Д.О., Бек А.А. Құрылыс материалдарындағы «Жасыл экономика»// Қазақстанның тау-кен журналы: 2020, №.7. – Б. 45-48 <http://minmag.kz/ru/2021/10/05/%e2%84%967-2020/> (орыс тілінде)
2. Қазақстан Республикасы аймақтарында қалдықтарды басқаруды ұйымдастыру жайында мәлімет. – Астана, 2019. – Б. 154 http://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2019/11/Informacionnyj-obzor-po-vedeniju-gosudarstvennogo-kadastra-othodov-za-2018_compressed.pdf (орыс тілінде)
3. Melkonyan R.G. Шыны өндірісі мен құрылыс өнеркәсібі үшін тау-кен қалдықтарын кәдеге жаратудың экологиялық мәселелері. Ресейдің солтүстік-батысындағы ғылым мен білімнің хабаршысы. 2017. 3 том. ISSN: 2413-9858 <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2017/02/2017-No1Melkonyan.pdf> (орыс тілінде)
4. Golik V.I., Tsidaev T.S. Сапасыз минералды шикізатты өңдеу қалдықтарын пайдаланудың тәсілдері. XXI ғасырдың құрылыс материалдары, жабдықтары, технологиялары. 2015. № 12. – Б. 27–29. http://www.stroyat21.ru/arch.php?file_=/2012-12/newtxt.htm (орыс тілінде)
5. Lygina T.Z., Luzin V.P., Kornilov A.V. Техногендік металл емес шикізатты көп мақсатты пайдалану және одан жаңа өнім түрлерін өндіру / Форт Диалог-Исет, Екатеринбург. 2017, Т. 1. – Б. 67-71. ISBN: 978-5-91128-154-0 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29734811&pff=1> (ағылшын тілінде)
6. Нұрпейісова М.Б., Естемесов З.А., Бекбасаров Ш.Ш. Техногенді минералды түзілімдерді қайта өңдеу – бизнестің қайнар көзі.// «Геоақпараттық цифрлық инженериядағы инновациялық технологиялар» атты ҚР ҰҒА корр-мүшесі А.Ж. Машановтың 115 жылдығы және ҚР ҰҒА академигі Ж.С.Ержановтың 100 жылдығына арналған халықаралық ғылыми конференцияның еңбектері – Алматы: КазНІТУ, 2022. – Б.191-197 (орыс тілінде)
7. Рысбеков К.Б., Нұрпейісова М.Б., Бек А.А. Байыту қалдықтарын құрылыс материалдарын алуға пайдалану // «Ресурстарүнемдеу технологияларын инновациялық дамыту және табиғи ресурстарды тиімді пайдалану» 4-халықаралық ғылыми-техникалық конференция – Петрошани, Румыния: Университет баспасы, 2021, – Б. 16-19 (орыс тілінде) https://elprivod.nmu.org.ua/ua/articles/Ukraine_2021_Book_of_Abstracts.pdf
8. Bek A.A., Yestemesov Z.A., Baidzhanov D.O., Fedotenko N.A. Байыту фабрикасы қалдықтары негізінде жерасты қазбаларындағы жарықшақты тау жыныстары массивін беріктеудің тиімді ертінділерін жасу//Eurasian mining, 2022, No.1. – Б. 59-64 (Scopus Q1). Процентиль 71% (ағылшын тілінде)
9. Пайдалы модель патенті. №1573 РК. Жарықшақты таужыныстарын беріктеудің құрамы/ Нурпейісова М.Б., Кыргызбаева Г.М., Бек А.А. <https://kazpatent.kz/images/bulleten/2016/gazette/pdf/2-201608.pdf> (орыс тілінде)
10. Кульдеев Е.И., Нұрпейісова М.Б., Қыргызбаева Г.М. Жер қойнауын игеру және экологиялық қауіпсіздік. – Deutschland LAP LAMBERT, 2021, 2021. – Б. 234 (орыс тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Байджанов Д.О., Бек А.А. «Зеленая» экономика в строительных материалах /Горный журнал Казахстана: 2020, №.7. – С.45-48. <http://minmag.kz/ru/2021/10/05/%e2%84%967-2020/> (на русском языке)

2. *Информация об организации управления отходами в регионах Республики Казахстан. – Астана, 2019. – С.154 http://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2019/11/Informacionnyj-obzor-po-vedeniju-gosudarstvennogo-kadastra-othodov-za-2018_compressed.pdf (на русском языке)*
3. *Melkonyan R.G. Том «Экологические проблемы утилизации отходов горнодобывающей промышленности для стекольного производства и строительной промышленности». Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2017. Том 3. ISSN: 2413-9858 <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2017/02/2017-No1Melkonyan.pdf> (на русском языке)*
4. *Golik V.I., Tsidaev T.S. Способы использования хвостов переработки некачественного минерального сырья. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2015. №12. – С. 27-29. http://www.stroyat21.ru/arch.php?file_=/2012-12/newtxt.htm (на русском языке)*
5. *Lugina T.Z., Luzin V.P., Kornilov A.V. Многоцелевое использование техногенного неметаллического сырья и производство из него новых видов продукции / Форт Диалог-Исеть, Екатеринбург. 2017, т.1. – С. 67-71 ISBN: 978-5-91128-154-0 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29734811&pff=1> (на английском языке)*
6. *Нурпеисова М.Б., Естемесов З.А., Бекбасаров Ш.Ш. Переработка техногенных минеральных образований – перспективная ниша для бизнеса // Труды НПК, посвященной 115-летию А.Ж.Машанова и 100-летию Ж.С.Ержанова «Инновационные технологии в геопромышленной цифровой инженерии»-Алматы: КазНИТУ6, 2022. – С.191-197 (на русском языке)*
7. *Рысбеков К.Б., Нурпеисова М.Б., Бек А.А. Использование отходов обогащения для получения строительных материалов // 4-Международная научно-техническая конференция «Инновационное развитие ресурсосберегающих технологий и рациональное пользование природными ресурсами – Петрошани, Румыния: Издательство университета, 2021. – С. 16-19 https://elprivod.ntu.org.ua/ua/articles/Ukraine_2021_Book_of_Abstracts.pdf (на русском языке)*
8. *Bek A. A., Yestemesov Z. A., Baidzhanov D. O., Fedotenko N. A. Разработка эффективных растворов на основе хвостов обогащения для укрепления трещиноватых пород массива в подземных выработках // Eurasian mining, 2022, No.1. – С. 59-64 (Scopus Q1). Процентиль 71% (на английском языке)*
9. *Патент на полезную модель. №1573 РК. Состав для укрепления трещиноватых горных пород / Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Г.М., Бек А.А. <https://kazpatent.kz/images/bulleten/2016/gazette/pdf/2-201608.pdf> (на русском языке)*
10. *Кульдеев Е.И., Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Г.М. Освоение недр и экологическая безопасность. – Deutsschland LAP LAMBERT, 2021, 2021. С. – 234 (на русском языке)*

Information about the authors:

Kuldeyev E.I., professor, candidate of technical sciences, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), kuldeev_erzhan@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8216-679X>

Nurpeisova M.B., professor, doctor of technical sciences, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), marzhan-nurpeisova@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3956-5442>

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

Ashimova A.A., PhD student of the Department of Mining, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), ashimova.a@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2802-5459>

Авторлар туралы мәлімет:

Көлдеев Е.И., Сәтбаев университетінің Корпоративтік даму және стратегиялық жоспарлау жөніндегі проректоры, техника ғылымдарының кандидаты, профессор (Алматы қ., Қазақстан)

Нұрпейісова М.Б., техника ғылымдарының докторы, Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Бек А.А., Satbayev University Құрылыс кафедрасының оқытушысы, PhD докторант (Алматы қ., Қазақстан)

Ашимова А.А., Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Тау-кен ісі» кафедрасының PhD докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Кульдеев Е.И., канд.техн.наук, профессор, проректор по корпоративному развитию и стратегическому планированию Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Нурпеисова М.Б., д-р тех.наук, профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Горно-металлургического института им. О.А.Байконурова Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Бек А.А., PhD, докторант, преподаватель кафедры строительных материалов, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Ашимова А.А., PhD, докторант кафедры «Горное дело» Горно-металлургического института им. О.А.Байконурова Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

XVIII

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



Ufi
Approved
Event

Mining Week

KAZAKHSTAN'2023

2023
27-29
ИЮНЬ

КАРАГАНДА
КАЗАХСТАН

ТОО «TNT EXPO»

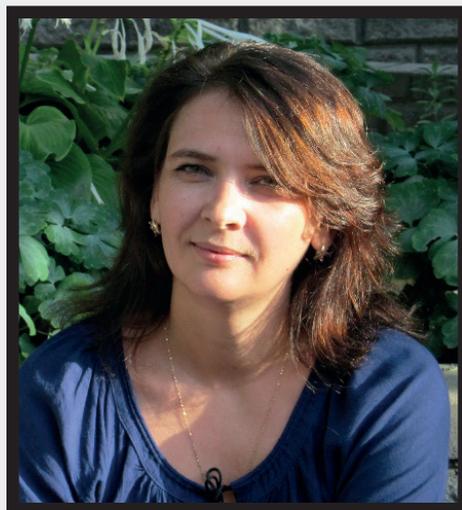
+7 (727) 344 00 63

mintek@tntexpo.com

mining.week.kazakhstan



miningweek.kz



Бочарова Юлия Анатольевна
(11.12.1972 – 04.04.2023)

4 апреля 2023 года безвременно ушла из жизни наш коллега – ответственный редактор «Горного журнала Казахстана» Юлия Анатольевна Бочарова.

Юлия Анатольевна родилась 11 декабря 1972 г. в городе Потсдам в Германской Демократической Республике. После окончания средней школы в 1988 году она поступила в Алма-Атинское городское педагогическое училище и в 1992 году окончила его, получив квалификацию «Учитель начальных классов, организатор детского досуга». По этой специальности она начала трудовую деятельность в школе.

В 2004 году Юлия Анатольевна пришла на работу в «Горный журнал Казахстана» на должность менеджера по рекламе. Именно здесь проявились в полной мере ее лучшие качества: эрудиция, трудолюбие, стремление познать новое, высокая грамотность, умение работать с людьми. В журнале Юлия Анатольевна прошла путь до ответственного редактора. Благодаря ей журнал приобрел новый современный дизайн, стал узнаваемым, участвовал во многих выставках у нас в стране и за рубежом. Она много сделала для того, чтобы «Горный журнал Казахстана» соответствовал самым высоким требованиям.

Редакционная коллегия «Горного журнала Казахстана», коллектив НПП «Интеррин», авторы журнальных статей приносят искренние соболезнования родным и близким Юлии Анатольевны. Для всех нас это невосполнимая потеря.

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

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

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

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

3. Структура статьи должна содержать следующие разделы:

- код МРНТИ (ГРНТИ <http://grnti.ru/?pl=52>) – шестизначный;
- название статьи (сокращения не допускаются, не допускается использование аббревиатур и формул; максимальное количество слов 10-12) должно быть информативным, соответствовать научному стилю текста, содержать основные ключевые слова, характеризующие тему (предмет) исследования и содержание работы, предоставляется на казахском, русском и английском языках;
 - инициалы и фамилии авторов; статья должна иметь не более 4 авторов; знаком «*» указывается автор-корреспондент;
 - сведения о каждом авторе (ученая степень, ученое звание, должность, место основной работы, город, страна, контактные данные (адрес электронной почты), ORCID ID) предоставляются на казахском, русском и английском языках;
 - полное название организации (-й), где работают авторы (с указанием ведомственной принадлежности);
 - аннотация в соответствии с требованиями международных баз данных должна достаточно полно раскрывать содержание статьи, включая характеристику основной темы, проблемы объекта, цели исследования, основные методы, результаты исследования и главные выводы. В аннотации необходимо указать, что нового несет в себе статья в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению материалами. Аннотация предоставляется на казахском, русском и английском языках объемом не менее 700 и не более 900 символов (примерно 150...200 слов);
 - ключевые слова в количестве 6...10 устойчивых словосочетаний, по которым в дальнейшем будет выполняться поиск статьи (сокращения и аббревиатуры не допускаются): ключевые слова отражают специфику темы, объект и результаты исследования и предоставляются на казахском, русском и английском языках;
 - текст статьи, содержащий следующие разделы (введение, методы/исследования, результаты, обсуждение результатов, заключение/ выводы);
 - список использованных источников (10...12), в том числе не менее 3 зарубежных не ранее 2015 года, предоставляется на казахском, русском и английском языках.

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

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

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

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.



6-9 июня 2023
Новокузнецк

XXXI Международная специализированная
выставка технологий горных разработок

УГОЛЬ и МАЙНИНГ РОССИИ

XIII Международная специализированная выставка

ОХРАНА, БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

VIII Международная специализированная выставка

НЕДРА РОССИИ

II Специализированная выставка

ПРОМТЕХЭКСПО

ШИРЕ, ЧЕМ КУЗБАСС! ГЛУБЖЕ, ЧЕМ УГОЛЬ!



уголь



руды



промышленные минералы



охрана и безопасность труда



МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:

Выставочный комплекс «Кузбасская ярмарка»,
ул. Автотранспортная, 51, г. Новокузнецк,
т/ф: 8 (3843) 32-22-22, 32-11-89, 32-11-18



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 ГОК
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

Международный конгресс
и выставка



23-24 МАЯ 2023,
АСТАНА, КАЗАХСТАН

VOSTOCK CAPITAL
— 20 лет успеха —

+7 (495) 109 9 509 (Москва)

КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММЫ КОНГРЕССА:

150+ РУКОВОДИТЕЛЕЙ КЛЮЧЕВЫХ ГОРНОРУДНЫХ КОМПАНИЙ

Казахстана и других стран Центральной Азии: Узбекистана, Таджикистана, Монголии и Кыргызстана, инициаторы инвестиционных проектов, компании-разработчики и производители оборудования и технологий для предприятий, международные инвесторы

20+ КРУПНЕЙШИХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ:

строительство ГОКов, модернизация, расширение мощностей и освоение новых месторождений

40+ ДОКЛАДЧИКОВ И УЧАСТНИКОВ ДИСКУССИЙ:

представители проектов, регуляторные органы, ведущие эксперты отрасли

30+ ЧАСОВ ДЕЛОВОГО И НЕФОРМАЛЬНОГО ОБЩЕНИЯ:

встречи один-на-один по заранее согласованному графику, деловые обеды, кофе-брейки, интерактивные дискуссии, коктейльный прием и многое другое

ФОКУС-СЕССИЯ: КАЗАХСТАН КАК ЦЕНТР РАЗВИТИЯ ГОРНОЙ ДОБЫЧИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ:

какие законодательные, регуляторные, технологические изменения необходимы для раскрытия потенциала отрасли?

МИРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ И ИННОВАЦИИ ДЛЯ ГОРНОЙ ИНДУСТРИИ

- презентация нового оборудования и передовых решений для горнодобывающих производств

ВАЖНО! Инвестиционная стратегия горнопромышленных предприятий до 2030 года: планы по модернизации и введению новых мощностей

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

в реализации проектов: как привлечь иностранных инвесторов?

АКТУАЛЬНО! Экспортный потенциал индустрии и развитие инфраструктуры

CASE STUDY: на пути к повышению эффективности: практика трансформации производств

ДИСКУССИЯ ГЕОЛОГОВ:

текущие вызовы и современные подходы в исследовании недр

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

технических, технологических и сервисных решений от лидеров отрасли

ПО ВОПРОСАМ
ПРОГРАММЫ
И ВЫСТУПЛЕНИЯ,
ПОЖАЛУЙСТА,
ОБРАЩАЙТЕСЬ:



МАРИЯ
ИЛЬИНА

Продюсер проекта

+7 495 109 9 509

mariailyina@vostockcapital.com

