

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 №1082 от 10.07.2012 г. Комитета по контролю в сфере образования и науки МОН РК внесен в перечень научных изданий, рекомендуемых для публикации основных результатов научной деятельности.

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

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

Адрес редакции:
050026, г. Алматы,
ул. Карасай батыра, 146, оф. 401,
тел.: +7 (747) 440-46-35
+7 (747) 343-15-02
minmag.kz

Представители журнала:

Центрально-Казахстанский регион –
ВЛАДИМИР ФЕДОРОВИЧ ДЕМИН
vladfdemin@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 28.06.2021 г.

Отпечатано:
«Print House Gerona»
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

Ю.А. БОЧАРОВА, Yuliya.Bocharova@interrin.kz

Специалист по связям с общественностью

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

Помощник редактора

И.П. КОНОНОВА (ПАШИННИНА),
Irina.Pashinina@interrin.kz

Редакционная коллегия:

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

Fidelis Tawiah Suorineni, PhD,
Professor of Mining Engineering

З.С. Абишева, д-р техн. наук, академик КазНАН

Ж.Д. Байгулин, д-р техн. наук, профессор

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

А.А. Бектыбаев, канд. техн. наук

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

А.И. Едильбаев, д-р техн. наук

Е.К. Едыгенов, д-р техн. наук, профессор

В.Г. Загайнов, канд. техн. наук

А.А. Зейнуллин, д-р техн. наук, профессор

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

А.А. Лисенков, д-р техн. наук, профессор

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

В.А. Луганов, д-р техн. наук, профессор

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

В.С. Музгина, д-р техн. наук

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

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

П.Г. Тамбиев, канд. техн. наук

Р.Р. Ходжаев, д-р техн. наук

Т.А. Чепуштанова, PhD

® – статья на правах рекламы

ⓘ – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

3 Колонка главного редактора

4 *Ломако Л.С.*

4 Создание цифрового рудника с помощью ГГИС МАЙНФРЭЙМ ®

6 Все новое – это хорошо дополненное старое ®

Геология

8 *Дьячков Б.А., Зимановская Н.А., Айтбаева С.С., Агеева О.В.*

8 Особенности геологического строения и критерии прогнозирования литиеносных пегматитов Восточного Казахстана

Гидрогеология

15 *Ченсизбаев Д.Б., Кан С.М.*

15 Факторы и условия формирования и освоения промышленных подземных вод Южного Казахстана

Открытые горные работы

20 *Sarybayev N.O., Moldabayev S.K., Sadat Hosay*

20 Cyclic and continuous method in coal mining

Разрушение горных пород

27 *Ескенова Г.Б., Абдиева А.Т.*

27 Тау жыныстарын жарылыспен бұзу кезінде жаншылу және жарықшақтардың пайда болу аймақтарының өлшемдерін зерттеу

Обогащение полезных ископаемых

32 *Телков Ш.А., Дуйсекешова А.С., Мотовилов И.Ю.*

32 Разработка технологии обогащения промпродукта магнетитовых руд

Качество продукции

41 *Калашников В.А., Головки Л.Г., Дырда В.И., Агальцов Г.Н.*

41 Синергетика взаимодействия внутримельничной загрузки с резиновой футеровкой в барабанных мельницах

Экономика горных предприятий

49 *Камаров Р.Қ., Мальченко Т.Д., Демин В.Ф., Камарова Д.Н.*

49 Ашық кеніштердің жоспарланған өнімділігіне байланысты онтайландыру мәселерін шешуге арналған критерийлерді негіздеу

54 Требования к оформлению статей

56 *Рецензия на монографию Ракишева Б.Р., Битимбаева М.Ж., Минигулова А.М.*

56 «Циклично-поточная технология на подземных рудниках ТОО «Корпорация Казахмыс»»

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

Дорогие читатели!

Уважаемые коллеги!

Мы с вами – люди суровой профессии, которая требует от нас высокой ответственности за наши действия, знаний и практических навыков, умения предвидеть и опережать природные катаклизмы – и сами нуждаемся в заботливом внимании, своевременном уходе, физически и духовно здоровом и активном состоянии. В свою очередь, такую качественную жизнь нам обеспечивают медицинские работники, чей профессиональный праздник мы отмечаем в этом году 13 июня. Вообще июнь месяц, открыв счет летним месяцам, богат на даты, связанные с заботой о людях и об их здоровье.

День защиты детей 1 июня, Всемирный день без курения, Всемирный день друзей и как венец этих дат, напоминающих нам и о существующих проблемах, и о наших общих задачах друг перед другом, и перед юным поколением, праздник, посвященный людям благородной профессии, денно и ночью стоящих на страже нашего здоровья, настраивают нас и на раздумья.

Врачи, медицинские сестры, санитары – работники больницы, поликлиник, скорой медицинской помощи – и женщины, и мужчины, наши друзья, знакомые, соседи, родственники, члены наших семей и просто незнакомые люди – специалисты своего дела, готовые всегда прийти нам на помощь, потому что духовное призвание этих людей само облагораживает

их характер, их поведение, их действия, зачастую совершаемые на грани подвига, хотя сами они так никогда не думают – вот кого мы сегодня поздравляем.

Пандемия, охватившая нашу планету, собравшая на протяжении полутора лет свою кровавую жатву, несмотря на трагические последствия, одновременно показала нам всем, насколько благородной, жертвенной и уважаемой является профессия медицинского работника, насколько они самоотверженны в своей любви к людям.

Поздравляя работников сферы здоровья с профессиональным праздником, желая здоровья и благополучия им самим, членам их семей, хотелось бы отметить несколько жизненно важных фактов, которые, может быть, и были известны, но наиболее зримо, доказательно и порой болезненно проявились в эти трудные времена.

1. Все подобные инфекции, разные по своей тяжести поражения организма человека, в значительной степени похожи друг на друга тем, что требуют огромных финансовых затрат, опережающего проектирования и изготовления специфического медицинского оборудования и больничных койко-мест, которых в обычное (можно сказать, мирное) время в таком ассортименте и количестве и не требуется, но готовность к их изготовлению и развертыванию всегда должна быть.

2. Необходимо в первоочередном (внеочередном) порядке обеспечить обучение необходимых медицинских кадров в вузах, колледжах, училищах и комплектование ими лечебных учреждений с одновременным созданием таких учреждений в любом населенном пункте такой огромной по территории и малонаселенной страны, как Казахстан. Ситуация требует, чтобы к этим населенным пунктам были подведены качественные дороги, чтобы они были электрифицированы, газифицированы, обеспечены канализацией, отоплением, питьевой водой и связью.

3. Необходимо, чтобы медицинские кадры (в первую очередь, рядовой персонал), кстати, так же, как и другая категория специалистов, отвечающая также за здоровье людей, но уже за духовное, – учителей, работников сферы образования – были обеспечены более чем достойной зарплатой, превышающей заработок других категорий государственных органов, т. е. следует в срочном порядке ликвидировать господствующий ныне несправедливый перекося в материальном обеспечении.

4. Выполнение этих пожеланий без финансовых ресурсов невозможно, поэтому:

- во-первых, следует наладить сферу производства минеральных благ таким образом, чтобы входили в строй действующих новые предприятия промышленного и аграрного секторов, работающих на увеличение кратно налоговой базы, экспортоориентированных, импортозамещающих, с общим увеличением объемов производства, с одной стороны, и снижением стоимости товаров первой необходимости, продуктов питания, медицинского обслуживания населения, с другой, в привязке к минимальной зарплате;

- во-вторых, прекратить строительство объектов, не производящих материальные ценности и самокупаемых с дальнейшей прибылью или требующих постоянной дотации из бюджета.

В этот праздничный день от имени редакции желаю медицинским работникам, чтобы избранная вами дорога в жизни была наполнена днями с радостным пробуждением и спокойным сном в кругу счастливых домочадцев!

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОГО РУДНИКА С ПОМОЩЬЮ ГГИС МАЙНФРЭЙМ

Л.С. Ломако, горный инженер

Общество с ограниченной ответственностью СП «КРЕДО-ДИАЛОГ»

Программный комплекс МАЙНФРЭЙМ давно известен на рынке программного обеспечения для горного дела. Его возможности позволяют автоматизировать процесс инженерного обеспечения при производстве открытых и подземных горных работ и создать условия для ведения цифрового двойника рудника. Это достигается за счет входящих в его состав специальных модулей – программ и систем, разработанных на общей графической платформе, и формирования на их основе единого информационного пространства предприятия.

Состав горно-геологической информационной системы (ГГИС) МАЙНФРЭЙМ:

- МАЙНФРЭЙМ ГЕОЛОГИЯ – решение геологических задач для открытых и подземных горных работ;
- МАЙНФРЭЙМ МАРКШЕЙДЕРИЯ – решение маркшейдерских задач для открытых и подземных горных работ;
- МАЙНФРЭЙМ ОТКРЫТЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ – решение технологических задач для открытых горных работ;
- МАЙНФРЭЙМ ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ – решение технологических задач для подземных горных работ.

ШАГ 1 Создание цифровой копии месторождения

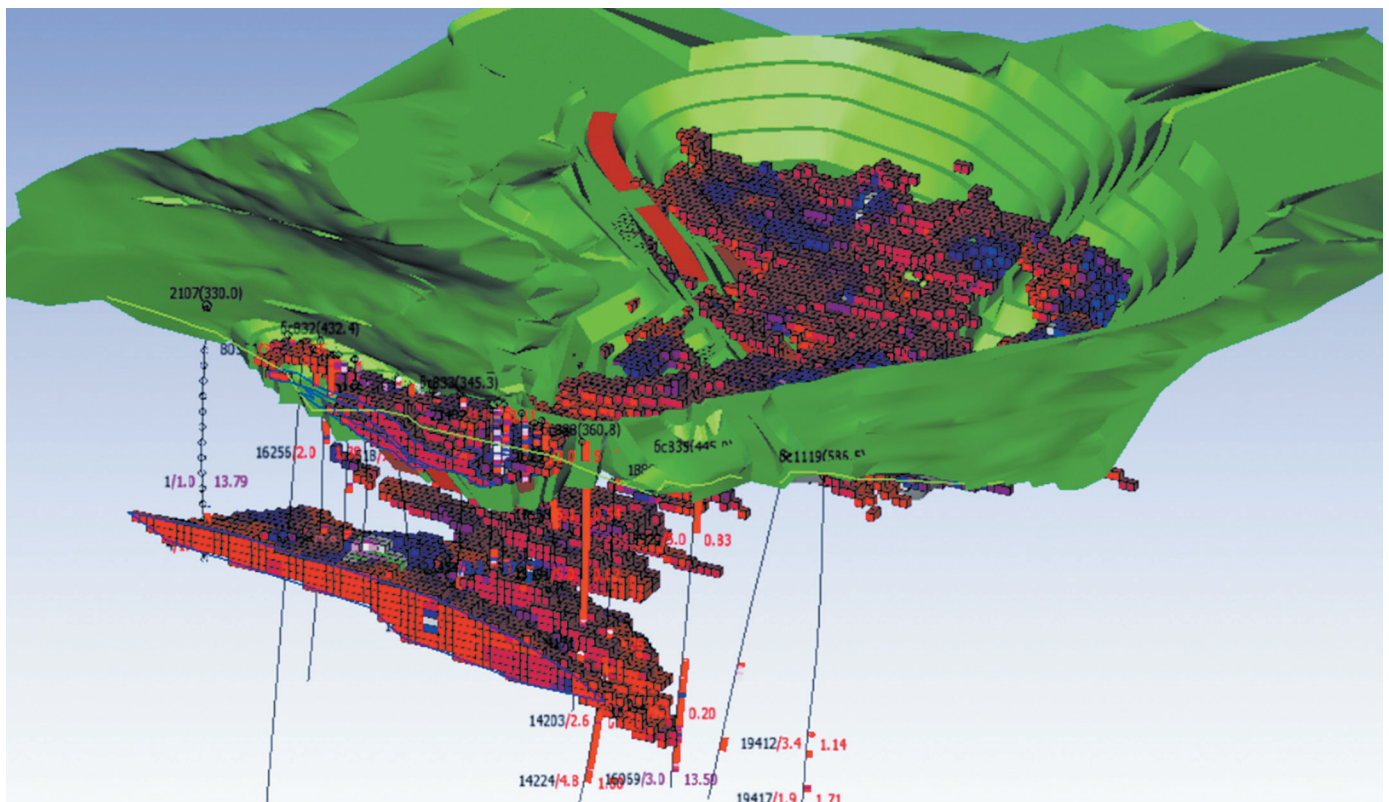
Для создания цифровой копии месторождения потребуется поработать с историческими данными – планшеты, разрезы, геологические отчеты, проекты на отработку месторождения, электронные файлы и многое другое. Несомненно, работа на этом этапе будет огромная. Рассмотрим ее через ГГИС МАЙНФРЭЙМ подробнее.

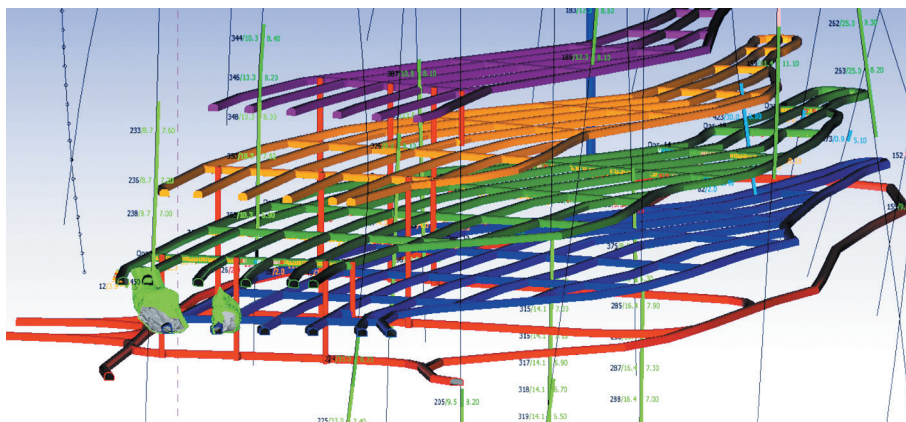
На первом шаге создается единая база данных для хранения цифровых копий объектов горной технологии. При этом соблюдается безопасность работы

с информацией путем задания прав доступа к базе данных.

Используя программу МАЙНФРЭЙМ ГЕОЛОГИЯ, геологическая служба моделирует геологические тела, подлежащие отработке, выделяет перспективные участки проекта и дает наиболее вероятную оценку запасов руды на основе базы данных опробования. Результатом работы специалиста является трехмерная и блочная цифровая модель рудного тела, которая служит основой для дальнейшего планирования, проектирования и ведения горных работ.

Маркшейдерское направление системы позволяет построить





подземных горных работ, проектированием транспортных элементов;

- корректировкой и оптимизацией границ карьера по экономическим показателям;

- проектированием выработок как по шаблонам, так и с заданием параметров для их отслеживания в автоматическом режиме, при котором система может проанализировать горно-геологические условия и предложить оптимальный способ крепления выработок;

- проектированием массовых взрывов блоков и камер.

ШАГ 3

Автоматизация уникальных процессов и стыковка с другими системами предприятия

После автоматизации основных процессов наступает время автоматизации уникальных процессов, присущих вашему предприятию, и стыковки с другими системами на предприятии. Данный шаг является уникальным, индивидуальным и зависит от целей предприятия. Разработчики ГГИС МАЙНФРЭЙМ на данном этапе оказывают консалтинговые услуги и помогают разработать и реализовать оптимальный план автоматизации.

Заключение

Создание цифрового двойника с помощью ГГИС МАЙНФРЭЙМ позволяет увеличить производительность предприятия. Это достигается, благодаря работе различных специалистов в едином информационном пространстве за счет исключения потерь времени на подготовку и передачу информации в цифровом виде между подразделениями. При этом снижается вероятность искажения данных, обеспечивается их целостность и сохранность, что, в итоге, обеспечивает более эффективное использование информации, а значит, повышает производительность и безопасность предприятия.

каркасные модели карьеров и выработок на основе съемок и планшетов. Таким образом, к завершению первого шага создается цифровая копия фактического положения горных работ. Горный отдел создает проектные выработки по данным проекта на отработку.

ШАГ 2

Автоматизация основных производственных процессов

После обработки исторических данных возникает задача внедрения автоматизации процессов основных операций подразделений, благодаря которым цифровой двойник предприятия поддерживается в актуальном состоянии. На этом этапе проводят масштабное обучение персонала по работе в ГГИС МАЙНФРЭЙМ.

Геологическая служба получает навыки в следующих операциях:

- пополнение базы данных эксплуатационными пробами;
- моделирование отдельных геологических, выемочных блоков, камер;
- построение блочных моделей;
- расчет качественно-количественных показателей выемочных единиц;
- создание проектов на опережающую разведку;
- расчет объемов к погашению запасов.

Все это производится автоматизированными функциями программы МАЙНФРЭЙМ ГЕОЛОГИЯ.

Маркшейдерская служба предприятия уже давно использует современные приборы, что значительно ускоряет проведение ежемесячных замеров, но при помощи программы МАЙНФРЭЙМ МАРКШЕЙДЕРИЯ появляется возможность повысить скорость, качество и точность обработки замеров.

Специалисты-маркшейдеры получают навыки в следующих операциях:

- пополнение текущего положения по результатам обработки измерений;
- подсчет объемов горной массы, рассчитанной между двумя положениями карьера;
- расчет объемов проходки, камер;
- расчет закладочных работ для камер;
- построение профиля выработок или автомобильных дорог;
- наблюдение за состоянием горных выработок;
- подготовка горно-графической документации;
- подготовка справки к закрытию месяца.

Все это автоматизируется функциями программы МАЙНФРЭЙМ МАРКШЕЙДЕРИЯ.

Технологическое направление, имея актуальную информацию о горно-геологической обстановке, занимается:

- краткосрочным и среднесрочным планированием открытых и

СП «КРЕДО-ДИАЛОГ» – ООО

e-mail: market@credo-dialogue.com

www.credo-dialogue.ru



ВСЕ НОВОЕ – ЭТО ХОРОШО ДОПОЛНЕННОЕ СТАРОЕ

В этом году компания Sandvik решила возродить торговую марку легендарных погрузчиков и самосвалов Togo™, которая известна с 70-х годов прошлого века и до сих пор вызывает теплые воспоминания у инженеров Sandvik и многочисленных заказчиков. На протяжении десятилетий этот звучный бренд покорял подземные выработки по всему миру, символизируя безудержную мощь и бескомпромиссную производительность. Настало время для нового триумфа.

Возвращать в строй своих «железных быков» производитель начал с крупногабаритных интеллектуальных погрузчиков и самосвалов. При этом новое поколение строго следует концепции «Безопаснее. Сильнее. Умнее». Таким образом, наследники могучей линейки помимо силы наделены еще и незаурядным интеллектом, который позволяет направлять производительность в правильное, высокоэффективное русло. По сути, компания Sandvik взяла за основу проверенное временем шасси и дополнила его современными цифровыми технологиями, которые, к слову, весьма успешно развивает в последние годы.

По словам инженеров, безопасность конструктивно заложена в каждой выпускаемой модели Togo™ и является важнейшим критерием эксплуатации погрузочно-доставочного оборудования. Новая техника готова продемонстрировать необычайную надежность и производительность в самых сложных горно-геологических условиях, обеспечив при этом высочайший уровень безопасности рабочей среды. Главная особенность линейки – это интеграция с системами AutoMine® и OptiMine®, которые предлагают на выбор несколько различных уровней автоматизации, включая возможность удаленного управления.

Линейка силовых агрегатов тоже под стать благородному названию. Погрузчики и самосвалы Togo™ могут оснащаться новейшими двигателями стандарта Stage V, которые отвечают строжайшим экологическим нормам. Теперь оператору доступен ассистент выбора скоростного режима, обеспечивающий оптимальную скорость при спуске по уклону, снижая нагрузку на тормозную систему, в то время как интеллектуальная система управления Sandvik ограничивает максимальную скорость. Пригодится в эксплуатации и новая опциональная система контроля тяги – она уменьшает степень пробуксовки колес при движении на грунте за счет оптимизации крутящего момента, продлевая срок службы шин.

На текущий момент для заказа доступны несколько моделей в линейке Togo™: подземные погрузчики LH517i и LH621i, а также подземные самосвалы TH551i и TH663i. Причем Sandvik намеревается в ближайшее время расширить спектр обновленного оборудования, добавив приставку Togo™ ко всем остальным моделям в текущей линейке. Отзывы заказчиков уже свидетельствуют о существенном снижении эксплуатационных затрат по сравнению с предыдущими поколениями техники. Положительные отклики компания получила на все четыре новинки этого года.



Технические характеристики	Самосвал Sandvik Toro™ TH663i
Габариты (длина × ширина × высота)	11,6 × 3,5 × 3,5 м
Грузоподъемность	63 т
Эксплуатационная масса	48 440 кг
Мощность двигателя	565 кВт
Скорость (под нагрузкой)	33 км/ч

Технические характеристики моделей оставят приятное впечатление у любителей красивых цифр. Так, например, самый крупный «железный бык» в линейке самосвалов TH663i с грузоподъемностью 63 т развивает внушительные для его габаритов 33 км/ч благодаря двигателю мощностью 565 кВт. В свою очередь, его «напарник», погрузчик Toro™ LH621i, может похвастаться значительным вырванным усилием при подъеме стрелы, равным 38,5 т. Кроме того, он оснащается бортовой системой мониторинга My Sandvik Digital Services Knowledge Box™ и готов к подключению AutoMine® уже в стандартной комплектации. Дополнительно возможна установка интегрированной системы взвешивания (IWS) для измерения загрузки ковша, а также количества ковшей, заполненных за смену.

Обслуживать технику довольно просто – инженеры хорошо продумали расположение ключевых сервисных точек, сделав их еще более доступными. Но если возиться с «железками» нет ни сил, ни времени, то для горных предприятий из любой точки страны есть хорошая новость – Sandvik уже несколько лет успешно предлагает различные виды сервисных контрактов, которые

избавляют владельцев техники от лишней головной боли. В конечном счете, передав оборудование в руки квалифицированных специалистов, предприятие еще и сэкономит, сосредоточив внимание на рабочем процессе и анализе производственных показателей.

Подводя итог, можно сказать, что возрожденная линейка подземного оборудования Toro™ имеет все шансы вернуть былую славу и даже превзойти по характеристикам предыдущие поколения, благодаря повсеместному внедрению полезных интеллектуальных функций. С каждым обновлением модельного ряда Sandvik ставит перед собой более высокую планку производительности, и похоже, в очередной раз преодолевает ее с большим запасом.

Технические характеристики	Погрузчик Sandvik Toro™ LH621i
Габариты (длина × ширина × высота)	12,6 × 3,2 × 2,9 м
Грузоподъемность	21 т
Емкость ковша	8-11,2 м ³
Эксплуатационная масса	58 800 кг
Вырванное усилие при подъеме стрелы	38 500 кг
Вырванное усилие при запрокидывании ковша	35 100 кг
Мощность двигателя	352 кВт
Скорость (под нагрузкой)	26 км/ч



Код МРНТИ 38.49.17

Б.А. Дьячков¹, Н.А. Зимановская¹, С.С. Айтбаева¹, О.В. Агеева²¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан),
²Товарищество с ограниченной ответственностью «ГЕО KZ» (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И КРИТЕРИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛИТИЕНОСНЫХ ПЕГМАТИТОВ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

Аннотация. Цель исследования – разработка геолого-структурных и минералого-геохимических критериев прогнозирования и оценки литиеносных пегматитов, отличающихся от традиционных месторождений региона (Бакенное и другие) повышенной концентрацией лития (Li_2O до 1,8-2%) и бедным содержанием элементов Ta, Nb, Be, Sn . Основная проблема – укрепление минерально-сырьевой базы для предприятий редкометалльного производства. Основные методы – геологическое доизучение пегматитовых объектов (Ахметкино, Алдай, Точка и другие), проведение полевых и аналитических исследований (ICP-MS, SEM). В геолого-структурном плане определена рудоконтролирующая роль тектонически нарушенной Карагоин-Сарьозекской рудной зоны. Выявлена благоприятная рудовмещающая роль углито-глинистых сланцев такырской свиты (D_3) и малых интрузий и даек плагиогранит-гранодиоритового состава (кунушский комплекс C_3). Определены минералого-геохимические индикаторы литиеносных пегматитов (альбит, литиеносный мусковит, сподумен, манганотанталит) и геохимические элементы (Li, Rb, Cs, F, B, Ta). Разработаны рекомендации по направлению дальнейших исследований.

Ключевые слова: месторождение, вмещающие сланцы, граниты, плагиограниты, альбит-сподуменные пегматиты, прогнозирование, Восточный Казахстан.

Шығыс Қазақстанның литийлі пегматиттерінің геологиялық құрылымының ерекшеліктері және болжау критерийлері

Андатпа. Зерттеудің мақсаты – литийдің жоғары шоғырлануымен (Li_2O 1,8-2%-ға дейін) және Ta, Nb, Be, Sn элементтерінің төмен мөлшерімен аумақтың дәстүрлі кен орындарынан (Бакен және т.б.) ерекшеленетін литийлі пегматиттерді болжау мен бағалаудың геологиялық-құрылымдық және минералдық-геохимиялық критерийлерін анықтау. Негізгі мәселе – сирек металды өндірістік кәсіпорындары үшін минералдық-шикізат базасын нығайту. Негізгі әдістері – пегматитті нысандарын (Ахметкино, Алдай, Точка және т. б.) геологиялық жете зерттеу, далалық және талдамалық зерттеулер жүргізу (ICP-MS, SEM). Геологиялық-құрылымдық жоспарда тектоникалық бұзылған Карагоин-Сарьозек кен аймағының кен бақылау рөлі анықталған. Кен сыйыстырушы такыр свитаның (D_3) көмір-сазды тақтатастарының және плагиогранит-гранодиорит құрамды (кунуш C_3 кешені) шағын интрузиялар мен сығымаларының қолайлы рөлі анықталды. Литийлі пегматиттердің минералдық-геохимиялық индикаторлары (альбит, литийлі мусковит, сподумен, манганотанталит) және геохимиялық элементтер (Li, Rb, Cs, F, B, Ta) анықталды. Әрі қарай зерттеу бағыты бойынша ұсыныстар жасалды.

Түйінді сөздер: кенорын, тақтатастар, граниттер, плагиограниттер, альбит-сподумен пегматиттер, болжамдау, Шығыс Қазақстан.

Features of geological structure and criteria for forecasting lithiogenic pegmatites of East Kazakhstan

Abstract. The aim of the research is to develop geological-structural and mineral-geochemical criteria for forecasting and evaluating lithium-bearing pegmatites, which differ from the traditional deposits of the region (Bakennoye, etc.) with an increased concentration of lithium (Li_2O to 1,8-2%) and poor content of rare elements (Ta, Nb, Be, Sn). The main problem is strengthening of mineral resources for the enterprises of rare metals production. The main methods are geological pre-study of pegmatite objects (Akhmetkino, Aldai, Tochka, etc.), field and analytical studies (ICP-MS, SEM). In the geological and structural plan, the ore-controlling role of the tectonically disturbed Karagoin-Saryozek ore zone was determined. The favourable ore-accommodating role of the carbon-clay shales of the takyrsky formation (D_3) and small intrusions and dikes of the plagiogranite-granodiorite composition (kununshky complex C_3) was revealed. Mineral-geochemical indicators of lithium-bearing pegmatites (albite, lithium-bearing muscovite, spodumen, manganotantalite) and geochemical elements (Li, Rb, Cs, F, B, Ta) were determined. Recommendations have been developed for the direction of further researches.

Key words: deposit, rare metals, host shales, granites, plagiogranites, albite, spodumen, pegmatites, forecasting, East Kazakhstan.

Введение

В Восточном Казахстане основные редкометалльные месторождения сосредоточены в Калба-Нарымской тектонической зоне Большого Алтая¹. Ведущими являются пегматитовые месторождения ($Ta, Nb, Be, Li, Rb, Cs, Sn$), которые разрабатывались преимущественно на тантал и олово, но сейчас законсервированы (Бакенное, Юбилейное, Белая Гора и другие) [1]. На современном этапе актуальна задача открытия новых месторождений и переоценки известных объектов на комплексное $Sn-Ta-Be-Li$ оруденение. В связи с возросшей потребностью на мировом рынке редких

металлов, вновь повышается интерес к редкометалльным объектам Калбы. В качестве литиевого сырья практическое значение представляет особая разновидность альбит-сподуменных пегматитов, отличающихся повышенной концентрацией лития и бедным содержанием редких элементов.

Цель исследования – разработка геолого-структурных и минералого-геохимических критериев прогнозирования и оценки альбит-сподуменных пегматитов на примере типového месторождения Ахметкино.

Методика исследования

Выполнялся системный анализ геологических материалов прошлых

лет и новых результатов научных исследований по изучению пегматитовых объектов (Ахметкино, Точка, Алдай, Кенебай, Луконь и других). Проводились полевые исследования, геолого-тектоническое моделирование, использовались ГИС-технологии, комплекс высокоточных методов исследований в ЦП VERITAS, НАО ВКТУ (масс-спектроскопические исследования с индуктивно связанной плазмой ICP-MS, сканирующая микроскопия, рентгеноспектральный и рентгеноструктурный анализ)².

Геологическое строение

Карагоин-Сарьозекская рудная зона расположена в юго-западной

¹Большой Алтай – уникальная редкометалльно-золото-полиметаллическая провинция Центральной Азии. // Материалы рабочего совещания. – Алматы, 2019. – 60 с.

²Dittrich T., Seifert T., Schulz B. et al. Archean rare metal pegmatites in Zimbabwe and Western Australia: Geology and Metallogeny of Pollucite Mineralisations. – Springer International Publishing. – 2019 (March). ISBN: 978-3-030-10943-1.



Рис. 1. Схема размещения редкометалльных пегматитов месторождения Ахметкино (по материалам Р.А. Губайдуллина). Сурет 1. Ахметкино кен орнының сирек металды пегматиттерін орналастыру схемасы (Р.А. Губайдуллин материалдары бойынша). Figure 1. Layout of rare metal pegmatites of the Akhmetkino deposit (based on the materials of R.A. Gubaidullin).

части Калба-Нарымского редкометалльного пояса, ограничена региональными разломами северо-западного направления. Охватывает экзо- и эндоконтактовые зоны гранитоидных массивов (Ешкульмес, Сибинский, Дворянский, Коржимбай и других)³, общая протяженность порядка 60 км при ширине 4-6 км [2]. Зона характеризуется повышенной тектонической нарушенностью вмещающих углисто-глинистых сланцев такырской свиты (D₃), широким развитием малых интрузий и даек кунушского комплекса С₃ (плагиограниты, гранодиориты), сформированных в коллизионной геодинамической обстановке. Позднекаменноугольный возраст плагиогранитов подтверждается геохронологическими данными по U-Pb изотопному методу (SHRIMP-II): 299±2,3 и 306,7±8,7 млн лет [3]. По составу они относятся к тоналит-грандземитовой серии, натриевой щелочности (Na₂O/K₂O > 4) и высокой глиноземистости.

Характеризуются низкими содержаниями Y (4,67), высоким La/Yb отношением (21,45/45,5) и обогащенностью Sr (686-815 г/т). По содержанию мантийных элементов (Cr, Ni, Co, V) и положительным изотопным характеристикам (+Nd-типа) плагиограниты сопоставляются с адакитовым (AD) типом гранитоидов, вероятно, корово-мантийного происхождения [4].

Район исследования характеризуется пространственной сближенностью альбит-сподуменовых пегматитов и интрузивно-дайковых образований кунушского комплекса, имеющих значение структурно-литологических ловушек для локализации оруденения (Ta, Nb, Be, Li), генетически связанного с гранитоидами калбинского комплекса Р₁ [5]. Анализ материалов прошлых лет (В.Ф. Кащеев, А.Р. Бутко, П.И. Сенишин, В.Т. Ермолин, Г.Ф. Осипова) и новые результаты работ позволяют уточнить особенности размещения, вещественного

состава и методику оценки литиеносных пегматитов.

Месторождение Ахметкино расположено на юго-восточном фланге Урунхайского рудного поля. В его изучение большой вклад внесли М.С. Малимбаев, Р.А. Губайдуллин, Н.В. Чиркина и другие. На месторождении широко развиты углисто-глинистые сланцы такырской свиты (D₃), смятые в сложные изоклинальные складки с падением пород преимущественно в юго-западном направлении (65-85°) (рис. 1).

На юго-западном фланге рудного поля прослеживаются дайки плагиогранит-порфиров, гранодиорит-порфиров кунушского комплекса (С₃) длиной до 6 км и мощностью до 10 м, залегающие согласно с породами сланцевой толщи. На северо-восточном фланге размещается Ешкульмесский массив гранитоидов калбинского комплекса, объединяющий две интрузивные фазы: среднезернистые контаминированные биотитовые граниты I фазы и мелко-среднезернистые мусковитизированные граниты II фазы. Жильные породы – граниты, аплиты, аплит-пегматиты, пегматиты и кварцевые тела. Рудные тела представлены пегматитовыми жилами двух типов: микроклин-альбитовыми и альбит-сподуменовыми. Наиболее рудоносная полоса шириной 200-300 м расположена в центральной части месторождения, объединяет около 40 пегматитовых жил средней мощностью 5,8 м и длиной до 800 м (рис. 1). Рудоконтролирующими структурами являются Центральный разлом северо-западного простирания и оперяющие нарушения, фиксируемые сближенными зонами расщелачивания, дробления и окварцевания вмещающих пород мощностью до 20 м. Основные пегматитовые жилы сосредоточены в северо-западной рудоносной зоне (Западная I, Западная, №25, Пологая). В восточной зоне развиты более мелкие жилы микроклин-альбитового, альбит-сподуменового состава (жилы 26, 27, 28). Форма жил – плитообразная, лентовидная с раздувами, пережимами и ответвлениями. Длина их варьирует

³Дьячков Б.А. Генетические типы редкометалльных месторождений Калба-Нарымского пояса. – Усть-Каменогорск, 2012. – 130 с.

от 20-40 м до 550 м, мощность изменяется от десятков см до 20 м. Падение жил в основном на юго-запад и северо-восток под углами 45-80°.

Поперечная зональность рудного поля проявляется в размещении аплит-пегматитовых, олигоклаз-микроклиновых пегматитов (безрудных) в лежачем боку (на северо-востоке), а редкометалльных жил – на юго-западном фланге. Склонение рудного поля предполагается в юго-восточном направлении при некотором увеличении в пегматитах содержания сподумена и редких элементов. Внутренняя зональность пегматитов характеризуется постепенной сменой кварц-микроклин-альбитовых, кварц-альбит-сподуменовых и других минеральных комплексов (рис. 2).

Практическое значение представляют альбит-сподуменовые пегматиты, фиксируемые на поверхности и в керне скважин. В ряде жил, по данным бурения на глубине более 100-300 м, выявляется постепенный переход микроклин-альбитовых пегматитов в альбит-сподуменовые с увеличением их мощности до 5-6 м и содержания Li_2O до 1,78 масс. %. Наиболее продуктивные пегматитовые жилы (Западная, Пологая) на глубине не контурены (рис. 3).

На объектах Кенебай и Алдай обнаружены слепые жилы альбит-сподуменовых пегматитов (мощностью до 6,2 м, Li_2O до 0,93 масс. %). Эти данные свидетельствуют о значительном вертикальном размахе литиеносных пегматитов (300-400 м), что расширяет перспективы Карагоин-Сарыюзекской зоны в целом.

Минералого-геохимическая характеристика

Авторами проводилось дополнительное изучение вещественного состава вмещающих пород и редкометалльных пегматитов с использованием электронной микроскопии. По результатам ICP-MS в роговиках содержание редких земель невысокое ($\Sigma TR = 84,06$ г/т) с преобладанием легкой лантаноидной группы элементов над тяжелой (в 6,7 раза). В мусковитизированных разностях роговики, ассоциирующихся с пегматитами (рис. 4), определены

аномальные содержания, г/т: Li (1399,0); Rb (786,9), Cs (132,0), Sn (212,0). В ороговикованных алевролитах также повышены содержания, г/т: Li (800,9); Rb (151,2); Cs (71,81). Это объясняется наложением рудонесных флюидопотоков на пегматиты и боковые осадочные породы с концентрацией редких элементов преимущественно в биотите и мусковите, являющихся минералами – индикаторами рудообразования [5].

Альбит-сподуменовые пегматиты сложены в основном кварцем, альбитом и микроклином; содержание мусковита достигает 10%, сподумена – до 15-20%. Их петрохимический состав, масс. %: SiO_2 (72,36); Al_2O_3 (17,46); FeO (1,86); Fe_2O_3 (0,14); MgO (0,66); CaO (1,14); Na_2O (3,72); K_2O (1,63), P_2O_5 (0,05) и Fe (0,045). Величина индекса фракционирования (Mg/Li) в них минимальная (0,31) по сравнению

с индексом микроклин-альбитовых пегматитов (10,6). Отличаются натриевой щелочностью ($Na_2O > K_2O = 2,28$), низкоплюмазитовой агапитностью ($Ka = 0,61$) и пониженной фтористостью.

Главный рудный минерал представлен сподуменом, сопутствующие – танталит-колумбит, берилл и касситерит. Нерудные минералы – кварц, альбит, клеветандит, микроклин, мусковит; редко – лепидолит, гранат, флюорит, турмалин и другие. В альбит-сподуменовых пегматитах среднее содержание лития 8050 г/т, в отдельных пробах достигает 17800 г/т, что сопоставимо с зарубежными месторождениями Коктогай, Колмозерское и другими. [5-7]. Меньшие величины имеют Rb (265,5) и Cs (19,25 г/т). Содержание редких элементов невысокое, г/т: Ta (17,25); Nb (58,1); Be (30,9) и Sn (47,3). Основным



Рис. 2. Внутреннее строение пегматитовых жил месторождения Ахметкино.

Сурет 2. Ахметкино кен орнының пегматитті желілерінің ішкі құрылысы.

Figure 2. Internal structure of pegmatite veins of the Akhmetkino deposit.

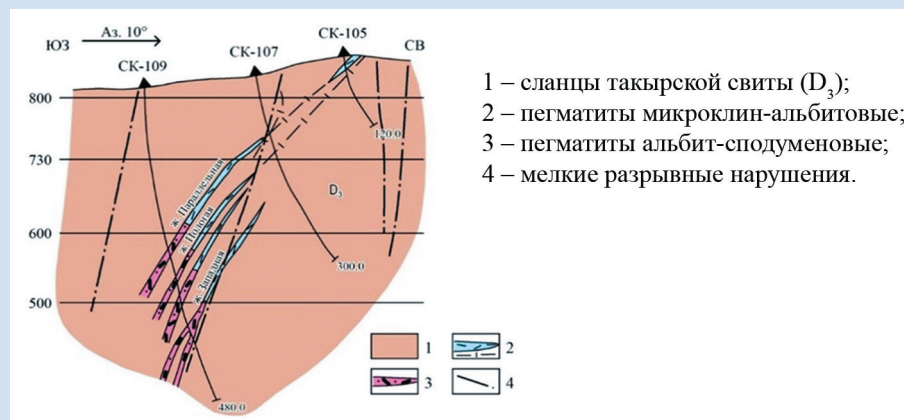


Рис. 3. Геологический разрез месторождения Ахметкино (по материалам геологоразведочных работ).

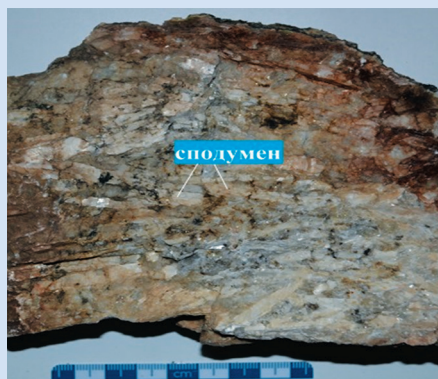
Сурет 3. Ахметкино кен орнының геологиялық қимасы (геологиялық барлау).

Figure 3. Geological section of the Akhmetkino field (based on the materials of geological exploration).



роговик I – кварц-биотит-мусковитовый роговик;
роговик II – кварц-полевошпат-мусковитовый роговик;
пегматит III – альбитизированный пегматит

**Рис. 4. Ксенолиты
грейзенизированных роговиков в
альбитизированных пегматитах.**
**Сурет 4. Альбиттелген
пегматиттердегі грейзенделген
мүйіздалдамшының ксенолиттері.**
**Figure 4. Xenoliths of greisenized
corneans in albitized pegmatites.**



**Рис. 5. Образец гнездовидного
скопления альбит-сподуменовых
пегматитов.**
**Сурет 5. Альбит-сподуменді
пегматиттердің ұя тәрізді
шоғырларының үлгісі.**
**Figure 5. Sample of albitic-
spodumene pegmatites.**

концентратором лития является сподумен, образующий дощатые кристаллы светло-серой окраски, неравномерно распределенные в жилах. На ряде рудопроявлений (Алдай, Точка) отмечаются гнездовидные скопления ориентированных кристаллов сподумена (рис. 5).

Сподумены содержат широкий спектр элементов – *Ta, Nb, Be, Li, Cs, Sn, W* и другие [1, 4]. Максимальные величины редкощелочных элементов, г/т: *Li* (55260); *Rb* (1419,0); *Cs* (105,54). Содержание редких элементов изменяется в пределах: *Ta* (2,14-84,15); *Nb* (4,6-69,75); *Be* (1,17-102,0); *Sn* (17,19-217,4); *W* (0,79-17,5); *Mo* (1,22-

38,21). На растровом микроскопе в нем определены флюидные включения касситерита, ферросилита и андалузита. В ассоциации со сподуменом отмечаются фторапатит, монацит, циркон, антимонит, танталоносные минералы (колумбит, танталит, марганотанталит), касситерит и другие (рис. 6).

Нахождение в рудах марганцовистых танталитов (*Ta* – 22,75; *Nb* – 22,58; *Mn* – 6,64; *Fe* – 0-1,45 масс. %), отражающих поздние стадии редкометалльного пегматитообразования, рассматривается авторами в качестве благоприятного поискового фактора. На микроуровне выявлено замещение кристаллов колумбита танталитом в виде светлой каймы (*Ta* – 34,13; *Nb* – 5,43; *Mn* – 6,58 масс. %) (рис. 6в).

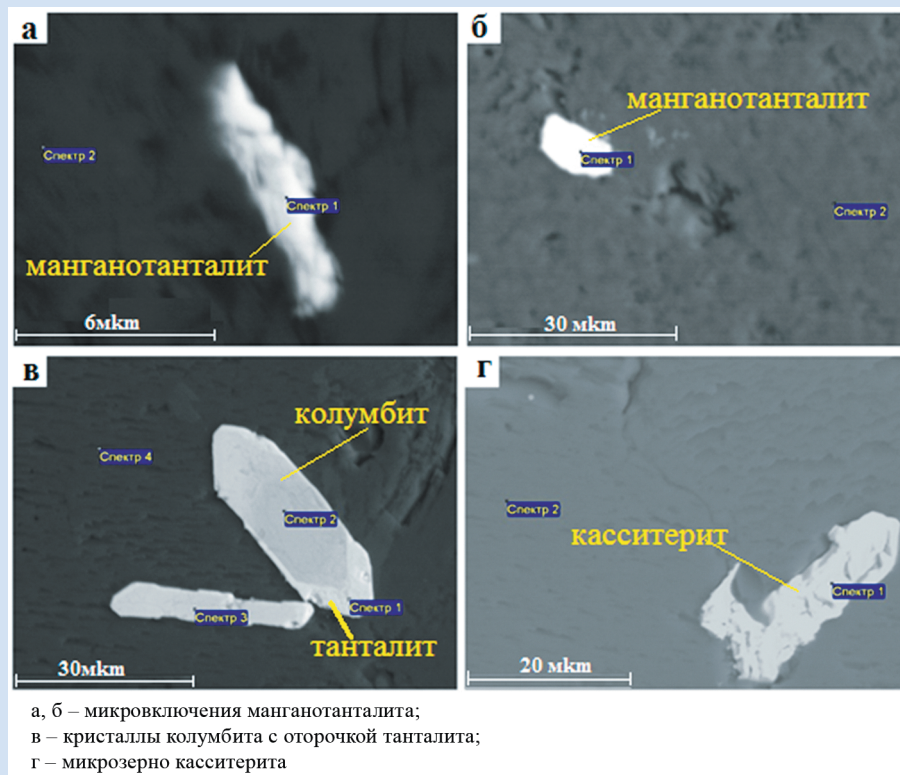
По геохимическим данным уточнено распределение редких земель в роговиках и пегматитах, нормированных к хондриту (рис. 7). В пегматитах выявляется умеренно дифференцированное распределение элементов (*La/Yb* = 4,8-13,6) с максимумами *Gd, Dy* и минимумами

Sm, Tb. Лантаноидная группа элементов составляет порядка 1-1,4 хондритовых единиц, тяжелая – доли единиц (0,2-0,9).

На диаграмме мультиэлементных спектров, нормированных по составу примитивной мантии (по Mc Donough, 1989 г.), четко выделяются максимумы редкощелочных элементов (*Cs, Rb*) и *Nb, Pb* в пределах 100-1000 и более мантийных единиц; распределение редких земель – на уровне или ниже среднего состава примитивной мантии. Эти данные отражают сложный состав исходных рудоносных флюидов, имеющих, вероятно, мантийно-коровое происхождение.

Заключение

Определены основные факторы и критерии прогнозирования и оценки литиеносных альбит-сподуменовых пегматитов Карогоин-Сарыозекской зоны Центральной Калбы. Магматический контроль проявляется в генетической связи редкометалльного оруденения (*Ta, Nb, Be, Li*) с гранитоидами калбинского комплекса (P_1).



а, б – микровключения манганотанталита;
в – кристаллы колумбита с оторочкой танталита;
г – микрозерно касситерита

**Рис. 6. Микровключения флюидных минералов
в альбит-сподуменовых пегматитах.**
**Сурет 6. Альбит-сподуменді пегматиттеріндегі флюидті
минералдардың микроқосындылары.**
Figure 6. Microinclusions of fluid minerals in albitic-spodumene pegmatites.

Определена рудоконтролирующая роль северо-западных региональных разломов и оперяющих их нарушений в размещении интрузивных образований и редкометалльных объектов. Подчеркивается благоприятность рудовмещающей среды для локализации литиеносных пегматитов (тектонически нарушенные сланцы такырской свиты, дайки кунушского комплекса, имеющие значение структурно-литиеносных ловушек).

Выявлена сложная морфология рудных тел, расположенных в висячем фланге рудного поля, зональная смена микроклин-альбитовых и альбит-сподуменовых пегматитов, прогнозируется значительный вертикальный размах редкометалльного оруденения (более 300-400 м). К поисковым индикаторам рудогенеза относятся типоморфные минералы – альбит, клевеландит, фторапатит, сподумен, берилл, касситерит, манганотанталит. Геохимические элементы – индикаторы: редкие щелочи (*Li, Rb, Cs*) и редкие элементы (*Ta, Nb, Be, Sn*). Наиболее перспективными на литиевое сырье представляются пегматиты, в которых наиболее интенсивно проявились процессы альбитизации, грейзенизации и сподуменизации. Месторождение Ахметкино является пока единственным объектом Карагоин-Сарыозекской зоны, на котором подсчитаны промышленные запасы литиевого сырья (среднее содержание LiO_2 – 0,769%, запасы – первые десятки тыс. т). В небольшом объеме определены запасы попутных

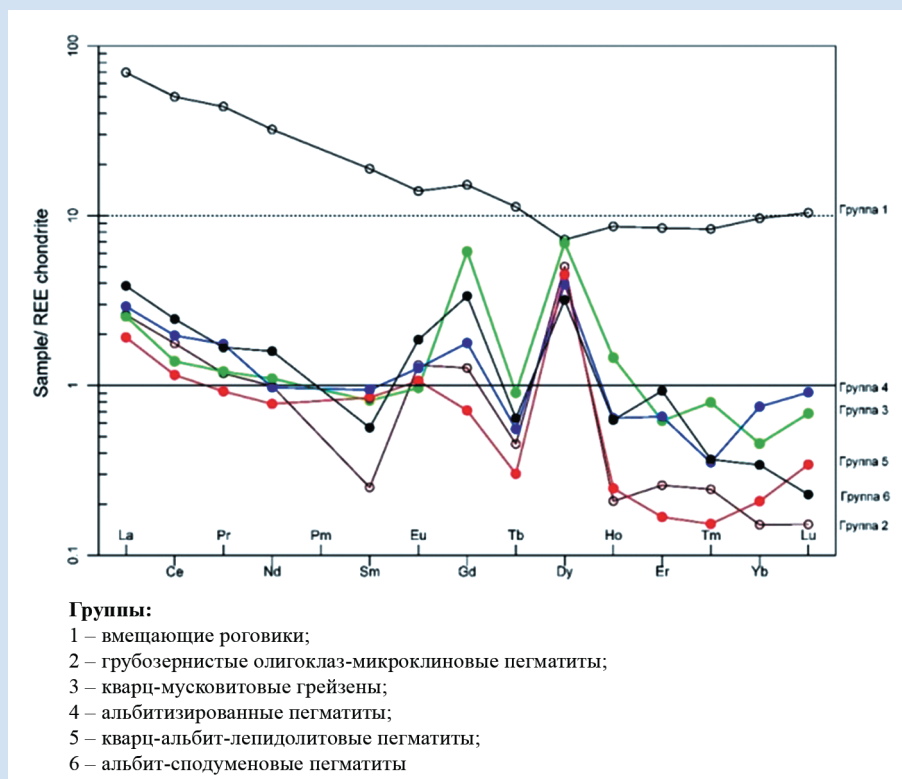


Рис. 7. Геохимическая диаграмма месторождения Ахметкино. Спектры редкоземельных элементов, нормированных по хондриту (Boynton 1984); исполнитель – А.Е. Бисатова.

Сурет 7. Ахметкино кен орнының геохимиялық диаграммасы. Хондрит бойынша нормаланған сирек жер элементтерінің спектрлері (Boynton 1984); орындаушы – А.Е. Бисатова.

Figure 7. Geochemical diagram of the Akhmetkino field. Spectra of rare-earth elements normalized by chondrite (Boynton 1984).

компонентов (*Ta, Nb, Be, Sn*). По масштабности оруденение относится к мелким объектам. Обнаружено размещение рудных тел в надинтрузивной зоне скрытого гранитного массива и выявление альбит-сподуменовых пегматитов, геохимических аномалий (*Li, Re, Sn*) на глубоких горизонтах. Это указывает,

вероятно, на вскрытие на месторождении только верхней части зональной рудной колонны. В этой связи повышается перспективность данного объекта, что необходимо учитывать при проведении геологоразведочных работ. В пределах рудоносной полосы рекомендуется сгущение разведочной сети до 100-50 м.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дьячков Б.А., Матайбаева И.Е., Фролова О.В., Гавриленко О.Д. Типы редкометалльных месторождений Восточного Казахстана и их оценка. // Горный журнал. – 2017. – №8. – С. 45-50. (на русском языке)
2. Дьячков Б.А., Бисатова А.Е., Ойцева Т.А., Кузьмина О.Н. Геологические критерии прогнозирования редкометалльных месторождений как основной источник восполнения минерально-сырьевой базы для предприятий Восточного Казахстана. // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2020. – №6. – С. 6-13. (на русском языке)
3. Kuibida M.L., Dyachkov B.A., Vladimirov A.G. et. al. Контрастный гранитный магматизм в складчатом поясе Калбы (Восточный Казахстан): свидетельства позднепалеозойских посторогенных событий. // Журнал азиатских наук о Земле. – 2019. – №175. – С. 178-198. (на английском языке)
4. Gregory A. Davis. Пояс Яньшань Северного Китая: тектоника адакитского магматизма и эволюция земной коры. // Границы науки о Земле. – 2003. – №10(4). – С. 373-384. (на английском языке)

5. Dyachkov B., Oitseva T., Frolova O., Mataibaeva I., Kusmina O. Геотектоническое положение и рудный потенциал интрузивно-дайковых поясов Восточного Казахстана. // *Материалы 17-й Международной междисциплинарной научной геоконференции.* – Болгария, 2017. – С. 239-246. (на английском языке)
6. Zagorsky V.Ye., Vladimirov A.G., Makagon V.M., Kuznetsova L.G., Smirnov S.Z., Dyachkov B.A., Annikova I.Yu., Shokalsky S.P., Uvarov A.N. Крупные месторождения сподуменовых пегматитов в условиях рифтогенной и постколлизивной сдвигово-отрывной дислокации континентальной литосферы. // *Российская геология и геофизика.* – 2014. – Т. 55. – С. 237-251. (на английском языке).
7. Морозова Л.Н. Колмозерское литиевое месторождение редкометалльных пегматитов: новые данные по редкоэлементному составу (Кольский полуостров). // *Литосфера.* – 2018. – Т. 1. – №1. – С. 82-98. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Дьячков Б.А., Матайбаева И. Е., Фролова О. В., Гавриленко О. Д. Шығыс Қазақстанның сирек металды кен орындарының түрлері және оларды бағалау. // *Тау-кен журналы.* – 2017. – №8. – Б. 45-50. (орыс тілінде)
2. Дьячков Б.А., Бисатова А.Е., Ойцева Т.А., Кузьмина О.Н. Шығыс Қазақстан кәсіпорындары үшін минералдық-шикізат базасын толықтырудың негізгі көзі ретінде сирек металды кен орындарын болжау геологиялық өлшемдері. // *Қазақстанның кен журналы.* – Алматы, 2020. – №6. – Б. 6-13. (орыс тілінде).
3. Kuibida M.L., Dyachkov B.A., Vladimirov A.G. et. al. Қалба (Шығыс Қазақстан) қатпарлы белдеуіндегі контрасты гранитті магматизм: кейінгі палеозойлық орогеннен кейін құбылыстардың куәсі. // *Азиялық Жер туралы ғылыми журналы.* – 2019. – №175. – Б. 178-198. (ағылшын тілінде)
4. Gregory A. Davis. Солтүстік Қытайдың Яншан белдеуі: адакиттік магматизмнің тектоникасы және жер қыртысының эволюциясы. // *Жер туралы ғылымның шекаралары.* – 2003. – №10(4). – Б. 373-384. (ағылшын тілінде)
5. Dyachkov B., Oitseva T., Frolova O., Mataibaeva I., Kusmina O. Шығыс Қазақстандағы кенді интрузивті сығылмалы белдеулердің геотектоникалық жағдайы және әлеуеті. // *17-ші халықаралық көпбейінді ғылыми конференцияны өткізу.* – Болгария, 2017. – Б. 239-246. (ағылшын тілінде)
6. Zagorsky V.Ye., Vladimirov A.G., Makagon V.M., Kuznetsova L.G., Smirnov S.Z., Dyachkov B.A., Annikova I.Yu., Shokalsky S.P., Uvarov A.N. Континентальды литосфераның дрейф және коллизиядан кейінгі ығысу-созылу дислокациясы жағдайындағы пайда болатын сподумен пегматиттерінің үлкен өрістері. // *Ресей геологиясы және геофизикасы.* – 2014. – Т. 55. – Б. 237-251. (ағылшын тілінде)
7. Морозова Л.Н. Сирек металды пегматиттердің Колмозер литий кен орны: сирек элементтер құрамы туралы жаңа мәліметтер (Кола түбегі). // *Литосфера.* – 2018. – Т. 1. – №1. – Б. 82-98. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Dyachkov B.A., Mataibayeva I.E., Frolova O.V., Gavrilenko O.D. Typy redkometall'nyx mestorozhdenij Vostochnogo Kazaxstana i ix ochenka [Types of rare metal deposits of East Kazakhstan and their assessment]. // *Gornyj zhurnal = Mining journal.* – 2017. – №8. – P. 45-50. (in Russian)
2. Dyachkov B.A., Bisatova A.E., Oitseva T.A., Kusmina O.N. Geologicheskie kriterii prognozirovaniya redkometall'nyx mestorozhdenij kak osnovnoj istochnik vospolneniya mineral'no-syr'evoj bazy dlya predpriyatij Vostochnogo Kazaxstana. [Geological criteria for forecasting rare metal deposits as the main source of replenishment of the mineral resource base for enterprises of Eastern Kazakhstan. // *Gornyj zhurnal Kazaxstana = Mining journal of Kazakhstan.* – Almaty, 2020. – №6. – P. 6-13. (in Russian)
3. Kuibida M.L., Dyachkov B.A., Vladimirov A.G. et. al. Contrasting Granite Magmatism in the Kalba fold belt (Eastern Kazakhstan): Evidence for Late Paleozoic Post-orogenic Events. // *Journal of Asian Earth Science.* – 2019. – №175. – P. 178-198. (in English)
4. Gregory A. Davis. The Yanshan belt of North China: Tectonics adakitic magmatism and crustal evolution. // *Earth Science frontiers.* – 2003. – №10(4). – P. 373-384. (in English)

5. *Dyachkov B., Oitseva T., Frolova O., Mataibaeva I., Kusmina O. Geotectonic position and ore potential of intrusive-dyke belts in East Kazakhstan. // Proceeding of 17th International multidisciplinary scientific geoconference. – Bulgaria, 2017. – P. 239-246. (in English)*
6. *Zagorsky V.Ye., Vladimirov A.G., Makagon V.M., Kuznetsova L.G., Smirnov S.Z., Dyachkov B.A., Annikova I.Yu., Shokalsky S.P., Uvarov A.N. Large fields of spodumene pegmatites in the settings of rifting and postcollisional shear-pull-apart dislocation of continental lithosphere. // Russian Geology and Geophysics. – 2014. – Vol. 55. – P. 237-251. (in English)*
7. *Morozova L.N. Kolmozerskoe litievoe mestorozhdenie redkometall'nykh pegmatitov: novye dannye po redkoe'lementnomu sostavu (Kol'skij poluostrov) [Kolmozerskoye lithium deposit of rare-metal pegmatites: new data on the rare-element composition (Kola Peninsula)]. // Lithosphere. – 2018. – Vol. 1. – №1. – P. 82-98. (in Russian)*

Данная статья составлена на основе материалов исследований, полученных в результате выполнения НИР по теме ИРН АР08052371 (№0120РК00135), финансируемая МОН РК (договор №120 от 01.06.2020 г.).

Сведения об авторах:

Дьячков Б.А., д-р геол.-минерал. наук, академик Национальной академии Республики Казахстан (г. Алматы, Казахстан), профессор Школы наук о Земле и окружающей среде Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), bdyachkov@mail.ru; ORCID 0000-0002-5956-7496

Зимановская Н.А., PhD, доцент Школы наук о Земле и окружающей среде Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), nata_zim@mail.ru; ORCID 0000-0002-9881-690X

Айтбаева С.С., старший преподаватель Школы наук о Земле и окружающей среде Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), aitbayevass@mail.ru; ORCID 0000-0003-0285-0773

Агеева О.В., инженер геологического отдела Товарищества с ограниченной ответственностью «GEO KZ» (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), ageyeva93@mail.ru; ORCID 0000-0002-2677-0797

Авторлар туралы мәліметтер:

Дьячков Б.А., геология-минералогия ғылымдарының докторы, Қазақстан Республикасы Ұлттық Академиясының академигі (Алматы қ., Қазақстан), Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Жер және қоршаған орта туралы ғылымдар мектебінің профессоры (Өскемен қ., Қазақстан)

Зимановская Н.А., PhD, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Жер және қоршаған орта туралы ғылымдар мектебінің доценті (Өскемен қ., Қазақстан)

Айтбаева С.С., Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Жер және қоршаған орта туралы ғылымдар мектебінің аға оқытушысы (Өскемен қ., Қазақстан)

Агеева О.В., «GEO KZ» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігі геологиялық бөлімінің инженері (Өскемен қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Dyachkov B.A., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), Professor at the School of Earth and Environmental Sciences of the D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Zimanovskaya N.A., PhD, Docent at the School of Earth and Environmental Sciences of the D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Aitbayeva S.S., Senior Lecturer at the School of Earth and Environmental Sciences of the D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Ageeva O.V., Engineer at the Geological Department of the Limited Liability Company «GEO KZ» (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Код МРНТИ 38.53.29

Д.Б. Ченсизбаев^{1,2}, С.М. Кан²¹Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),²Товарищество с ограниченной ответственностью «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина» (г. Алматы, Казахстан)

ФАКТОРЫ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ОСВОЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА

Аннотация. В статье приведены основные условия и факторы освоения промышленных вод Казахстана, в том числе и попутно добываемых при разработке месторождений нефти и газа пластовых рассолов в качестве гидроминерального сырья. Раскрываются особенности формирования и распространения промышленных вод и попутных рассолов. Показана значимость и область применения редких элементов, содержащихся в промышленных водах. Южно-Казахстанская область является одним из самых перспективных регионов, куда входит Шу-Сарысуйская провинция промышленных вод. Приведены данные о содержании редких элементов в подземных водах на территории Казахстана по провинциям. Дана экспертная оценка содержания микроэлементов в природных водах на текущий момент. Также доказана целесообразность и экономическая эффективность переработки гидроминерального сырья на примере зарубежных стран.

Ключевые слова: промышленная вода, гидроминеральное сырье, попутные рассолы, редкие элементы, месторождение, переработка, добыча, формирование, распространение, экспертная оценка.

Оңтүстік Қазақстан өнеркәсіптік жерасты суларын қалыптастыру және игеру факторлары мен шарттары

Аңдатпа. Мақалада Қазақстандағы өндірістік сулардың, оның ішінде гидроминералды шикізат ретінде мұнай-газ кен орындарын игеру кезінде түзілетін тұзды тұздардың дамуының негізгі шарттары мен факторлары көрсетілген. Өндірістік сулар мен онымен байланысты тұзды тұздардың пайда болу және таралу ерекшеліктері ашылды. Өнеркәсіптік суларда кездесетін сирек элементтердің маңызы мен қолдану аясы. Оңтүстік Қазақстан облысына Шу-Сарысу провинциясы кіретін ең перспективалы аймақтардың бірі болып табылады. Провинциялар бойынша Қазақстандағы жер асты суларындағы сирек элементтердің құрамы туралы мәліметтер келтірілген. Табиғи сулардағы микроэлементтер құрамының қазіргі уақытына сараптамалық бағалау. Шетелдер мысалында гидроминералды шикізатты қайта өңдеудің орындылығы мен экономикалық тиімділігі.

Түйінді сөздер: өнеркәсіптік су, гидроминералды шикізат, ілеспе тұздықтар, сирек элементтер, кен орны, қайта өңдеу, өндіру, қалыптастыру, тарту, сараптамалық шолу.

Factors and conditions for the formation and development of industrial underground waters in South Kazakhstan

Abstract. The article presents the main conditions and factors for the development of industrial waters in Kazakhstan, including the formation brines produced during the development of oil and gas fields as hydromineral raw materials. The features of the formation and distribution of industrial waters and associated brines are revealed. Significance and scope of application of rare elements contained in industrial waters. The South Kazakhstan region is one of the most promising regions, which includes the Shu-Sarysu province of industrial waters. Data on the content of rare elements in underground waters in the territory of Kazakhstan, by province, are presented. Expert assessment of the current content of trace elements in natural waters. Also, the feasibility and economic efficiency of processing hydromineral raw materials on the example of foreign countries.

Key words: industrial water, hydromineral raw materials, associated brines, rare elements, field, processing, production, formation, distribution, expert review.

Введение

Подземные воды всегда играли значительную роль в развитии экономики Казахстана. Особенно велика их значимость с учетом дефицита поверхностных вод на территории республики, пресных и слабосоленоватых подземных вод. Преимущественно они используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов и сельскохозяйственных объектов. Интенсивная добыча многих полезных ископаемых привела к тому, что запасы некоторых редких элементов существенно сократились, а потребность в них резко увеличилась за счет расширения использования в новых отраслях техники и технологии. Все острее становится проблема поиска и вовлечения в промышленную разработку новых видов минерального сырья, одним из которых могут стать промышленные подземные воды различных гидрогеологических структур, а также пластовые рассолы, попутно добываемые при разработке месторождений нефти и газа¹⁻⁴ [1].

Промышленная вода – природный высококонцентрированный водный раствор (озерная рапа, подземные воды), используемый для получения соответствующих

солей, а также металлов, микроэлементов, их соединения в количествах, обеспечивающих в пределах конкретных гидрогеологических районов (или их отдельных частей) рентабельную добычу и переработку этих вод с целью получения полезной продукции существующими техническими средствами с использованием современных технологических процессов. Это позволяет рассматривать промышленные подземные воды как жидкую руду и применять при геолого-экономической оценке их месторождений основные положения и методические приемы, используемые при геолого-экономической оценке рудных месторождений⁵.

При разработке месторождений нефти и газа вместе с углеводородным сырьем извлекается значительное количество попутных пластовых вод, которые при наличии в них отдельных компонентов или их соединений являются гидроминеральным сырьем.

Промышленное освоение уникальных пластовых рассолов целесообразно осуществлять в комплексе с освоением ресурсов углеводородного сырья. Добыча и переработка рассолов, благодаря быстрой окупаемости капитальных вложений и высокой рентабельности

¹Абсаматов М.К., Муртазин Е.Ж., Кан С.М., Исабеков Р.Б., Шагарова Л.В. Промышленные воды и оценка загрязнения нефтегазоносной среды регионов Казахстана. – Алматы, 2017. – 128 с.

²Бондаренко С.С., Куликов Г.В. Подземные промышленные воды. – М.: Недра, 1984. – 385 с.

³Посохов Е.В., Толстихин Н.И. Минеральные воды (лечебные, промышленные, энергетические). – Л.: Недра, 1977. – 240 с.

⁴<http://www.rae.ru/monographs/56>

⁵Смолар В.А., Буров Б.В., Веселов В.В. и др. Водные ресурсы Казахстана. – Алматы: НИЦ «Гылым», 2002. – 596 с.

Глубина залегания и минерализация подземных вод
Жер асты суларының пайда болу тереңдігі және минералдануы
Depth of occurrence and mineralization of underground waters

Таблица 1

Кесте 1

Table 1

Провинция, область промышленных вод	Глубина залегания промышленных вод, м	Минерализация, г/л	Дебит скважины, л/с
<i>Прикаспийская провинция</i>			
Северо-Прикаспийская область редкометалльных и йодо-бромных вод	2500-5000	88-408	0,01-0,6
Область йодных вод Актюбинского Приаралья	1800-2600	16-23	до 0,3
Южно-Эмбенская область бромных вод	640-2800	117-252	до 0,2
Восточно-Прикаспийская область йодо-бромно-литиево-стронциевых вод	1200-4500	100-270	0,1-0,3
<i>Мангышлак-Устюртская провинция</i>			
Южно-Мангышлак-Устюртская область поликомпонентных вод	960-2800	120-200	0,1-0,2
Бузачинско-Северо-Устюртская область йодо-бромных вод	1000-2700	100-210	0,05-0,3
<i>Шу-Сарысуйская провинция</i>			
Кокпансорская область редкометалльных вод	570-3500	30-150	0,03-0,4
Моинкумская область редкометалльных вод	870-2500	130-320	0,02-0,3
Терсбулакская область редкометалльных вод	2900-3500	300-320	-
Южно-Торгайская провинция	500-2800	67-150	0,03-0,2
Тенизская провинция	> 500	120-150	выделена по аналогии

производства, могут стать дополнительным источником инвестиций в освоении месторождений нефти и газа. При этом контроль состояния окружающей среды в ходе освоения углеводородного сырья является актуальной экологической задачей.

Годовое потребление литиевой продукции в мире достигло 29,5 тыс. т в карбонатном исчислении. Половину производимого карбоната лития потребляет алюминиевая промышленность, вторую половину – стекольная, эмалевая и керамическая отрасли. Приблизительно четвертая часть литиевой продукции используется в виде гидроксида, около 90% которого расходуется на производство многоцелевых консистентных смазок.

По экспертным оценкам, на текущее время известно, что в природных водах сосредоточено до 78% мировых запасов лития⁶ [2], 40% рубидия, 35% цезия. Бром извлекается в промышленном масштабе только из природных вод, т. к. не образует больших скоплений своих минералов, равно как и йод, мировая добыча которого из природных вод составляет 80-85%. В нефти обнаружено более 60 микроэлементов, а в попутных пластовых водах, представленных в основном рассолами, в промышленных

масштабах содержатся хлористый натрий, хлористый кальций, другие соли и редкие элементы, такие как литий, стронций, цезий, рубидий, йод, бром, бор. При оценке целесообразности использования промышленных вод, кроме концентраций элементов, существенное значение имеют запасы вод, условия будущей эксплуатации (глубина и дебит скважин, глубина динамического уровня, температура и газовый состав вод). Вопрос извлечения этих редких микроэлементов и их соединений в настоящее время приобрел значительную актуальность.

За последние годы исследователями был проведен целый комплекс работ по внедрению наиболее прогрессивных технологий, применяемых при переработке гидроминерального сырья и пластовых вод нефтяных месторождений. Разработанные технологические схемы характеризуют простоту и надежность стадий, доступность сырья, экономичность, применение стандартного оборудования, получение товарных продуктов высокого качества. Кроме того, основополагающим принципом разработки комплексной схемы была автономность каждой стадии и возможность ее отдельной промышленной реализации. В промышленно развитых странах (США,

⁶The Lithium Revolution. Documentary, Directed by Andreas Pichler and Julio Weiss. Gebrueder Beetz Film Production, 2012. Available online: http://www.polarstarfilms.com/en/d_the-lithium-revolution.php

⁷Зелинская Е.В., Воронина Е.Ю. Теоретические аспекты использования гидроминерального сырья. – М.: Академия естествознания, 2009. – 118 с.

⁸Bradley D., Munch L.A., Jochens H., Hynneck S., Labai K. A Preliminary deposit model for lithium brines. // Public Access Report. – Reston (Virginia): U.S. Geological Survey, 2013. – 6 p.

Таблица 2

Содержание редких элементов в подземных водах провинций промышленных вод

Кесте 2

Өндірістік сулардың жер асты суларының провинцияларындағы сирек элементтердің құрамы

Table 2

The content of rare elements in groundwater provinces of industrial waters

Провинция, область промышленных вод	Содержание микрокомпонентов, мг/л							
	Литий	Рубидий	Цезий	Стронций	Калий	Йод	Бром	Бор
Прикаспийская провинция								
Северо-Прикаспийская область редкометалльных и йодо-бромных вод	13-82	1,8-2,8	0,1-230	70-8100	до 10000	5-35	10-7470	–
Область йодных вод Актюбинского Приаралья	0,1-2,75	0,1-0,5	0,05	1-29	–	10-45	20-95	до 20
Южно-Эмбенская область бромных вод	1-16	0,2-3,7	0,1-165	68-900	195-460	0,8-2,8	50-370	1-165
Восточно-Прикаспийская область йодо-бромно-литиево-стронциевых вод	10-17	до 3,5		450-600	200-600	35-100	250-450	200-600
Мангышлак-Устюртская провинция								
Южно-Мангышлак-Устюртская область поликомпонентных вод	5-11,3	1,5-3,1	0,04	320-560	–	3,5-7	180-370	–
Бузачинско-Северо-Устюртская область йодо-бромных вод	–	–	–	–	–	18-20	160-540	30-90
Шу-Сарысуйская провинция								
Кокпансорская область редкометалльных вод	5-165	0,2-12,5	0,1-3	до 1500	до 3400	20-190	200-260	до 270
Моинкумская область редкометалльных вод	30-67	до 3,2	0,1-0,9	540-3500	600-1750	6-90	340-2620	16-40
Терсбулакская область редкометалльных вод	–	–	–	–	до 3500	19	до 3000	
Южно-Торгайская провинция	–	–	–	400-1200	–	–	250-370	–
Тенизская провинция	выделена по аналогии							

Италия, Израиль, Япония, Новая Зеландия, Исландия, Австралия) проводятся интенсивные исследовательские работы по расширению перечня компонентов, извлекаемых из пластовых вод нефтяных месторождений. Также постоянно и планомерно ведутся технологические исследования для разработки методов извлечения этих элементов из конкретных геохимических типов природных вод.

Важным преимуществом подземных вод как сырьевого источника редких элементов является низкая себестоимость продукта, т. к. подземные воды – полноценное сырье, отдельные их геохимические типы обладают сравнительно высокой технологичностью, эксплуатация водных месторождений редких элементов не требует дорогостоящих горных разработок.

Целесообразность и экономическая эффективность переработки гидроминерального сырья подтверждается длительной добычей во многих странах лития, йода, брома, калия и других редких элементов. Например:

- в США из рассолов оз. Серлз с минерализацией около 430 г/л, с максимальным содержанием *Li* – 81 мг/кг, *K* – 26 г/кг, *B* – 4 г/кг, *Br* – 860 мг/кг производят соду,

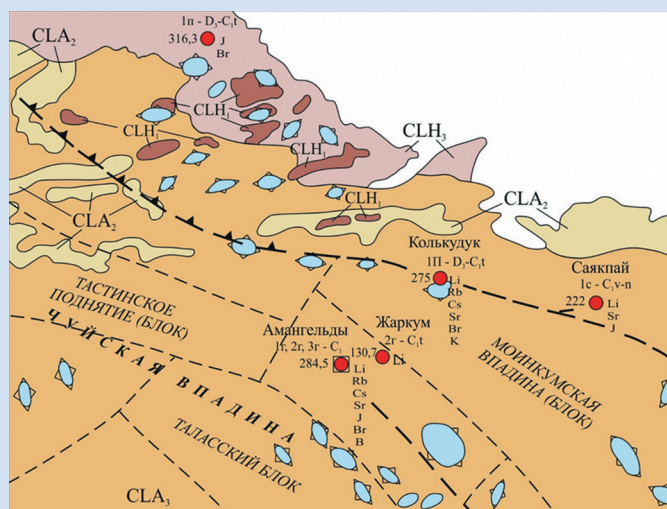


Рис. 1. Структурно-геологическая карта района.

Сурет 1. Ауданның құрылымдық-геологиялық картасы.

Figure 1. Structural-geological map of the area.

сульфат натрия, хлорид калия, бром, бромистый натрий, буру, борную кислоту, фосфорную кислоту, карбонат лития, фосфат лития; из рассолов оз. Сильвер-Пик с минерализацией 180 г/л производят карбонат лития и целый ряд других соединений, а из рассолов Большого соленого озера с минерализацией 310 г/л – сульфаты калия, натрия, хлориды магния, натрия и лития;

- в Италии основным источником бора являются парогидротермы Лардерелло, из них извлекают буру, борную кислоту, аммиачные и карбонатные продукты; общий объем – 4400 т борной кислоты и 4-5 тыс. т буры;

- в Израиле из рассолов Мертвого моря (минерализация 300-320 г/л) извлекают хлористый калий, бромидные продукты и намереваются извлекать $LiCl$ (запасы $LiCl$ – 17,5 млн т);

- в Китае промышленные природные воды (особенно рассолы озер) используют для извлечения редких щелочных элементов и бора;

- в Японии с этой же целью используют парогидротермы;

- на территории бывшего СССР йод из природных вод добывали на Бакинском йодном, Ново-Нефтечалинском йодо-бромном (Азербайджан), Челекенском химическом, Небид-Дагском йодном (Туркмения), Троицком йодном заводах и в Уральском ПО «Галоген» (Россия)⁶⁻⁸.

Кондиционными считаются воды, содержание элементов в которых превышает, мг/дм³: брома – 200, йода – 10, бора – 100, лития – 10, рубидия – 3, цезия – 0,5, калия – 1000, стронция – 300. Промышленные воды называют «жидкой рудой». Это новый вид нетрадиционного и комплексного минерального сырья, промышленное значение которого в полной мере пока трудно оценить. Особенно велико значение «жидких руд» для получения редких металлов (лития, рубидия, стронция, цезия и других). Добыча и переработка промышленных вод представляет значительный интерес, благодаря быстрой окупаемости капитальных вложений, модульности установок, высокой эффективности извлечения ценных компонентов из пластовых рассолов, возможности закачки отработанных очищенных рассолов в продуктивный пласт и высокой рентабельности производства (цена цезия 35-38 долл. США/кг, лития (ЛЭ-1) – 159 долл. США/кг, рубидия (99,9%) – 55-60 долл. США/г, органического брома – 3-10,5 долл. США/кг).

Анализ формирования и распространения промышленных вод на территории Казахстана

На территории Казахстана выделяются 4 провинции промышленных подземных вод: Прикаспийская; Мангистау-Устюртская; Шу-Сарысуйская; Южно-Торгайская, а также две предположительных: Тенизская и Зайсанская⁵. В пределах провинций выделяются области промышленных вод, являющиеся гидрогеологическими структурами второго порядка и характеризующиеся общностью гидрогеологических условий и определенным составом подземных вод, где содержание полезных элементов имеет соответствующий уровень концентраций. Далее в пределах областей выделяют промышленные районы, а в них – месторождения промышленных вод².

Промышленные подземные воды на территории Казахстана в основном непосредственно связаны с зонами

нефтегазонакопления и приурочены, как правило, к глубоким частям крупных артезианских бассейнов, которые в структурно-тектоническом отношении соответствуют впадинам, выделяемым в рельефе складчатого основания древних докембрийских и эпигерцинских платформ, крупным предгорным и межгорным впадинам.

Промышленные подземные воды формируются и преобразуются под влиянием различных природных условий. Среди них основными и определяющими являются физико-географические (рельеф, климат, поверхностные воды) и геолого-структурные факторы. В разных районах в качестве главных выступают то одни, то другие факторы, в сложном сочетании между собой.

Масштабы распространения, химический состав промышленных подземных вод и характер изменения в них концентраций редких элементов различны в разных районах и определяются общей гидрогеологической обстановкой, обусловленной геологической историей районов их распространения (табл. 1, 2).

На основании анализа и сходных пластовых растворов, и известных методов получения соединений из гидроминерального сырья выявлены возможности и условия переработки и извлечения содержащихся в них полезных компонентов. Одна из наиболее перспективных на микроэлементы площадей – Шу-Сарысуйская провинция промышленных подземных вод (рис. 1).

Шу-Сарысуйская впадина расположена в центральной части Южного Казахстана. С запада, юга, востока и северо-востока обрамляется горными сооружениями западных отрогов Тянь-Шаня, Чу-Илийскими горами и Центрально-Казахстанским мелкосопочником, а на северо-западе сливается с Туранской равниной. Современная поверхность территории сочетает разнообразные типы рельефа: предгорная наклонная равнина, грядово-бугристые пески Муюнкум, плато Бетпак-Дала, аллювиальные равнины низовьев рек Шу, Талас, Сарысу. Климат резкоконтинентальный, засушливый. Среднегодовое количество атмосферных осадков изменяется от 100 мм в западной части до 600 мм – на юге, на остальной территории – 100-300 мм.

В вертикальном разрезе бассейна выделяются следующие гидрогеохимические зоны: пресных и слабосоленых вод с минерализацией до 3 г/кг; солоноватых вод с минерализацией 3-10 г/кг; соленых вод с минерализацией от 10 до 50 г/кг; рассолов с минерализацией от 50 до 350 г/кг. В пределах Шу-Сарысуйской впадины промышленные воды были обнаружены в скважинах, вскрывающих отложения верхнего девона – нижнего карбона, с такими элементами как, литий, рубидий, цезий, стронций, калий, йод, бром, бор. Подземные воды пермских и более молодых образований характеризуются весьма малыми концентрациями редких элементов и не представляют промышленного интереса.

Заключение

По результатам ранее проведенных работ на территории впадины были выделены три области редкометалльных вод: Кокпансорская, Муюнкумская и Тасбулакская, причем последняя выделялась прогностически, путем расчетов (Балашов Л.С., 1977).

Работы последних лет позволили выделить здесь еще одну область редкометалльных вод – Кызылгузскую, и подтвердить дополнительным материалом перспективность Кокпансорской и Моюнкумской областей в отношении содержания редких элементов.

Закономерности распространения и условия накопления редких галогенных и щелочных элементов в промышленных подземных водах разнообразны и зависят от состава вод, физико-химической и геологической обстановки их формирования. Большое значение

также играют геохимические особенности самого элемента и положение его в периодической системе Д.И. Менделеева. Из всего разнообразия природных вод, которые могут содержать промышленные концентрации микроэлементов, рассмотрены пластовые хлоридные рассолы артезианских бассейнов, которые по масштабам концентрации редких элементов и своим потенциальным запасам представляют практический интерес. Именно они являются основным аккумулятором и мигрантом редких элементов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алешин Г.Н., Самедов Ф.И., Мир-Бабаев М.Ф., Камьянов В.Ф. Микроэлементный состав высокомолекулярных компонентов нефтей и нефтяных остатков Азербайджана. // *Нефтехимия*. – 1990. – №2. – С. 175-183. (на русском языке)
2. Munch Louisiana, Huneke S.A., Bradley D., Boutt D.F., Labai K., Jochens H. Литиевые рассолы: глобальная перспектива. // *Общество экономических геологов*. – 2016. – Т. 18. – С. 339-365. (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Алешин Г.Н., Самедов Ф.И., Мир-Бабаев М.Ф., Камьянов В.Ф. Әзірбайжанның мұнай мен мұнай қалдықтарының жоғары молекулалық компоненттерінің микроэлементтік құрамы. // *Нефтехимия*. – 1990. – №2. – Б. 175-183. (орыс тілінде)
2. Munch Louisiana, Huneke S.A., Bradley D., Boutt D.F., Labai K., Jochens H. Литий тұздықтары: жаһандық перспектива. // *Экономикалық геологтар қоғамы*. – 2016. – Т. 18. – Б. 339-365. (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Aleshin G.N., Samedov F.I., Mir-Babaev M.F., Kamyaynov V.F. Mikroelementnyj sostav vysokomolekulyarnyx komponentov neftej i neftyanyx ostatkov Azerbajdzhana [Microelement composition of high molecular weight components of oils and oil residues of Azerbaijan]. // *Nefteximiya = Petrochemistry*. – 1990. – №2. – P. 175-183. (in Russian)
2. Munch Louisiana, Huneke S.A., Bradley D., Boutt D.F., Labai K., Jochens H. Lithium brines: a global perspective. // *Society of Economic Geologists*. – 2016. – Vol. 18. – P. 339-365. (in English)

Сведения об авторах:

Ченсизбаев Д.Б., PhD докторант кафедры геологии нефти и газа Satbayev University (г. Алматы, Казахстан); младший научный сотрудник лаборатории промышленных и геотермальных вод Товарищества с ограниченной ответственностью «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина» (г. Алматы, Казахстан), chensizbayev84@mail.ru; **ORCID** 0000-0001-7673-4228

Кан С.М., канд. геол.-минерал. наук, заведующий лабораторией промышленных и геотермальных вод Товарищества с ограниченной ответственностью «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина» (г. Алматы, Казахстан), kan-s58@mail.ru; **ORCID** 0000-0002-2182-0695

Авторлар туралы мәліметтер:

Ченсизбаев Д.Б., Satbayev University мұнай және газ геологиясы кафедрасының PhD докторанты (Алматы қ., Қазақстан); «У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігі», өнеркәсіптік және геотермалдық сулар зертханасының кіші ғылыми қызметкері, (Алматы қ., Қазақстан)
Кан С.М., геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, «У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігі», өнеркәсіптік және геотермалдық сулар зертханасының (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Chensizbayev D.B., PhD Doctoral Student at the Department of Geology of Oil and Gas of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan); Junior Researcher at the Laboratory of Industrial and Geothermal Waters of the Limited Liability Partnerships «Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin» (Almaty, Kazakhstan)

Kan S.M., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head at the Laboratory of Industrial and Geothermal Waters of the Limited Liability Partnerships «Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin» (Almaty, Kazakhstan)

Код МРНТИ 52.13.17

N.O. Sarybayev, S.K. Moldabayev, Hosay Sadat

Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

CYCLIC AND CONTINUOUS METHOD IN COAL MINING

Abstract. This article discusses the current state of the coal industry in the world. The main problems that create barriers to this industry are presented. The importance of coal mining for the developing countries of the world is indicated. The role of coal as one of the main energy resources in modern society is noted. The state of coal mining at domestic mines is discussed. The necessity of using effective mining technologies that will improve the productivity of mining enterprises specializing in coal mining is indicated. The advantages of the introduction of cyclic and continuous method of coal mining are presented on the example of the domestic coal mine Vostochnyi. The main tendencies in the development of cyclic and continuous method in open-pit mining in the countries of the Commonwealth of Independent States are presented. The advantages of the introduction of conveyor transport in mining deep coal and ore deposits are shown.

Key words: open pit mining, coal mine, cyclic and continuous method, rock transportation, conveyor transport, dumping station, effective technologies, coal industry, energy resources, main problems.

Көмір өндірудің циклдiк-ағындық технологиясы

Андатпа. Берілген статъяда әлемдiк көмір өндірісінің қазіргі жағдайы талқыланады. Осы өндіріс саласы алдында қиындықтар туғызып жатқан мәселелер келтірілген. Дамушы елдер үшін көмір өндірісінің маңыздылығы жайлы айтылған. Қазіргі қоғамдағы көмірдің негізгі энергетикалық ресурстардың бірі ретінде рөлі атап өтілді. Отандық разрездердегі көмір өндіру үрдісі талқыланды. Көмір өндіретін тау-кен кәсіпорындарының өнімділігін жақсартуға мүмкіндік беретін өндірудің тиімді технологияларын қолдану қажеттілігі айтылған. Отандық Восточный разрезінің мысалы негізінде көмір өндіру кезінде циклдiк-ағындық технологияны енгізудің артықшылықтары атап өтілді. Тәуелсіз Мемлекеттер Достастығы елдеріндегі ашық тау-кен жұмыстарындағы циклдiк-ағындық технологияның дамуындағы негізгі үрдістері келтірілген. Терең көмір және рудалық кен орындарын игеру кезінде конвейерлік көлікті енгізудің артықшылықтары көрсетілген.

Түйінді сөздер: ашық тау-кен жұмыстары, көмір өндіру, разрез, циклдiк-ағындық технология, конвейерлік транспорт.

Циклично-поточная технология добычи угля

Аннотация. В данной статье обсуждается текущее состояние угольной промышленности мира. Приведены основные проблемы, создающие преграды перед данной отраслью. Обозначена важность добычи угля для развивающихся стран мира. Отмечена роль угля как одного из основных энергетических ресурсов в современном обществе. Обсуждены тенденции добычи угля на отечественных разрезах. Обозначена необходимость применения эффективных технологий добычи, которые позволят улучшить производительность горных предприятий, специализирующихся на добыче угля. На примере отечественного разреза Восточный отмечены преимущества внедрения циклично-поточной технологии при добыче угля. Приведены основные тенденции в развитии циклично-поточной технологии на открытых горных работах в странах Содружества Независимых Государств. Показаны преимущества внедрения конвейерного транспорта при разработке глубоких угольных и рудных месторождений.

Ключевые слова: открытые горные работы, добыча угля, разрез, циклично-поточная технология, конвейерный транспорт.

Introduction

Coal combustion accounts for approximately 40% of global CO_2 emissions from energy use [1]. The urgency of climate change action demands the world to reduce coal use without carbon capture and storage quickly, and cease it over coming decades [2]. The fulfillment of Paris Agreement climate goals requires the stoppage of coal use by power sector before 2050 [3]. However, it should be noted that the coal still remains as one of the main energy sources, especially in Asian countries. The data on the planned energy generation by coal plants in Asian countries is given in table 1.

It can be seen that coal mining is still an important part of energy industry; especially this is true for developing countries. Hence, it is important to use effective technologies of coal mining, which will ensure full extraction of coal from deposits. For example, cyclic and continuous method allows maintaining required production capacity of mines, while reducing transportation costs due to the introduction of a conveyor transport.

Methods

Cyclic and continuous method is a technology of mining operations in which equipment of cyclic and continuous operation is used within the same load flow on the open pit mine. Cyclic equipment is used in excavation and loading operations in this method and in the transport link, the entire rock transportation or certain portion of it is carried

out by a conveyor. Most often, the cyclic and continuous method is used on open pit mines of medium and large productive capacity with their considerable depth, as well as with a large transportation distance (5-12 km). Specific schemes of cyclic and continuous method differ with the presence or absence of combined transport and the type of dumping station¹. The schemes of cyclic and continuous method are shown in table 2.

Table 1
Statistical data on planned coal generated energy in Asian countries

Кесте 1
Азия елдерінде көмірмен жоспарланған энергия өндіру туралы статистикалық деректер

Таблица 1
Статистические данные о планируемой выработке энергии на угле в странах Азии

Country	Coal energy (gigawatt)
South Korea	~9
Philippines	~14
Japan	~35
Vietnam	~35
Indonesia	~35
India	~70
China	> 200

¹Tomakov P.I., Mankevich V.V. Open pit mining of coal and ore deposits: Study aid. – 2nd edition. – 2000. – М.: Moscow State Mining University. – p. 611. (in Russian)

Classification of cyclic and continuous technology schemes on open pit mines

Table 2

Карьердегі циклдік-ағындық технология сұлбаларының жіктелуі

Кесте 2

Классификация схем циклично-поточной технологии на карьерах

Таблица 2

Group of schemes	Index of a scheme	Scheme	Equipment of the load flow				Usage conditions
			Extraction and loading	Face cyclical transport	Dumping station	Continuous transport	
Schemes with and intermediate cyclical transport	1-A	With gross loading on a conveyor	Single bucket excavator	Motor transport	Dumping	conveyor	Soft and well blasted semi-rocks without boulders and rocks
			Single bucket loader	Single bucket loader	Dumping	conveyor	
	1-B	With separation of solid inclusions before loading on a conveyor	Single bucket excavator	Motor transport	Sizing screen	conveyor	Soft rocks with boulders and other rocky inclusions in small amount
	1-C	With crushing of rocks before loading onto conveyor	Single bucket excavator	Motor transport or railway	Crushing or sizing screen and crushing	conveyor	Rocks and semi-rocks after blasting
Schemes with and intermediate cyclical transport	2-A	With gross loading on a conveyor	Single bucket excavator	–	Dumping	conveyor	Soft and well blasted semi-rocks without boulders and rocks
	2-B	With separation of solid inclusions before loading onto a conveyor	Single bucket excavator	–	Sizing screen	conveyor	Soft rocks with boulders and other rocky inclusions in small amount
	2-C	With crushing of rocks before loading onto conveyor	Single bucket excavator	–	Crushing or sizing screen and crushing	conveyor	Rocks and semi-rocks after blasting

Results

The existing types of mobile railway transport in combination with excavators with a capacity of up to 12-15 m³ do not provide high productivity, which reduces its role in the transport system of open pit mines. In this regard, up to 75% of the rock mass in the leading countries of the world, including Russia and Kazakhstan, is transported by road. The average carrying capacity of dump trucks at large open pit mines reaches 120 tons. The quality of BelAZ dump trucks has improved in recent years due to the use of electronically controlled diesel engines and a central cooling system that can be switched off by the impeller. The warranty resource of dump trucks with a carrying capacity of 120-220 tons has been increased to 600 thousand km.

A large number of dump trucks with a carrying capacity of up to 360 tons, produced by the world's leading companies Komatsu, Caterpillar, Unit Rig, Terex, Euclid, etc., have appeared on the market².

Enterprises began to switch to cyclic and continuous method (CCM) with the use of motor vehicles on deep open pits,

the effectiveness of which has been proven by the experience of leading mining enterprises. The use of CCM allows achieving a high concentration of production, improving the performance of mining and transport equipment, ensuring a high degree of automation of technological processes and increasing the efficiency of the enterprise as a whole².

The use of CCM with conveyor lifting of crushed rocks is still considered as the main direction for solving the transport problem of deep open pit mines due to the constant deterioration of the mining technical conditions, and in the near future, coal mines².

Various mining-geological and mining-technical conditions for mining of the Ekibastuz basin, the large thickness of several coal seams (30-180 m), their flat, inclined and steep bedding, the development of coal seams from the surface to a considerable depth (up to 200-700 m) predetermined the use of various opening schemes, mining systems and technological complexes².

There is an inconsistency with the cyclic technology of mining overburden with the use of railway transport

²Rakishev B.R., Moldabayev S.K. Resource saving technologies on coal open pit mines: Study aid. – Almaty: KazNTU, 2014. – 348 p. (in Russian)

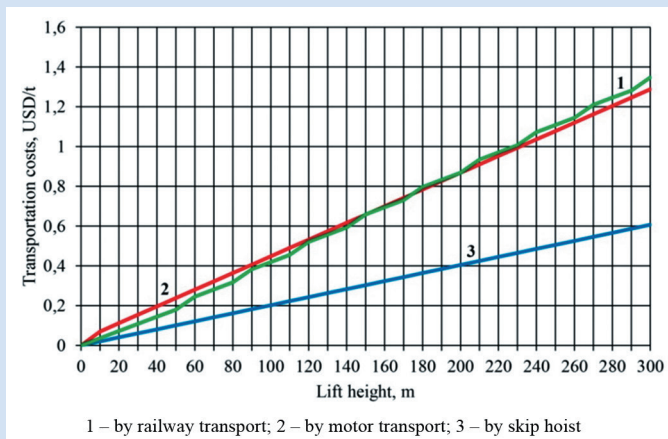


Figure 1. Dynamics of cost price increase of transporting 1 ton of rock mass with increase of lift depth.

Сурет 1. Көтеру тереңдігін арттыра отырып, 1 т тау-кен массасын тасымалдаудың өзіндік құнының өсу серпіні.

Рис. 1. Динамика роста себестоимости транспортирования 1 т горной массы с повышением глубины подъема.

of the continuous technology of coal mining at a depth of mining more than 200 m. It is caused by the difficulty of establishing railway tracks on the lower horizons of the overburden zone with a height of about 135-150 m when opening only from one flank of the open-pit (the end of the Bogatyr open-pit adjoins the other flank). When stripping operations reach a depth of 150 m (horizon + 50.0 m), removal of overburden from the lower (horizons + 30.0 m and below) benches by rail becomes ineffective².

Therefore, a CCM is being introduced at stripping operations with a transition at the lower horizons of the stripping zone to a combined motor-conveyor transport at the Vostochnyi open-pit mine. Work was completed in 2010 on the launch of the first line of the cyclic and continuous stripping complex (CCSC) with the organization of an additional conveyor dump on the surface and the installation of a transfer point and a system of lifting, main and dump conveyors².

It should be noted that continuous coal mining technology was introduced for the first time in the world at the «Bogatyr» coal mine of the Ekibastuz coal basin. In order to increase the efficiency of using the powerful continuous – action excavation and loading equipment of the SRs-2000 rotary excavator, technological schemes have been introduced in mining operations, providing for the joint operation of rotary excavators and conveyor transport vehicles. The coal mine achieved the highest average monthly labor productivity in the industry and the lowest production cost of 1 ton of coal [4].

The introduction of continuous technology will be a real breakthrough for «Bogatyr», as it will allow coal mining at a depth of more than 200 m, since it is difficult to use the rail transport at such depths [5].

Transition to new motor transport – conveyor technology with the increase of productive capacity of LLC «Bogatyr

Komir» from 42 to 50 million tons of coal will free 1000 employees or 15% of personnel, increase labor productivity 1.4 times, reduce cost price of a 1 ton of coal 1.2 times and wagon turnover from 14.3 to 5 hours [6].

Continuous technology with full conveyor transportation of extracted coal in the case of an inclined coal seam dip is implemented at the Vostochnyi coal mine. Delivery of coal to the accumulative averaging and loading complex located on the surface of the stationary board allowed to improve the quality of coal transported to consumers [7].

It has been established, as results of research, that the area of the most economical use of cyclic and continuous method with belt conveyors of a standard slope (up to 16°) with the separation of the open pit wall under the crushing and conveyor complexes in terms of transport costs is limited to a closed elliptical curve within the range of technological parameters: productivity of 10-25 million tons/year and lifting height of 250-600 m. Application of special schemes of crushing and conveyor complexes with a minimum volume of mining capital works provides an expansion of the area of effective use of the cyclic and continuous method [8].

The operating experience of the cyclic and continuous method complexes indicates that most of them have not yet reached their design capacity, in fact it has been reached only by 50-60% and the equipment utilization rate is low over time. However, in connection with the deepening of open pit mines and the decrease in mining operations, the importance of the cyclic and continuous method is increasing. The steeply inclined conveyor with a pressure belt SIC-270 manufactured by NKMZ (Novokramatorsk Machine-Building Plant) and the more powerful SIC-315 ordered by Mikhailovsky mining enrichment plant, introduced at the Muruntau open pit mine are important for cyclic and continuous method development³.

Alternative of a conveyor transport in cyclic and continuous method is a skip hoist, because it is as efficient as a conveyor transport. A comparative analysis of implementing a skip hoist, motor transport and railway transport was done during the research [9]. One of its results is shown in figure 1.

It can be seen from figure 1 that operating a skip hoist while transporting rocks is more efficient compared to motor and railway transport, because it is more cost efficient when the rock mass lifting height values become larger.

Discussion and conclusions

Coal is still one of the main energy sources on Earth, despite all the concerns arising from the climate change and negative impact on the environment. The longer the coal extraction process, the bigger the negative effect of the mining enterprise on the surrounding area. This is especially true when the mining operations reach great depths. One of the solutions to this problem is switching to cyclic and continuous method. The main concern which mining enterprises have regarding this method is a large amount of capital costs associated with introduction of a conveyor transport and construction

³Moldabayev S.K., Shustov A.A., Sultanbekova Z.Z., Adamchuk A.A. Mining and transportation systems of deep and ultra-deep open pit mines: monograph. – Almaty: Satbayev University, 2020. – 482 p. (in Russian)

of dumping stations. However, several researches proved that rate of return of installing a conveyor transport would be positive and payback period of such

investment is short. It just should be noted that switching to cyclic and continuous method is mostly feasible for large mining enterprises with high productive capacities.

REFERENCES

1. Jakob M., Steckel J.C., Jotzo F., et al. The future of coal in a carbon-constrained climate. // *Nature Climate Change*. – 2011. – №10. – P. 704-707. (in English) <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0866-1>
2. Luderer G. et al. Residual fossil CO₂ emissions in 1.5-2°C pathways. // *Nature Climate Change*. – 2018. – №8. – P. 626-633. (in English)
3. Edenhofer O., Steckel J. C., Jakob M., Bertram C. Reports of coal's terminal decline may be exaggerated. // *Environmental Research Letters*. – 2018. – №13. – P. 024019. (in English)
4. Rakishev B.R. Rol' akademika V.V.Rzhevskogo v razvitii gornoj promyshlennosti i nauki v respublikax Central'noj Azii. [Role of academician V.V. Rzhevskiy in development of mining industry and science in countries of Central Asia]. // *Trudy nauchnogo simpoziuma «Nedelya gornyaka – 2010» = Works of scientific symposium «Miners week – 2010»*. // *GIAB = Mining information and analytical bulletin*. – M.: Gornaya kniga = Mining Book, 2010. – Separate issue №S1. – P. 31-42. (in Russian)
5. Aldabayev K. Novye gorizonty «Bogatyrya» [New horizons of «Bogatyrya»]. // *Globus*. – 2020. – №5. – P. 60-62. (in Russian)
6. Shukin V.K., Melekhov D.P. Transformaciya texnologij dobychi uglya na razrezax E'kibastuzskogo mestorozhdeniya, novye resheniya – put' k mirovym standartam [Transformation of coal mining on cuts of Ekibastuz deposit, new solutions – way to world standards]. // *Ugol' = Coal*. – 2015. – № 6. – P. 12-16. (in Russian)
7. Rakishev B., Moldabaev S.K. Cyclic-line technologies on coal cuts of Kazakhstan. // *22nd World mining congress. – Istanbul (Turkey), 2011. – P. 233-237. (in English)*
8. Zhuravlev A.G., Semenkin A.V. Ocenka effektivnosti ciklichno-potochnoj texnologii v usloviyax sovremennyx kar'erov [Assessment of cyclic and continuous method efficiency in conditions of modern open pit mines]. // *Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Proceedings of Tomsk polytechnic university. Engineering of georesources*. – 2020. – Issue. 331. – №10. – P. 80-90. (in Russian)
9. Moldabayev S., Adamchuk A., Sarybayev N., Shustov A. Improvement of Open Cleaning-Up Schemes of Border Mineral Reserves. // *19th SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference EXPO Proceedings 19th, Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining*. – 2019. – P. 331-338. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/1.3/s03.042> (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Jakob M., Steckel J.C., Jotzo F. және басқалар. Көміртегі таралуын шектеу жағдайындағы көмірдің болашағы. // *Табиғаттағы климаттың өзгеруі*. – 2011. – №10. – Б. 704–707. (ағылшын тілінде) <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0866-1>
2. Luderer G. және басқалар. Қалдық СО₂ газының 1.5-2°C жолдарындағы шығысы. // *Табиғаттағы климаттың өзгеруі*. – 2018. – №8. – Б. 626-633. (ағылшын тілінде)
3. Edenhofer O., Steckel J. C., Jakob M., Bertram C. Көмірдің терминалды азаюы жайлы мәліметтер асыра айтылуы мүмкін. // *Экологиялық зерттеулер бойынша хаттар*. – 2018. – №13. – Б. 024019. (ағылшын тілінде)
4. Рақышев Б.Р. Академик В.В. Ржевскийдің Орталық Азияның тау-кен өндірісі мен ғылымының дамуындағы рөлі. // *«Кеншілер аптасы – 2010» ғылыми симпозиумының еңбектері*. // *ГИАБ*. – М.: Тау кітабы, 2010. – №S1 жеке шығарылым. – Б. 31-42. (орыс тілінде)
5. Алдабаев Қ. «Богатырьдің» жаңа белестері. // *Глобус*. – 2020. – №5. – Б. 60-62. (орыс тілінде)
6. Шукин В.К., Мелехов Д.П. Екібастұз кен орны разрездерінде көмір өндіру технологияларын өзгерту, жаңа шешімдер – әлемдік стандарттарға жол. // *Көмір*. – 2015. – № 6. – Б. 12-16. (орыс тілінде)
7. Рақышев Б., Молдабаев С.Қ. Қазақстан көмір разрездерінде циклдің-ағындық технологиялар. // *22-ші Әлемдік тау-кен ісі конгресі*. – 2011. – *Ыстамбұл (Түркия)*. – Б. 233-237. (ағылшын тілінде)

8. Журавлев А.Г., Семенкин А.В. Циклдік-ағындық технологияның тиімділігін қазіргі карьерлер жағдайында бағалау. // Томск политехникалық университетінің хабаршысы. Георесурстар инжинирингі. – 2020. – Т. 331. – №10. – Б. 80-90. (орыс тілінде)
9. Молдабаев С., Адамчук А., Сарыбаев Н., және Шустов А. Жиекбойлық пайдалы қазбаларды ашық әдіспен игеруді аяқтау тәсілдерін жетілдіру. // 19 SGEM Халықаралық Мультипәнаралық Ғылыми ГеоКонференция ЕХРО жұмыстары 19, Геология, Барлау және Тау-кен ісіндегі Ғылым және Технологиялар. – 2019. – Б. 331-338. (ағылшын тілінде) <https://doi.org/10.5593/sgem2019/1.3/s03.042>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Jakob M., Steckel J. C., Jotzo F. и др. Будущее угля в условиях ограничения выбросов углерода. // Изменение климата в природе. – 2011. – №10. – С. 704-707. (на английском языке) <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0866-1>
2. Luderer G. и др. Остаточные выбросы ископаемого CO₂ в путях 1.5–2°C. // Изменение климата в природе. – 2018. – 8. – с. 626–633. (на английском языке)
3. Edenhofer O., Steckel J. C., Jakob M., Bertram C. Сведения о терминальном уменьшении угля могут быть преувеличены. // Письма по экологическим исследованиям. – 2018. – №13. – С. 024019. (на английском языке)
4. Ракишев Б.Р. Роль академика В.В.Ржевского в развитии горной промышленности и науки в республиках Центральной Азии. // Труды научного симпозиума «Неделя горняка – 2010». // ГИАБ. – М.: Горная книга, 2010. – Отдельный выпуск №S1. – С. 31-42. (на русском языке)
5. Алдабаев К. Новые горизонты «Богатыря». // Глобус. – 2020. – №5. – С. 60-62. (на русском языке)
6. Щукин В.К., Мелехов Д.П. Трансформация технологий добычи угля на разрезах Экибастузского месторождения, новые решения – путь к мировым стандартам. // Уголь. – 2015. – №6. – С. 12-16. (на русском языке)
7. Ракишев Б., Молдабаев С.К. Циклично-поточные технологии на угольных разрезах Казахстана. // 22-ой Мировой горный конгресс. – Стамбул (Турция), 2011. – С. 233-237. (на английском языке)
8. Журавлев А. Г., Семенкин А.В. Оценка эффективности циклично-поточной технологии в условиях современных карьеров. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – №10. – С. 80-90. (на русском языке)
9. Молдабаев С., Адамчук А., Сарыбаев Н., Шустов А. Совершенствование схем открытой доработки приконтурных запасов полезного ископаемого. // 19 SGEM Международная Мультидисциплинарная научная геоконференция: Материалы 19-й выставки «Наука и технологии в геологии, разведке и добыче полезных ископаемых». – 2019. – С. 331-338. (на английском языке) <https://doi.org/10.5593/sgem2019/1.3/s03.042>

Information about the authors:

Sarybayev N.O., Master of Technical Sciences, Lecturer at the Mining Department of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), n.sarybayev@satbayev.university; **ORCID** 0000-0001-9856-803X

Moldabayev S.K., Doctor of Technical Sciences, Chair at the Mining Department of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), s.moldabayev@satbayev.university; **ORCID** 0000-0001-8913-9014

Hosay Sadat, Master's Degree Student at the Mining Department of the Satbayev University (Almaty Kazakhstan), H.Sadat@stud.satbayev.university; **ORCID** 0000-0001-9724-3460

Авторлар туралы мәліметтер:

Сарыбаев Н.О., техникалық ғылымдар магистрі, Satbayev University, «Тау-кен ісі» кафедрасы лекторы (Алматы қ., Қазақстан)

Молдабаев С.К., техникалық ғылымдар докторы, Satbayev University, «Тау-кен ісі» кафедрасы меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

Хосай Садат, Satbayev University, «Тау-кен ісі» кафедрасы магистранты (Алматы қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Сарыбаев Н.О., магистр технических наук, лектор кафедры «Горное дело» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Молдабаев С.К., д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Горное дело» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Хосай Садат, магистрант кафедры «Горное дело» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

TECH MINING RUSSIA

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА
9-10 СЕНТЯБРЯ 2021, МОСКВА

Приглашаем Вас принять участие в 3-й международной конференции TECH MINING RUSSIA 2021, НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, которая пройдет 9-10 сентября 2021 в Москве, отель Marriott Courtyard Павелецкая.

TECH MINING RUSSIA посвящена работе горнодобывающей промышленности, одной из самых важных отраслей промышленности Российской Федерации. Основной фокус конференции - это технологии, которые применяются в отрасли и направлены на повышение эффективности и увеличение производительности на всех этапах работы предприятия.

Конференция объединяет представителей горнодобывающей отрасли, разработчиков, инженеров, производителей горнодобывающего оборудования, специалистов по цифровизации и роботизации предприятий отрасли, представителей научного сообщества. Это место для укрепления деловых связей, налаживания новых контактов и договоренностей о сотрудничестве. **Для представителей горнодобывающих предприятий участие бесплатное.**

Деловая программа конференции будет освещать вопросы:

- Удаленного управления на горном предприятии;
- Проектирования, реконструкции и строительства горнодобывающего предприятия;
- Современных IT решений и их внедрения;
- Передовых технологий в обработке, обогащении и транспортировке;
- Новых решений в разведке месторождений и добыче полезных ископаемых;
- Технологий охраны труда;
- Технологий безопасности современного предприятия;
- Другие вопросы.

На конференции будет работать **выставка современных технологий**, где Вы сможете получить консультацию специалистов и экспертов отрасли.

Для получения дополнительной информации и регистрации на мероприятие направляйте Ваш запрос на почту info@techmining.ru
Телефон **+7-499-11-205-11**

Сайт мероприятия www.techmining.ru

Даты проведения: **9-10 сентября 2021 года**



MinTech-2021

27-я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ,
УГОЛЬНОЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



28-30 сентября
г.Павлодар
КАЗАХСТАН

www.kazexpo.kz

По вопросам участия
обращайтесь к организаторам:



тел./факс: 8 (727) 250-75-19
тел: 8 (727) 313-76-28, 313-76-29
e-mail: kazexpo@kazexpo.kz

Код МРНТИ 52.13.07

Г.Б. Ескенова, А.Т. Абдиева

«Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамының (Қарағанды қ., Қазақстан)

ТАУ ЖЫНЫСТАРЫН ЖАРЫЛЫСПЕН БҰЗУ КЕЗІНДЕ ЖАНШЫЛУ ЖӘНЕ ЖАРЫҚШАҚТАРДЫҢ ПАЙДА БОЛУ АЙМАҚТАРЫНЫҢ ӨЛШЕМДЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Мақалада физикалық көрініс қарастырылып, тау жыныстары массивінің жарылғыш бұзылу аймақтары анықталды. Жарылғыш заттың ұңғымалық зарядтарымен тау жыныстарының жаншу аймағын анықтау формуласы әзірленді. Жарылғыш заттың зарядтарының жарылуы кезінде тау жыныстарының ұсақталу аймағының шамасы зарядтың радиусына, өнеркәсіптік жарылғыш заттың энергетикалық көрсеткіштеріне тура пропорционал және тау жыныстары бөлшектерінің ұшып кетуінің критикалық жылдамдығына кері пропорционал өзгеретіні анықталды. Авторлар жасаған жарылыспен тау жыныстарын ұсақтау кезінде жарықшақтың пайда болу аймағын зерттеу схемасы ұсынылған. Радиалды жарықшақтар аймағының радиусын анықтау формуласы жасалды. Радиалды жарықшақтар аймағының мөлшері тау сілемінің жарықтығына, физикалық-механикалық және тау-кен-технологиялық қасиеттеріне, жарылғыш заттың энергиясын кернеу толқынына беруге және олардың массивке әсер ету уақытына байланысты екендігі анықталды.

Түйінді сөздер: бұрғылау-жару жұмыстары, қатты орта, жарылыс заттары, ұсақтау аймағы, жарықшақ түзілу аймағы, серпінді деформация аймағы, заряд радиусы, бөлшектердің ұшуының сыни жылдамдығы, бойлық толқындардың жылдамдығы, созылу кернеулері, тангенциалдық кернеулер, сіңіру коэффициенті.

Исследование размеров зон раздавливания и трещинообразования при взрывном разрушении горных пород

Аннотация. В статье рассмотрена физическая картина и выделены участки взрывного разрушения горного массива. Разработана формула для определения зоны сжатия горных пород скважинными зарядами взрывчатых веществ. Установлено, что размер зоны дробления горных пород при взрыве зарядов прямо пропорционален радиусу заряда и обратно пропорционален критической скорости частиц породы. Авторы представляют схему исследования зоны разрушения при дроблении горных пород взрывом. Разработана формула для определения радиуса зоны радиального разрушения. Установлено, что размер радиальной зоны разрушения зависит от яркости массива, физико-механических и горно-технологических свойств, передачи энергии волнам напряжения и времени их воздействия на массив.

Ключевые слова: буровзрывные работы, твердая среда, продукты взрыва, зона раздавливания, зона трещинообразования, зона упругих деформаций, радиус заряда, энергетические показатели промышленных взрывчатых веществ, критическая скорость разлета частиц, скорость продольных волн, растягивающие напряжения, тангенциальные напряжения, коэффициент поглощения.

Research of the sizes of crushing and cracking zones during explosive destruction of rocks

Abstract. The article considers the physics and determines the zones of blasting destruction of the massif of rocks. The formula has been worked out to determine the zone of rocks crushing with downhole charges of explosive. It has been stated that the value of the zone of crushing of rocks under the blast of explosive charges changes directly proportional to the charge radius, energetic indices of industrial explosives, and it changes in inverse proportion to critical speed of rock particles projection. The scheme of investigating the zone of fissuring at rock crushing with a blast created by the authors has been suggested. The formula to determine the radius of the zone of radial fractures has been worked out. It has been stated that the measure of the zone the radial fractures depends on the rock jointing, physical-mechanical and mining-technological properties of rock massif, the transfer of explosives energy into the strain wave, and the period of their influence on the massif.

Key words: drilling and blasting operations, solid medium, products of a blast, zone of crushing, zone of rock jointing, zone of elastic deformations, charge radius, energy indicators of industrial explosives, critical speed of rock particles projection, speed of longitudinal waves, tensile stresses, tangential stresses, absorption coefficient.

Жұмыстың мақсаты

Жарылыстың классикалық схемасына сәйкес тау жыныстарының жарылуының физикалық көрінісін қарастыру. Осы схемаға сәйкес, жарылыс толқыны ортамен байланыста болатын зарядтың бетіне жеткен кезде жарылғыш заттың (ЖЗ) зарядының бір мезгілде жарылуынан кейін жынысқа жоғары қысымды жарылғыш газдардың әсерін анықтау.

Жарылғыш зат зарядының бір мезгілде жарылуының нәтижесінде ортада сығу толқыны пайда болады, ол жарылыс өнімдері – қоршаған ортамен байланыста тау жынысының қабатын қысады, ұсақтайды және сұйық күйге келтіреді. Мұндағы қоршаған орта материалы жан-жақты сығылу күйін сезінеді. Қатты ортадағы жарылыстың әсері туралы идеяға сәйкес¹⁻⁴ [1, 2] реттелетін ұсақтау аймағы екі аймақты қамтиды: ұсақтау аймағы және сыну аймағы (сурет 1).

ЖЗ зарядының жарылысы кезінде бөлінетін кинетикалық энергияның шамасы:

$$E = \pi \times r_{\text{з.а.}}^2 \times l_{\text{з.а.}} \times \gamma_{\text{ж.з.}} \times Q,$$

мұндағы:

$r_{\text{з.а.}}$ – ұсақтау аймағының радиусы, м;

$l_{\text{з.а.}}$ – ЖЗ зарядының ұзындығы, м;

$\gamma_{\text{ж.з.}}$ – ЖЗ көлемдік салмағы, кг/м³;

Q – жарылыстың меншікті энергиясы, кгм/кг.

Тау жынысы массасының кинетикалық энергиясы ЖЗ зарядының жарылуы кезінде бөлінетін энергияға тең екенін ескере отырып, біз аламыз:

$$0,5\pi \times l_{\text{з.а.}} \times \rho_{\text{р.ж.}} \times v_0^2 \times r_{\text{з.а.}}^2 = \pi \times r_{\text{з.а.}}^2 \times l_{\text{з.а.}} \times \gamma_{\text{ж.з.}} \times Q,$$

мұндағы:

$\rho_{\text{р.ж.}}$ – радиалды жарықтар аймағындағы тау жыныстарының тығыздығы, кг/м³;

v_0 – заряд бетіндегі тау жынысы бөлшектерінің жылдамдығы, м.

Осыдан:

$$v_0 = \sqrt{(2Q \times \gamma_{\text{ж.з.}}) / \rho_{\text{р.ж.}}}.$$

¹Снитка Н.П. және т. б. Бұрғылау-жару жұмыстарының параметрлерін және карьерлердегі борттардың тұрақтылығын басқару. – Ташкент: Фан, 2017. – 288 б. (орыс тілінде)

²Мосинец В.Н. Тау жыныстарындағы жарылыстың ұсақтау және сейсмикалық әсері. – М.: Жер Қойнауы, 1976. – 271 б. (орыс тілінде)

³Ракишев Б.Р. Тау жыныстарының механикалық бұзылуының энергия сыйымдылығы. – Алматы: Баспагер, 1998. – 210 б. (қазақ тілінде)

⁴Лукьянов А.Н. Саланың күрделі құрылымдық кен орындарын ашық игеру кезінде технологиялық процестерді қарқындалу әдістері мен құралдарын зерттеу, зерттеу және енгізу. / Дисс... д-р техн. ғылымдары. – М., 1983. – 452 б. (орыс тілінде)

Кинетикалық теорияның ұстанымдарына сүйене отырып, уақыт бірлігіне зарядтың айналасындағы кез-келген сфералық беті арқылы материалдың көлемі зарядтың бастапқы шекарасынан тыс газдардың көлеміне тең, яғни:

$$4\pi r^2 \times v = 4\pi r_{\text{ж.а.}}^2 \times v_0,$$

Немесе:

$$v = v_0 (r_{\text{ж.а.}}/r)^2, \quad (1)$$

мұндағы:

r – ЖЗ зарядының радиусы;

v – арақашықтағы тау жыныстар бөлшектерінің жылдамдығы, м/с.

(1) формула есебінен аламыз:

$$v = \sqrt{(2 \times Q \times \gamma_{\text{ж.с.}}) / \rho} \times (r_{\text{ж.а.}}/r)^2,$$

мұндағы:

ρ – тау жыныстарының тығыздығы, кг/м³ ($\rho = \Delta/g$);

Δ – табиғи күйдегі жыныстың көлемдік салмағы, кг/м³;

g – еркін түсуді төмендету, м/с²;

v мәнін келесі формуламен анықтаймыз:

$$v = \sqrt{(2 \times Q \times \gamma_{\text{ж.с.}}) / \Delta} \times (r_{\text{ж.а.}}/r)^2,$$

мұндағы:

$v = v_{\text{кр}}$;

$v_{\text{кр}}$ – тау жыныстарының критикалық жылдамдығы, м/с.

Тау жыныстарының сыну аймағының радиусын ұңғымалық зарядтармен анықтаймыз:

$$r_{\text{ж.а.}} = (r^4 \sqrt{\gamma_{\text{ж.с.}} Q / \Delta}) / (0,476 \sqrt{v_{\text{кр}}}).$$

Осылайша, жарылғыш зарядтардың жарылуы кезінде тау жыныстарының жаншу аймағының мөлшері зарядтың радиусына, өнеркәсіптік ЖЗ энергия көрсеткіштеріне тікелей пропорционал және тау жыныстарының бөлшектерінің бөліну жылдамдығына кері пропорционал болатындығы анықталды.

Жұмыстарының мәліметтері^{5, 6} бойынша, қалыптасқан жаншу аймағының мөлшері жарылыс өнімдерінің қысымына, жыныстың қоршаған зарядының беріктігі мен серпімді қасиеттеріне де байланысты. Бұл аймақтың радиусын тәуелділік арқылы бағалау ұсынылады:

$$r_{\text{раз}} = r C_p \times (\sqrt{\rho} / 5 \sigma_{\text{сж}}),$$

мұндағы:

C_p – массивтегі бойлық толқындардың жылдамдығы, м/с;

$\sigma_{\text{сж}}$ – тау жыныстарының сығылуға беріктігінің шегі, МПа.

Осылайша, тау жыныстарының массивін жарылғыш түрде бұзу кезінде ұсақтау аймағының радиусы ЖЗ зарядының радиусына, кернеулердің бойлық толқындарының таралу жылдамдығына, жарылатын жыныстардың тығыздығына және тау жыныстарының сығылу беріктігіне кері пропорционал екендігі анықталды.

Жарықшақтардың пайда болу аймағы (радиалды жарықтардың пайда болу аймағы) жыныстың созылу беріктігінен асатын тангенциалды созылу кернеулеріне негізделген. Зерттеулер жарылыс орталығынан алыстаған кезде сығылу толқынынан туындаған кернеулердің қарқындылығы төмендейтінін және тау жыныстарының бұзылу процесі басқаша болатындығын анықтады^{5, 6}. Сығылу толқынымен қозғалысқа қатысатын тау жыныстары

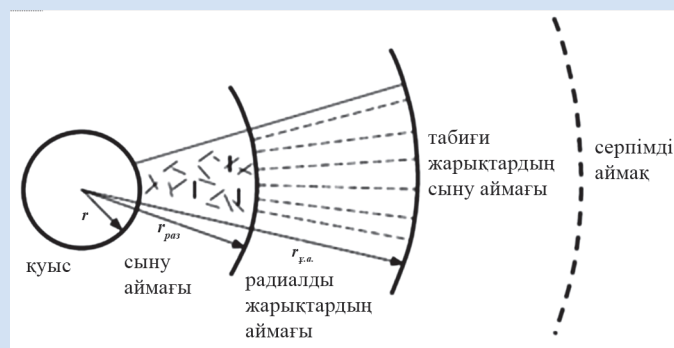
радиус бойымен жарылыс орталығынан шығып қозғалуды жалғастырады. Нәтижесінде ойдан бөлінетін ортада әрбір элементарлы цилиндрлік қабат созылып, радиусын арттырады, бұл зарядтың барлық бағытта бөлінетін радиалды жарықтар жүйесінің пайда болуына әкеледі. Аймақтағы тау массивінің тұтастығының бұзылуы зарядтың бетіне қалыпты бағытта бағытталған кішкентай жарықшақтардың пайда болуымен жүреді. Радиалды жарықшақтардың пайда болуы тау массивінің үзілу беріктігінен асатын тангенциалды созылу кернеулерінің болуына байланысты. Жарылыс орталығынан одан әрі алыстаған кезде созылу кернеулерінен туындаған деформациялар тоқтайды және жаңа жарықтар пайда болмайды. Алайда, бұрын пайда болған жарықшақтар созылу күштерінің шоғырлануы болатын жерде олардың ұштарындағы кернеулердің қайта бөлінуіне байланысты біршама қашықтыққа таралуы мүмкін.

Полярлық координаталар жүйесіндегі екі өлшемді есепті қарастырғанда, жұмысқа⁷ сәйкес, ішкі қысымы бар ұңғыманың айналасындағы кернеу күйі Р радиалды σ_r және кернеудің азимутты σ_θ компоненттерімен сипатталады (сурет 2).

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_r \cos^2 \theta + \sigma_\theta \sin^2 \theta \\ \sigma_y &= \sigma_r \sin^2 \theta + \sigma_\theta \cos^2 \theta \\ \tau_{xy} &= (\sigma_r - \sigma_\theta) \cos \theta \sin \theta \end{aligned} \quad (2)$$

ЖЗ зарядтары бір мезгілде жарылатын жағдайда зарядтар желісі бойынша массивтің кернеулік күйі олардың арасында ең аз дәрежеде пайда болады. Осыған байланысты зарядтардың параметрлерін таңдағанда, зарядтар арасындағы қашықтықтың ортасына қарама-қарсы ені Δ болатын қабаттағы жыныстың бұзылуын қамтамасыз ету шарттарын ескеру қажет.

В нүктесіндегі кернеулі күйді бағалау кезінде $\sigma_\theta^B = 0$ есептеу керек, өйткені көршілес зарядтардың бір уақытта жарылуы кезінде зарядтан радиалды бағытта



Сурет 1. Тау жыныстары массивінің жарылу аймақтары.

Рис. 1. Зоны взрывного разрушения горного массива.

Figure 1. Zones of explosive destruction of the mountain range.

⁵Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Серпімділік теориясы. – М.: Ғылым, 1999. – 560 б. (орыс тілінде)

⁶Миронов П.С. Жарылыстар және құрылыстардың сейсмикалық қауіпсіздігі. – М.: Жер Қойнауы, 1995. – 168 б. (орыс тілінде)

⁷Рақышев Б.Р., Винокуров Л.В. Тау жыныстары массивіндегі бұзылу көздерін Пеленгациялау. – Алматы: Ғылым, 2002. – 236 б. (қазақ тілінде)

Разрушение горных пород

AB сызығында орналасқан нүктелердегі массивтің жылжуы мүмкін емес.

В нүктесінде көршілес зарядтардың жарылуынан болатын тангенциалды кернеу τ_{xy}^B шамаға тең, бірақ бағытта кері болады. Сондықтан алынған мәндер $\tau_{xy}^B = 0$.

Бұл жағдайда радиалды кернеулердің қосындысын ескере отырып, В нүктесі үшін (2) теңдеулер:

$$\begin{aligned} \sigma_x^B &= 2\sigma_r \cos^2\theta; \\ \sigma_y^B &= 2\sigma_r \sin^2\theta; \\ \tau_{xy} &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Мұнда:

$$\cos^2\theta = a^2/(a^2 + \Delta^2); \sin^2\theta = \Delta^2/(a^2 + \Delta^2),$$

мұндағы a – ұңғымалар арасындағы қашықтық, м.

В нүктесіндегі созылу кернеулері және бір ұңғымалық зарядтың жарылуынан болатын радиалды кернеу формула бойынша есептеледі⁸:

$$\begin{aligned} \sigma_p^B &= \sigma_y^B - \mu\sigma_x^B; \\ \sigma_r(r) &= P f_p(r) f_3(r), \end{aligned}$$

мұндағы:

μ – тау жынысының деформациялық құрылымын сипаттайтын Пуассон коэффициенті;

P – ұңғыма қабырғасындағы детонация өнімінің қысымы, Па;

$f_p(r)$ – цилиндрлік толқындардың қашықтыққа геометриялық сәйкес келмеу функциясы, $f_3(r) = (r_c/r)^{0.5}$;

$f_3(r)$ – диссипативті жоғалымдарды ескеретін, жұту функциясы, $f_3(r) = e^{-\alpha r/r_c}$;

r_c – ЖЗ ұңғымалық зарядының радиусы, м;

r – ұңғымалық зарядқа дейінгі қашықтық, м.

Жұту коэффициенті α тау жыныстарының акустикалық қаттылығын ескере отырып анықталады:

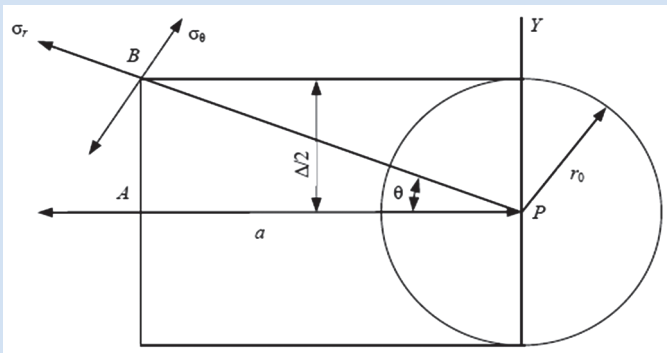
$$\alpha = (-0,155) \times 10^{-8} \times \rho V,$$

мұндағы:

ρ – тау жынысының тығыздығы, кг/м³;

V – тау жыныстарының массивінде бойлық толқындардың таралу жылдамдығы, м/с.

$$r = 0,5(a^2 + \Delta^2)^{0.5}.$$



Сурет 2. Тау жыныстарын жарылыспен ұсақтау кезінде жарықшақтың пайда болу аймағын зерттеу схемасы.

Рис. 2. Схема исследования зоны трещинообразования при дроблении горных работ взрывом.

Figure 2. Scheme of the study of the crack formation zone during crushing of mining operations by explosion.

(3) формуладағы σ_y^B , σ_x^B және σ_r мәндерін ауыстыру нәтижесінде келесі формуланы аламыз:

$$\sigma_p^B = 2Pd_c 0,5(\mu a^2 - \Delta^2)(a^2 + \Delta^2)^{-1,25} \exp(-\alpha(a^2 + \Delta^2)^{0.5} d_c^{-1}),$$

мұндағы d_c – ұңғыма диаметрі, м.

Қабатты жынысты ұсақтау енімен Δ анықтау келесі шарт бойынша анықтай аламыз:

$$\sigma_p^B \geq [\sigma_p] k_{mp} \Psi,$$

мұндағы:

$[\sigma_p]$ – динамикалық жүктеме режимінде жыныстың созылу күші, Па;

k_{mp} – массивтің жарықшақтануына әсер ететін коэффициент;

Ψ – кернеу толқынының динамикалық компонентінің жынысының алдын-ала әлсіреуін ескеретін коэффициент.

Егер ұңғымалардағы заряд тығыздығы төмен болса, онда ұңғыманың қабырғаларындағы детонация өнімдерінің қысымын формула бойынша есептеуге болады⁹:

$$P = Q\omega(\gamma - 1)(\vartheta_c - \alpha_c)^{-1},$$

мұндағы:

Q – ұңғымадағы ЖЗ зарядының массасы, кг;

ω – ЖЗ үлестік салмағы, Дж/кг;

γ – изоинтроптың көрсеткіші;

ϑ_c – ұңғыма көлемі, м³;

α_c – коволом, ұңғымадағы қысым 200 МПа-дан аспайтындықтан, мәнді елемеге болады.

Келесі қатынасын ескере отырып анықтаймыз:

$$Q/\vartheta_c = 4q/(\pi^5 d_c^2).$$

Ұңғымалардың қабырғаларына детонация өнімдерінің қысымы:

$$P = 4q\omega(\gamma - 1)\eta(\pi d_c^2),$$

мұндағы q – зарядтың сызықтық массасы, кг/м;

$4\omega(\gamma - 1)\eta$ – энергия жоғалымын ескеретін, коэффициент.

Зерттеулер радиалды¹⁰ жарықшақтар аймағының мөлшері тау массивінің жарықшақтылығына, физика-механикалық және тау-кен техникалық қасиеттеріне, кернеу толқынына ЖЗ энергиясын беруге және олардың массивке әсер ету уақытына байланысты екенін анықтады.

Радиалды жарықшақтардың гтр пайда болу аймағының радиусы мына формула бойынша анықталады:

$$r_{mp} = [\mu/(1 + \mu)] \times \sigma_{сжс}/\sigma_p, \quad (4)$$

мұндағы:

σ_p – тау жыныстарының созылу беріктігі, МПа;

μ – тау жыныстарының деформациялық қасиеттерін сипаттайтын Пуассон коэффициенті.

$$\mu = (C_p^2 - 2C_s^2)/[2(C_p^2 - 2C_s^2)], \quad (5)$$

мұндағы:

C_p, C_s – сәйкесінше бойлық және көлденең толқындардың таралу жылдамдығы, м/с.

(4) және (5) формулаларын түрлендіре отырып, тау жыныстарын жарылыс кезінде жарықшақтардың пайда болу аймағының радиусын есептеудің соңғы формуласын аламыз:

$$r_{mp} = (r_0 C_p / \sigma_p) \times [(C_p^2 - 2C_s^2)/3(C_p^2 - 2C_s^2)] \times \sqrt{\gamma \sigma_{сжс} / 5}.$$

Осылайша, зерттеулер жарықшақтың пайда болу аймағының радиусы ЖЗ зарядының радиусына, бойлық кернеу толқындарының таралу жылдамдығына, тау жыныстарының сығылу беріктігіне және керісінше – көлденең кернеу толқындарының таралу жылдамдығына және тау жыныстарының созылу беріктігіне тікелей пропорционалды екенін анықтады.

⁸Миронов П.С. Жарылыстар және құрылыстардың сейсмикалық қауіпсіздігі. – М.: Жер Қойнауы, 1995. – 168 б. (орыс тілінде)

⁹Кузнецов Г.В. Жарылыс жұмыстары. – М.: Жер Қойнауы, 1993. – 368 б. (орыс тілінде)

¹⁰Рақышев Б.Р., Винокуров Л.В. Пеленгация көздерін ауытқу массивтегі тау бойынша род. – Алматы: Ғылым, 2002. – 236 б. (қазақ тілінде)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Норов Ю.Д., Бибик И.П., Заиров Ш.Ш. Жарылған тау-кен массасының сапа өлшемі бойынша бұрғылау-жару жұмыстарының тиімді параметрлерін басқару. // Жоғары оқу орындарының жаңалықтары. Тау-кен журналы. – 2016. – №1. – Б. 87-93. (орыс тілінде)
2. Zairov Sh., Ravshanova M., Karimov Sh. Әр түрлі қаттылықтағы тау жыныстарынан тұратын массивті жарылыстың бұзылуының ғылыми-техникалық негіздері. // Пайдалы қазбалар кен орындарын әзірлеу. – 2017. – №11(2). – Б. 46-51. (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Норов Ю.Д., Бибик И.П., Заиров Ш.Ш. Управление эффективными параметрами буровзрывных работ по критерию качества взорванной горной массы. // Известия вузов. Горный журнал. – 2016. – №1. – С. 87-93. (на русском языке)
2. Zairov Sh., Ravshanova M., Karimov Sh. Научно-технические основы взрывного разрушения массива горных пород различной крепости. // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 2017. – №11(2). – С. 46-51. (на английском языке)

REFERENCES

1. Norov Yu.D., Bibik I.P., Zairov Sh.Sh. Upravlenie e'ffektivnymi parametrami burovzryvnykh rabot po kriteriyu kachestva vzorvannoj gornoj massy. [Control over the efficient parameters of drilling and blasting operations by the criterion of the quality of blasted rock mass]. // Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal. – 2016. – №1. – P. 87-93. (in Russian)
2. Zairov Sh., Ravshanova M., Karimov Sh. Scientific and technical fundamentals for explosive destruction of the mass composed of rocks with different hardness. // Mining of Mineral Deposits. – 2017. – №11(2). – P. 46-51. (in English)

Авторлар туралы мәлімет:

Ескенова Г.Б., техника ғылымдарының магистрі, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан), gyka_12@mail.ru; **ORCID** 0000-0001-8184-4085

Абдиева А.Т., техника ғылымдарының магистрі, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан), ayzhan-abdieva@mail.ru; **ORCID** 0000-0001-9368-674X

Сведения об авторах:

Ескенова Г.Б., магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан)

Абдиева А.Т., магистр технических наук, преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан)

Information about the authors:

Yeskenova G.B., Master of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-Profit Joint-Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Abdiyeva A.T., Master of Technical Sciences, Lecturer at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-Profit Joint-Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)



17-Й ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФОРУМ МАЙНЕКС РОССИЯ

5-7 октября – г. Москва, Россия

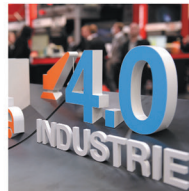
Форум МАЙНЕКС Россия – ведущая международная отраслевая площадка, открывающая новые возможности и форматы для развития бизнеса в горнодобывающей и металлургической отраслях России и стран Евразийского Экономического Сообщества.

«Развитие горной индустрии будущего»



Форум и мастер-классы

Программа форума объединяет комплекс мероприятий и событий, организуемых на площадке в Москве и виртуально. Благодаря технологии гибридных мероприятий участники форума смогут слушать презентации и задавать вопросы докладчикам, выступающим как на физической площадке в Москве, так и удаленно.



Конференция «Трансформация 4.0»

Конференция предоставляет международную площадку для обсуждения перспектив промышленной трансформации в горно-металлургической отрасли с использованием цифровых решений и технологий «Индустрия 4.0».



Конференция «Кадровые ресурсы ГМК»

В рамках ярмарки проводится открытая конференция «Кадровые ресурсы ГМК». В ходе конференции ВУЗы и компании смогут представить успешные проекты, провести мастер-классы и обсудить проблемы и возможные пути для их решения.



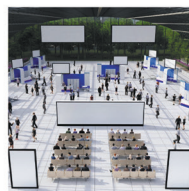
Выставка «МАЙНЕКС Россия»

Выставка технологий и проектов проводится в рамках форума, стимулируя трансфер в горнодобывающую отрасль передовых технологий, создание партнёрств и привлечение инвестиций.



Кадровая Ярмарка

Впервые на выставке проводится Кадровая Ярмарка с участием HR-директоров, руководителей направлений оценки, обучения и развития персонала, управления талантами, рекрутинга, ВУЗов, Центров научно-технического развития, Кадровых агентств и компаний, специализирующихся на разработке программ и технологий управления персоналом и обучения.



Виртуальная выставка

Виртуальная выставка «МАЙНЕКС Форум», предлагает маркетинговую и коммуникационную платформу, отвечающую требованиям эпохи цифровой трансформации горно-металлургической отрасли.

Москва – Россия
+7 495 128 35 77
ru@minexforum.com

Нур-Султан – Казахстан
+7 7172 696 836
kz@minexforum.com

Лондон – Великобритания
+44 208 089 2886
uk@minexforum.com

minexrussia.com



Код МРНТИ 52.45.17:52.45.21

Ш.А. Телков, А.С. Дуйсекешова, И.Ю. Мотовилов

Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ ПРОМПРОДУКТА МАГНЕТИТОВЫХ РУД

Аннотация. На пробе промпродукта магнитного обогащения руды месторождения Атансор выполнены исследования по определению гравитационной и магнитной обогатимости с целью разработки технологии ее переработки. В результате проведенных исследований установлено, что распределение содержания железа по классам крупности относительно содержания в промпродукте практически равномерное. На основании результатов, полученных при выполнении фракционного анализа и гравитационном обогащении промпродукта отсадкой, а также минералогических исследований, которые показали тонкозернистую вкрапленность магнетита, можно констатировать, что для раскрытия минеральных зерен в магнитном промпродукте руды месторождения Атансор требуется тонкое измельчение. Для получения железных концентратов с содержанием железа не менее 55% рекомендуется использовать мокрое магнитное обогащение.

Ключевые слова: измельчение, магнетитовая руда, гравитационный метод обогащения, фракционный анализ, промпродукт, отсадка, минералогические исследования, железо.

Магнетит кендерінің өнеркәсіптік өнімін байыту технологиясын әзірлеу

Аннотация. Атансор кен орнының кендерін магниттік байыту өндірістік өнімінің сынамасында оны қайта өңдеу технологиясын әзірлеу мақсатында гравитациялық және магниттік байытуды анықтау бойынша зерттеулер жүргізілді. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде өнеркәсіптік өнімнің құрамына қатысты ірілік кластары бойынша темір құрамының таралуы іс жүзінде біркелкі екені анықталды. Фракциялық талдау жүргізу және өнеркәсіптік өнімді тундыру арқылы гравитациялық байыту кезінде алынған нәтижелерге, сондай-ақ магнетиттің ұсақ түйірлі шашырауын көрсеткен минералогиялық зерттеулердің нәтижелеріне сүйене отырып, Атансор кен орнының магниттік өнімінде минералды дөңдерді ашу үшін ұсақ ұнтақтау қажет деп айтуға болады. Құрамында кемінде 55% темір бар темір концентраттарын алу үшін дымқыл магнитті байытуды пайдалану ұсынылады.

Түйінді сөздер: ұнтақтау, магнетит кені, гравитациялық байыту, фракциялық талдау, өнеркәсіптік өнім, тундыру, минералогиялық талдау, темір.

Testing of the lead cycle of polymetallic ore flotation using the simplex planning method

Abstract. The object of the study is a technological sample of the industrial product of magnetite ores of the Atansor deposit. The granulometric composition of the initial industrial product with a fineness of 20 – 0,0 mm and the nature of the distribution of iron by fineness classes were determined. Studies were carried out to determine the gravitational richness of magnetite industrial products with a size of 20 – 1 mm and 1 – 0,071 mm by fractional analysis. The nature of the distribution of iron in the classes with a size of 20-1 mm and 1 – 0,071 mm in the fractions of density: more than 3000 kg/m³, 3000-2850 kg/m³, 2850-2750 kg/m³ and less than 2750 kg/m³ is determined. The gravitational richness of the magnetite industrial product of various sizes and the separation density required for the production of iron concentrates with an iron content of more than 55% are determined. Theoretically possible technological indicators of gravity enrichment of machine classes of size are determined. Studies on the deposition of class 20 – 1 mm were carried out. Studies on the magnetic separation of crushed industrial products with a grain size of 0.1-0.0 mm were carried out and the parameters of the magnetic separation process were determined when obtaining a concentrate with an iron content of more than 55%. The results of the research proved that the use of gravity processes for the enrichment of industrial products of magnetite ores will not allow to obtain concentrates with the required iron content of at least 55%. Based on the results of the research, the principal possibility of using the magnetic separation process for the enrichment of industrial products of magnetite ores is proved.

Key words: grinding, magnetite ore, gravity method of enrichment, fractional analysis, industrial products, jigging, mineralogical studies, iron.

Введение

Горно-металлургическая промышленность – ведущая отрасль казахстанской экономики, на долю которой приходится 15,2% в общем объеме промышленного производства. Растущие требования потребителей к качеству железорудного концентрата заставляют производителей искать пути повышения содержания железа в концентрате и снижения вредных примесей, при этом добыча и переработка полезных ископаемых должна оставаться экономически оправданной [1, 2].

Железо – самый используемый металл, что обусловлено его высоким содержанием в земной коре по сравнению с другими металлами (по разным оценкам 4,2-5%, четвертое место после O, Si и Al). Объемы добычи и обогащения железных руд значительно превышают объемы

добычи других полезных ископаемых¹. Железные концентраты получают путем глубокого обогащения железорудного сырья по технологическим схемам с применением измельчения и мокрого магнитного обогащения в слабом поле^{1,2} [3].

Запасы железной руды в Казахстане оцениваются в 16,6 млрд т, что составляет около 8% всех мировых запасов, из них около 8800 млн т разведано и подготовлено к эксплуатации. Около 90% железной руды сосредоточено в Торгайской области Северного Казахстана, остальная часть находится в Центральном Казахстане.

Основная часть добываемой железной руды (65%) экспортируется из республики, в основном, в Россию. Внутренними потребителями продукции железорудной промышленности республики являются

Карагандинский металлургический комбинат, Ермаковский и Актюбинский ферросплавные заводы.

Железорудная промышленность Казахстана представлена крупными предприятиями республики: Соколовско-Сарбайским горно-обогатительным производственным объединением (АО «ССГПО»), Лисаковским горно-обогатительным комбинатом и Атасуйским рудоуправлением.

Разработка железорудных месторождений ведется, главным образом, в Костанайской области (Соколовское, Сарбайское и Качарское месторождения, разрабатываемые АО «ССГПО» (г. Рудный). Железная руда³ этих месторождений является довольно богатой (среднее содержание железа 35-74%) [4].

По утвержденным запасам железорудного сырья Казахстан занимает

¹Богданов О.С. Справочник по обогащению руд. – М.: Недра, 1984. – Т. 4. Обогащительные фабрики. – 360 с.

²Пелевин А.Е. Магнитные и электрические методы обогащения изд. – Екатеринбург: УГТУ, 2018. – 296 с.

³Байгабылов Н., Додонов В., Каукенов А., Кашикинбеков А. и др. Трансформация экономики Казахстана. – Астана: Фонд имени Конрада Аденауэра, 2019. – 368 с.

седьмое место среди стран с развитой горнодобывающей промышленностью. На территории республики выявлено более двухсот месторождений и проявлений железа [5, 6].

В Казахстане в основном разрабатываются собственно железорудные месторождения трех геолого-промышленных типов: магнетитовый, магнетит-гематитовый и бурожелезняковый. Основной сырьевой базой горнодобывающих предприятий в республике являются месторождения магнетитовых руд. Также интенсивно эксплуатируются месторождения магнетит-гематитовых и гематитовых руд⁴.

Основные балансовые запасы железных руд сосредоточены в Костанайской и Карагандинской областях, где на их базе действуют железорудные горно-обогатительные предприятия, одним из которых является ТОО «Оркен» (Атансор).

В процессе обогащения магнетитовых руд месторождения Атансор образуются отходы в виде промпродуктов с содержанием железа порядка 19-21%. Данный промпродукт был использован в качестве объекта исследований.

Основной целью при разработке технологии переработки промпродукта магнетитовых руд было получение концентрата с содержанием железа не менее 55%. Для достижения поставленной цели на промпродукте проведены исследования по изучению гравитационной и магнитной обогатимости [7].

Методика и применяемые материалы

Для определения гранулометрического состава руды использовался набор сит КСМ (ГОСТ 9758-86) с размерами отверстий, мм: 20; 16; 13; 10; 8; 5; 2,5; 1,0.

Определение теоретически возможных показателей гравитационного обогащения различных классов крупности осуществлялось путем их расслоения в растворах тяжелых жидкостей (М – 45) на фракции плотностью: более 3000 кг/м³, 3000-2850 кг/м³, 2850-2750 кг/м³ и менее 2750 кг/м³. Полученные

Таблица 1

Химический анализ исходной руды

Кесте 1

Бастапқы кенді химиялық талдау

Table 1

Chemical analysis of the source ore

Массовая доля элементов, %										
Fe	Mn	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	S _{общ}	P
19,33	0,70	0,64	28,45	11,69	16,61	2,32	0,21	0,26	0,25	0,10

Таблица 2

Ситовой анализ промпродукта магнетитовых руд

Кесте 2

Магнетит кендерінің өнеркәсіптік өнімін елеу талдауы

Table 2

Sieve analysis of industrial products of magnetite ores

Классы крупности, мм	Выход, %		Содержание Fe, %	Извлечение Fe, %
	частный	суммарный по (+)		
-20 +1,0 мм	11,45	11,45	17,86	10,33
-10 +5	37,04	48,49	19,72	36,89
-5 +2,5	16,15	64,64	19,38	15,81
-2,5 +1,0	9,52	74,16	19,96	9,60
-1 +0,0	25,84	100,0	20,99	27,37
Итого	100,0	–	19,80	100,0

фракции плотности отмывались от растворов тяжелой жидкости, высушивались, взвешивались, дробились и измельчались для отбора проб на химический анализ с целью определения характера распределения железа по фракциям плотности в машинных классах крупности.

Для тестирования отсадкой машинного класса крупности 20 – 1 мм использовался лабораторный пульсатор с пневматическим приводом. Частота пульсаций составила 60-80 колебаний в минуту, амплитуда колебаний 80-100 мм, цикл пульсаций синусоидальный (50 – 0 – 50), диаметр камеры 250 мм, размер отверстий решета – 2,0 мм, высота естественной постели 250 мм, расход подрешетной воды 4 м³/т и удельная нагрузка 8 т/ч·м².

Для обогащения, измельченного промпродукта до крупности 0,1 – 0,0 мм использовался лабораторный трубчатый магнитный анализатор.

Результаты и их обсуждение

Химический состав исходного промпродукта приведен в табл. 1. Результаты химического анализа

показали, что содержание в пробе, поступившей на исследование, составило: железа – 19,33%, марганца – 0,70% и оксида титана – 0,64%; вредных примесей в виде фосфора и серы – 0,10% и 0,25% соответственно. Основными минералами пустой породы в исследуемой пробе руды являются диоксид кремния (28,45%), оксид кальция (16,61%) и оксид алюминия (1,69%). В незначительных количествах в руде присутствуют минералы оксидов магния, калия и натрия.

Исследованием под бинокулярной лупой установлено, что изучаемый образец состоит из сростков магнетита с нерудными минералами, из которых большую часть составляет гранат (по данным рентгено-спектрального анализа марганцевая разновидность – гроссуляр) – $Ca_{2.43}Mn_{1.29}Al_{1.28}(SiO_4)_3$, чуть меньше кальцит – $Ca(CO_3)$, тремолит – $K_{0.51}(Na_{0.51}Ca_{1.49})Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$, хлорит – $(Mg, Fe)_3Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$.

Гранулометрический состав и распределение железа по классам крупности в промпродукте магнетитовых

⁴Отчет ТОО «НМТ Групп» о НИР «Разработка технологии обогащения промпродукта магнетитовых руд» (заключительный). – Алматы, 2008. – 39 с.

руд исходной крупности, приведены в табл. 2. Средневзвешенное содержание железа по результатам ситового анализа составило 19,80%, что соответствует содержанию железа в исходной руде. Выход класса крупности $-1 +0$ мм в исходном промпродукте составил 25,84% с содержанием железа 20,99% при существенном извлечении железа (27,37%).

Изучение фракционного состава магнетитового промпродукта осуществлялось методом фракционного анализа, т. е. расслоения промпродукта на фракции различной плотности с определением количественных и качественных соотношений фракций. Фракционный состав и распределение содержания железа по фракциям плотности и классам крупности приведены в табл. 3. Полученные результаты показывают, что выход тяжелой концентратной фракции с плотностью более 3000 кг/м³ из всех классов крупности высокий и составляет более 75% из каждого класса с содержанием железа в пределах 20-25%. Общий выход концентратной фракции плотностью более 3000 кг/м³ из суммарного класса крупности $-20 +0,071$ мм составил 81,46% от руды (86,89% от класса $-20 +0,071$ мм) со средним содержанием железа 20,26% и общим извлечением железа 87,25% от руды (95,44% от класса).

Существенной концентрации железа в тяжелой фракции с плотностью более 3000 кг/м³ не наблюдается; выход легких фракций плотностью менее 2850 кг/м³ с низким содержанием железа незначительный (2-3%). Соответственно, при удалении такого количества легких фракций существенного повышения содержания железа в тяжелых фракциях не наблюдается.

Обогащение машинного класса крупности $-20 +1,0$ мм осуществлялось с использованием процесса отсадки. При выполнении опытов соблюдалась последовательность операций отсадки согласно условиям обогащения машинных классов в двух- или трехкамерной отсадочной машине. Отсадка класса крупности $-20 +1,0$ мм проводилась при следующих параметрах: частота пульсаций 65 кол./мин,

Таблица 3

Фракционный состав и распределение содержания железа по фракциям плотности и классам крупности

Кесте 3

Темірдің фракциялық құрамы және құрамын тығыздық фракциялары мен ірілік кластары бойынша бөлу

Table 3

Fractional composition and distribution of iron content by density fractions and size classes

Фракции плотности, кг/м ³	Выход, % от		Содержание, % <i>Fe</i>	Извлечение от, %		Класс крупности
	класса	руды		руды	класса	
				<i>Fe</i>	<i>Fe</i>	
- 2750	3,92	2,52	4,85	0,65	1,04	20-2,5 мм
+ 2750 – 2850	3,82	2,47	8,21	1,07	1,72	
+ 2850 – 3000	2,25	1,46	11,34	0,88	1,40	
+ 3000	90,01	58,18	19,42	59,75	95,84	
Итого	100,0	64,63	18,24	62,35	100,0	
- 2750	7,23	0,69	2,35	0,09	0,95	2,5-1,0 мм
+ 2750 – 2850	5,04	0,48	7,52	0,19	2,12	
+ 2850 – 3000	3,53	0,34	13,31	0,24	2,63	
+ 3000	84,20	8,02	20,04	8,50	94,30	
Итого	100,0	9,53	17,89	9,02	100,0	
- 2750	10,86	0,80	2,3	0,10	1,35	1,0-0,63 мм
+ 2750 – 2850	5,19	0,38	7,49	0,15	2,11	
+ 2850 – 3000	3,46	0,26	12,5	0,17	2,35	
+ 3000	80,49	5,96	21,58	6,80	94,19	
Итого	100,0	7,40	18,45	7,22	100,0	
- 2750	15,1	1,84	1,48	0,14	1,12	0,63-0,07 мм
+ 2750 – 2850	5,71	0,70	6,9	0,26	1,98	
+ 2850 – 3000	2,86	0,35	13,16	0,24	1,89	
+ 3000	76,33	9,30	24,82	12,20	95,01	
Итого	100,0	12,19	19,93	12,84	100,0	
- 2750	4,34	3,21	4,31	0,74	1,03	20-1 мм
+ 2750 – 2850	3,98	2,95	8,10	1,26	1,77	
+ 2850 – 3000	2,43	1,80	11,71	1,12	1,55	
+ 3000	89,25	66,20	19,50	68,25	95,65	
Итого	100,0	74,16	18,20	71,37	100,0	
- 2750	13,48	2,64	1,73	0,24	1,20	1-0,071 мм
+ 2750 – 2850	5,51	1,08	7,11	0,41	2,02	
+ 2850 – 3000	3,11	0,61	12,88	0,41	2,06	
+ 3000	77,90	15,26	23,55	19,00	94,72	
Итого	100,0	19,59	19,37	20,06	100,0	
- 2750	6,24	5,85	3,15	0,98	1,06	20-0,071 мм
+ 2750 – 2850	4,30	4,03	7,83	1,67	1,83	
+ 2850 – 3000	2,57	2,41	12,01	1,53	1,67	
+ 3000	86,89	81,46	20,26	87,25	95,44	
Итого	100,0	93,75	18,44	91,43	100,0	
0,071 - 0,0 мм		6,25	25,96	8,57	–	
Промпродукт магнетитовый		100,0	18,91	100,0		20-0,0 мм

Таблица 4

Результаты отсадки машинного класса –20 +1,0 мм (вариант 1)

Кесте 4

–20 +1,0 мм шөгү машина класының нәтижелері (1 нұсқа)

Table 4

Results of machine class –20 +1,0 mm jigging (option 1)

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание Fe, %	Извлечение Fe, % от	
	класса	руды		класса	руды
Концентрат –20 +1,0 мм (1 камера)	6,04	4,48	48,42	15,27	11,05
Подрешетный продукт (1 камера)	0,52	0,39	55,0	1,50	1,10
Концентрат плюс подрешетный продукт (1 камера)	6,57	4,87	48,95	16,77	12,15
Концентрат –20 +1,0 мм (2 камера)	4,81	3,57	33,18	8,33	6,04
Подрешетный продукт (2 камера)	0,87	0,65	46,25	2,06	1,49
Концентрат плюс подрешетный продукт (2 камера)	5,68	4,22	35,04	10,39	7,53
Концентрат –20 +1,0 мм (3 камера)	72,32	53,61	16,63	62,80	45,43
Подрешетный продукт (3 камера)	1,60	1,19	27,16	2,28	1,65
Концентрат плюс подрешетный продукт (3 камера)	73,92	54,80	16,86	65,08	47,08
Хвосты	13,84	10,27	10,71	7,76	5,61
Класс –20 +1,0 мм	100,0	74,16	19,15	100,0	72,37
Класс –1 +0,0 мм	–	25,84	20,99	–	27,63
Исходный промпродукт	–	100,0	19,62	–	100,0

амплитуда колебаний 90-100 мм, цикл пульсаций синусоидальный, высота естественной постели 250 мм, расход воды 5 м³/т, удельная производительность 10 т/ч·м².

Результаты отсадки машинных классов крупности –20 +1,0 мм в зависимости от количества разгружаемых тяжелых фракций приведены в табл. 4-6. Данные табл. 4 фактически показывают фракционный состав, который получился бы при разделении машинного класса крупности –20 +1 мм по плотности порядка 3400-3500 кг/м³. В исходном промпродукте крупностью –20 +1 мм, количество концентратной фракции с содержанием железа около 50% составляет всего 4-5%.

Наиболее высокое содержание железа наблюдается в подрешетном продукте первой камеры (55%) при выходе всего 0,39% и извлечении железа 1,10%. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости уменьшения крупности промпродукта перед его обогащением.

При обогащении магнетитового промпродукта исходной крупностью –20 +1,0 мм с использованием гравитационных процессов и, в частности, отсадки, получение концентрата с содержанием железа не менее 55% не представляется возможным.

Для определения влияния верхнего предела крупности на результаты гравитационного обогащения были выполнены фракционные анализы на пробах промпродукта, дробленого до крупности 10 мм, 5 мм и 2,5 мм.

Классы крупности –10 +0,071 мм, –5 +0,071 мм и –2,5 +0,071 мм были подвергнуты расслоению по плотности 3000 кг/м³ (жидкость М-45) и по высокой плотности 3650 кг/м³ (жидкость Клеричи). В табл. 7 приведены результаты

исследования фракционного состава магнетитового промпродукта, дробленого до крупности 10 мм, 5 мм и 2,5 мм, которые показывают, что при расслоении промпродукта крупностью –10 +0,071 мм, –5 +0,071 мм и –2,5 +0,071 мм при высокой плотности 3650 кг/м³ также не происходит выделения тяжелых концентратных фракций с содержанием железа не менее 55%.

При исходной крупности промпродукта –2,5 +0,071 мм не происходит достаточного раскрытия

Таблица 5

Результаты отсадки машинного класса 20 – 1,0 мм (вариант 2)

Кесте 5

20 – 1,0 мм шөгү машина класының нәтижелері (2 нұсқа)

Table 5

Results of machine class 20 – 1,0 mm jigging (option 2)

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание Fe, %	Извлечение Fe, % от	
	класса	руды		класса	руды
Концентрат –20 +1,0 мм (1 камера)	7,43	5,52	48,63	18,87	13,67
Промпродукт –20 +1,0 мм (2 камера)	78,73	58,37	17,85	73,39	53,09
Хвосты –20 +1,0 мм	13,84	10,27	10,71	7,74	5,61
Класс –20 +1,0 мм	100,0	74,16	19,15	100,0	72,37
Класс –1 +0,0 мм	–	25,84	20,99	–	27,63
Исходный промпродукт	–	100,0	19,62	–	100,0

минеральных зерен. Максимальное содержание железа во фракции плотностью более 3650 кг/м³ в классе крупности $-2,5 +0,071$ мм составило 46,78% при выходе 22,52% и извлечении железа 51,69%.

На основании результатов, полученных при выполнении фракционного анализа и гравитационного обогащения магнетитового промпродукта отсадкой, а также минералогических исследований, которые показали тонкозернистую вкрапленность магнетита, можно констатировать, что для достаточного раскрытия минеральных зерен в магнитном промпродукте руды месторождения Атасор требуется тонкое измельчение.

Для определения возможности получения железных концентратов из магнетитового промпродукта, с содержанием железа не менее 55%, были выполнены поисковые исследования по магнитной сепарации.

Исходный магнетитовый промпродукт был измельчен до крупности 100% класса 0,1 мм (100 мкм) и подвергнут магнитной сепарации. Опыты по магнитной сепарации измельченного промпродукта крупностью 0,1 – 0,0 мм были выполнены на магнитном анализаторе (табл. 8).

Выводы

Из магнетитового промпродукта крупностью $-0,1 +0,0$ мм, при напряженности магнитного поля 1500 эрстед, выделяется концентрат с содержанием железа 63,91%, при выходе 16,60% и извлечении железа 52,60%. Дальнейшее увеличение напряженности магнитного поля до 2400 эрстед не приводит к повышению качества получаемого концентрата.

Можно отметить, что в случае получения концентрата с содержанием железа порядка 55% его выход может составить не менее 25%, а извлечение около 70%.

Для уточнения технологических условий, крупности, режима сепарации и используемых аппаратов для магнитного обогащения необходимо проведение детальных исследований по магнитному обогащению магнетитовых промпродуктов руды месторождения Атасор.

Таблица 6
Результаты отсадки машинного класса $-20 +1,0$ мм (вариант 3)

Кесте 6
 $-20 +1,0$ мм шөгү машина класының нәтижелері (3 нұсқа)

Table 6
Results of machine class $-20 +1,0$ mm jigging (option 3)

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание Fe, %	Извлечение Fe, % от	
	класса	руды		класса	руды
Концентрат $-20 +1,0$ мм (1 камера)	12,24	9,09	42,56	27,21	19,71
Промпродукт $-20 +1,0$ мм (2 камера)	73,92	54,8	16,85	65,05	47,05
Хвосты $-20 +1,0$ мм	13,84	10,27	10,71	7,74	5,61
Класс $-20 +1,0$ мм	100,0	74,16	19,15	100,0	72,37
Класс $-1 +0,0$ мм	–	25,84	20,99	–	27,63
Исходный промпродукт	–	100,0	19,62	–	100,0

Таблица 7
Фракционный состав исходного магнетитового промпродукта

Кесте 7
Бастапқы магнетит өнеркәсіптік өнімінің фракциялық құрамы

Table 7
Fractional composition of the initial magnetite industrial product

Фракции плотности, кг/м ³	Выход, % от руды	Содержание Fe, %	Извлечение от руды Fe, %	Класс крупности, мм
- 3000	10,74	5,53	3,02	10 – 0,071
+ 3000 – 3650	64,45	13,41	44,01	
+ 3650	19,69	46,08	46,20	
Итого	94,88	19,30	93,23	
Класс $-0,071 +0,0$ мм	5,12	26	6,77	0,071 – 0,0
Промпродукт магнетитовый	100,0	19,64	100,0	10 – 0,0
- 3000	10,61	6,33	3,41	5 – 0,071
+ 3000 – 3650	60,68	12,75	39,30	
+ 3650	20,25	45,94	47,26	
Итого	91,54	19,35	89,97	
Класс $-0,071 +0,0$ мм	8,46	23,33	10,03	0,071 – 0,0
Промпродукт магнетитовый	100,0	19,68	100,0	5 – 0,0
- 3000	11,27	5,23	2,89	2,5 – 0,071
+ 3000 – 3650	54,9	12,46	33,56	
+ 3650	22,52	46,78	51,69	
Итого	88,69	20,26	88,14	
Класс $-0,071 +0,0$ мм	11,31	21,37	11,86	0,071 – 0,0
Промпродукт магнетитовый	100,0	20,38	100,0	2,5 – 0,0

Таблица 8

Магнитная сепарация промпродукта, измельченного до 100%, класса –0,1 + 0,0 мм

Кесте 8

–0,1 + 0,0 мм класты 100% дейін ұсақталған өнеркәсіптік өнімдерді магниттік бөлу

Table 8

Magnetic separation of industrial products crushed to 100% of class –0,1 + 0,0 mm

Наименование	Напряженность, эрстед	Выход, %	Содержание Fe, %	Извлечение Fe, %
<i>Вариант 1</i>				
Магнитный продукт	1080	9,67	65,68	31,49
Немагнитный продукт	–	90,33	15,30	68,51
Промпродукт магнетитовый	–	100,0	20,17	100,0
<i>Вариант 2</i>				
Магнитный продукт	1500	16,60	63,91	52,60
Немагнитный продукт	–	83,40	11,46	47,4
Промпродукт магнетитовый	–	100,0	20,17	100,0
<i>Вариант 3</i>				
Магнитный продукт	2400	16,77	63,70	52,96
Немагнитный продукт	–	83,23	11,40	47,04
Промпродукт магнетитовый	–	100,0	20,17	100,0

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Петренко Е.С., Вечкинзова Е.А., Уразбеков А.К. Анализ состояния и перспективы развития горно-металлургической отрасли Казахстана. // Журнал по международным экономическим вопросам. – 2019. – Т. 9. – №4. – С. 2661-2676. (на русском языке)
2. Синельникова Н.Г. Технология обогащения магнетитовых кварцитов с применением высокоселективного магнитного сепаратора. // ГИАБ. – 2009. – №S14. – С. 153-162. (на русском языке)
3. Прокопьев С.А., Пелевин А.Е., Прокопьев Е.С., Иванова К.К. Повышение комплексности использования железорудного сырья с помощью винтовой сепарации. // Известия вузов. Горный журнал. – 2019. – №6. – С. 70-80. (на русском языке)
4. Пелевин А.Е. Пути повышения эффективности технологии обогащения железорудного сырья. // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2019. – №75(2). – С. 137-146. (на русском языке)
5. Каренов Р.С. Проблемы становления рынка черных металлов в Казахстане. // Вестник Карагандинского государственного университета. Серия. Экономика. – 2016. – №4(48). – С. 9-25. (на русском языке)
6. Телков Ш.А., Райвич И.Д., Безинова Л.И. и др. Закономерности гравитационной обогатимости дробленых руд основных месторождений марганца в Казахстане. // Вестник КазНТУ. – Алматы, 1995. – №3. – С. 37-40. (на русском языке)
7. Киселев А., Мякшин Н. Состояние минерально-сырьевой базы железорудной промышленности Республики Казахстан. – Алматы: Минеральные ресурсы Казахстана. – 2015. – №12/13. – С. 11-13. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Петренко Е.С., Вечкинзова Е.А., Уразбеков А.К. Қазақстанның тау-кен металлургия саласын талдау және дамыту перспективалары. // Халықаралық экономикалық мәселелер жөніндегі журнал. – 2019. – Т. 9. – №4. – Б. 2661-2676. (орыс тілінде)
2. Синельникова Н.Г. Магнетитті кварциттерді байыту технологиясын жоғары селективті магниттік сепараторды қолдану. // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. – 2009. – №S14. – Б. 153-162. (орыс тілінде)
3. Прокопьев С.А., Пелевин А.Е., Прокопьев Е.С., Иванова К.К. Бұрандалы сепарация көмегімен темір кені шикізатын қолданудың арттыру күрделілігі. // Университеттер жаңалықтары. Тау-кен журналы. – 2019. – №6. – Б. 70-80. (орыс тілінде)
4. Пелевин А.Е. Байыту технологиясының тиімділігін арттыру жолдары темір кені шикізаты. // Қара металлургия. Ғылыми-техникалық және экономикалық ақпарат Бюллетені. – 2019. – №75(2). – Б. 137-146. (орыс тілінде)

5. Каренов Р.С. Қазақстандағы қара металдар нарығының қалыптасу мәселелері. // Қарағанды мемлекеттік университетінің хабаршысы. Серия Экономика. – 2016. – №4(48). – Б. 9-25. (орыс тілінде)
6. Телков Ш.А., Райвич И.Д., Безгинова Л.И. және т. б. Қазақстандағы марганецтің негізгі кен орындарының ұсақталған кендерінің гравитациялық байытылу заңдылықтары. // ҚазҰТУ хабаршысы. – Алматы, 1995. – №3. – Б. 37-40. (орыс тілінде)
7. Киселев А., Мякшин Н. Қазақстан Республикасының Өнеркәсіп Темір кені минералдық-шикізат базасының жай-күйі. – Алматы: Қазақстанның минералды ресурстары. – 2015. – №12/13. – Б. 11-13. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Petrenko E.S., Vechkinzova E.A., Urazbekov A.K. Analiz sostoyaniya i perspektivy razvitiya gorno-metallurgicheskoy otrasli Kazaxstana [Analysis of the state and prospects of development of the mining and metallurgical industry of Kazakhstan]. // Zhurnal po mezhdunarodnym e'konomicheskim voprosam = Journal of international economic affairs. – 2019. – T. 9. – №4. – P. 2661-2676. (in Russian)
2. Sinel'nikova N.G. Texnologiya obogashheniya magnetitovykh kvarcitolov s primeneniem vysokoselektivnogo magnitnogo separatora [Technology of enrichment of magnetite quartzites using a highly selective magnetic separator]. // GIAB = Mining information and analytical bulletin. – 2009. – №S14. – P. 153-162. (in Russian)
3. Prokop'ev S.A., Pelevin A.E., Prokop'ev E.S., Ivanova K.K. Povyshenie kompleksnosti ispol'zovaniya zhelezorudnogo syr'ya s pomoshh'yu vintovoy separacii [Increasing the complexity of the use of iron ore raw materials using screw separation]. // Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal = Proceedings of universities. Mining journal. – 2019. – №6. – P. 70-80. (in Russian)
4. Pelevin A.E. Puti povysheniya e'ffektivnosti texnologii obogashheniya zhelezorudnogo syr'ya [Ways to increase the efficiency of the technology of processing iron ore raw materials]. // Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-texnicheskoy i e'konomicheskoy informacii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information. – 2019. – №75(2). – P. 137-146. (in Russian)
5. Karenov R.S. Problemy stanovleniya rynka chernyx metallov v Kazaxstane [Problems of the formation of the ferrous metals market in Kazakhstan]. // Vestnik Karagandinskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya. E'konomika = Bulletin of the Karaganda State University. Series. Economy. – 2016. – №4(48). – P. 9-25. (in Russian)
6. Telkov Sh.A., Rajvich I.D., Bezginova L.I. i dr. Zakonomernosti gravitacionnoj obogatimosti droblyenyykh rud osnovnykh mestorozhdenij marganca v Kazaxstane [Regularities of gravitational enrichment of crushed ores of the main manganese deposits in Kazakhstan]. // Vestnik KazNTU = Bulletin of KazNTU. – Almaty, 1995. – №3. – P. 37-40. (in Russian)
7. Kiselev A., Myakshin N. Sostoyanie mineral'no-syr'evoy bazy zhelezorudnoy promyshlennosti Respubliki Kazaxstan [The state of the mineral resource base of the iron ore industry of the Republic of Kazakhstan]. – Almaty: Mineral'nye resursy Kazaxstana = Mineral Resources of Kazakhstan. – 2015. – №12/13. – P. 11-13. (in Russian)

Сведения об авторах:

Ш.А. Телков, канд. техн. наук, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), naukaty@mail.ru; **ORCID** 0000-0001-6641-4802

Дүйсекешова А.С., инженер-бакалавр, магистрант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), a.duisekeshova@stud.satbayev.university; **ORCID** 0000-0001-5355-8153

Мотовилов И.Ю., PhD, ассистент профессора кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), motovilov88@inbox.ru; **ORCID** 0000-0002-0716-402X

Авторлар туралы мәліметтер:

Ш.А. Телков, техника ғылымының кандидаты, Satbayev University, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Дүйсекешова А.С., Satbayev University, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының магистранты (Алматы қ., Қазақстан)

Мотовилов И.Ю., PhD, Satbayev University, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессор көмекшісі (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Shamil' A. Telkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Metallurgy and Mineral Processing» of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Ainur S. Duisekeshova, Bachelor's Degree, Master's Degree Student at the Department of Metallurgy and Mineral Processing» of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Igor Yu. Motovilov, PhD, Associate Professor at the Department of Metallurgy and Mineral Processing» of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)



VI МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА MINING & MINERALS EXPO'2021

ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ И УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

19–21 октября



ОРГАНИЗАТОР:
Международный выставочный центр

Технический партнер: *RentMedia*



**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР**
г. Киев, Броварской пр-т, 15
станция метро "Левобережная"

тел./факс: (044) 201-11-67
e-mail: energoprom@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua, www.мвц.укр



www.amm.kz

AMM
CONGRESS

20-21 октября 2021
Нур-Султан, Казахстан

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

Код МРНТИ 52.45.15

В.А. Калашников¹, Л.Г. Головки¹, В.И. Дырда², Г.Н. Агальцов²¹Общество с ограниченной ответственностью «НПП Валса-ГТВ» (г. Белая Церковь, Украина),²Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (г. Днепр, Украина)

СИНЕРГЕТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВНУТРИМЕЛЬНИЧНОЙ ЗАГРУЗКИ С РЕЗИНОВОЙ ФУТЕРОВКОЙ В БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Аннотация. Рассматриваются основные положения волновой теории износа, необходимые для интерпретации результатов экспериментальных исследований и приводятся формулы, устанавливающие взаимосвязь между длиной волны естественного износа футеровки и динамическим радиусом движения загрузки. Излагается взаимосвязь между динамическими процессами, происходящими в барабане мельницы и некоторыми важными параметрами дезинтеграции руд, в частности: производительностью мельницы, скоростью износа футеровки, качеством конечного продукта, экономией шаров и электроэнергии. С этой целью проводились продолжительные экспериментальные исследования двух шаровых мельниц на первой стадии измельчения железной руды с шарами диаметром 100 мм. Периодически на всем протяжении работы резиновых футеровок типа «Плита-Н-Волна» фиксировались основные параметры мельниц. Приводятся экспериментальные доказательства взаимосвязи «рабочей волны» износа футеровки с длиной волны естественного износа, характерной для идеализированной мельницы.

Ключевые слова: волновая теория износа, барабанная мельница, дезинтеграция минерального сырья, резиновая футеровка, измельчение, износ, разрушение, ресурс, структурно-синергетическая модель, шаровая мельница.

Барабанды диірмендеріндегі резеңке төсеммен внутриметрлік жемнің өзара әрекеттесу синергиясы

Андатпа. Эксперименттік зерттеулердің нәтижелерін түсіндіру үшін қажет тозудың толқындық теориясының негізгі ережелері қарастырылып, астардың табиғи тозуының толқын ұзындығы мен динамикалық қозғалыс радиусы арасындағы байланысты орнататын формулалар келтірілген жүктеме. Диірмен барабанында болатын динамикалық процестер мен кендердің ыдырауының кейбір маңызды параметрлері арасындағы байланыс, атап айтқанда: диірмен өнімділігі, төсемнің тозу жылдамдығы, соңғы өнімнің сапасы және үнемдеу шарлар мен электр энергиясы сипатталған. Осы мақсатта темір рудасын диаметрі 100 мм шариктермен ұнтақтаудың бірінші кезеңінде екі шарлы диірменде ұзақ мерзімді эксперименттік зерттеулер жүргізілді; мезгіл-мезгіл, «Плита-Н-Толқын» типіндегі резеңке төсемдердің бүкіл жұмыс барысында диірмендердің негізгі параметрлері жазылды. Қабаттық тозудың «жұмыс толқыны» мен идеалданған диірменге тән табиғи тозудың толқын ұзындығының өзара байланысының тәжірибелік дәлелдері келтірілген.

Түйінді сөздер: тозудың толқындық теориясы, барабан диірмені, минералды шикізаттың ыдырауы, резеңке қаптау, ұнтақтау, тозу, жою, ресурс, құрылымдық-синергетикалық модель, шар диірмені.

Synergy of interaction of intramill feed with rubber lining in drum mills

Abstract. The main provisions of the wave theory of wear are considered, which are necessary for interpreting the results of experimental studies, and formulas are given that establish the relationship between the wavelength of natural wear of the lining and the dynamic radius of movement of the load. The relationship between the dynamic processes occurring in the drum of the mill and some important parameters of the disintegration of ores, in particular: the productivity of the mill, the rate of wear of the lining, the quality of the final product, and the saving of balls and electricity, is described. For this purpose, long-term experimental studies were carried out on two ball mills at the first stage of grinding iron ore with balls of 100 mm in diameter; periodically, throughout the entire operation of the rubber linings of the «Slab-H-Wave» type, the main parameters of the mills were recorded. Experimental evidence of the relationship between the «working wave» of lining wear and the wavelength of natural wear characteristic of an idealized mill is presented.

Key words: wave theory of wear, drum mill, disintegration of mineral raw materials, rubber lining, grinding, wear, destruction, resource, structural-synergetic model, ball mill.

Введение

Настоящая работа является продолжением теоретических и экспериментальных исследований резиновых футеровок тяжелых рудоизмельчительных мельниц с целью создания прогрессивной ресурсосберегающей технологии дезинтеграции минерального сырья. Этот вопрос рассматривался в работах Э. Дэвиса, Д.К. Крюкова, П.В. Малярова, С.Ф. Шинкаренко, К. Эриксона и ряда других авторов¹ [1-9]. Вместе с тем, ни в работах цитируемых авторов, ни в зарубежной литературе синергетика взаимодействия в системе «загрузка – футеровка» не рассматривалась в контексте волновой теории абразивно-усталостного износа футеровки. В настоящей работе эта проблема рассматривается именно в этом контексте, т. е. во взаимосвязи волны износа футеровки с производительностью мельницы, скоростью износа футеровки, качеством конечного продукта и т. д.

Волновая теория износа впервые была опубликована в 2012 г.; наиболее полно она изложена в работах [4, 9]. Результаты многочисленных промышленных исследований¹

полностью подтверждают основные положения волновой теории, в рамках которой стало возможным объяснение многих эффектов синергетического взаимодействия загрузки и футеровки; ее основные принципы положены в основу создания синергетических моделей разрушения резиновой футеровки [4] и создания алгоритма расчета ее долговечности [3]. Тем не менее, некоторые вопросы не получили должного освещения, в частности, проблема взаимодействия длины волны абразивно-усталостного износа резиновой футеровки с параметрами мельницы. С этой целью были проведены специальные промышленные исследования, в которых от начала работы мельниц до отказа резиновой футеровки периодически фиксировались следующие параметры: производительность мельницы Q , т/ч; износ футеровки, мм; скорость износа футеровки V , мм/тыс. т; длина волны износа футеровки l_{ϕ} , мм; качество конечного продукта; экономия шаров и электроэнергии.

Прежде чем перейти к изложению основного материала, рассмотрим в виде кратких тезисов основные

¹Дырда В.И., Зозуля Р.П., Головки Л.Г., Стойко А.В., Хмель И.В. Резиновые футеровки рудоизмельчительных мельниц в экстремальных условиях. – Днепр, 2018. – 276 с.

положения волновой теории износа, необходимые для интерпретации результатов экспериментальных исследований.

▪ В барабанных мельницах с резиновой футеровкой при исследовании динамики измельчения минерального сырья следует рассматривать лишь одно турбулентное движение потока, в котором имеются пульсации скоростей и давлений, подчиняющиеся вероятностным законам. Между турбулентностью как структурной формой потока и морфометрическими особенностями резиновой футеровки существует определенная связь: образование волн абразивно-усталостного износа элементов футеровки непосредственно связано с пульсациями скоростей, которые и определяют масштаб турбулентности. Именно благодаря турбулентности потока поверхность плоской футеровки со временем превращается в волнообразную.

▪ Движение технологической загрузки в мельнице следует рассматривать как движение сложных иерархических структур (турбулентное движение потока и пульсирующее вихреобразное движение загрузки). Возникновение новых структур и их гибель связаны с рядом факторов: турбулентностью потока, послонной диссипацией энергии потока, скольжением загрузки относительно футеровки, поворотной симметрией движения барабана мельницы, большой диссипацией энергии загрузки и т. д. Наиболее устойчивыми будут те структуры, которые подчиняются принципу Пригожина,

т. е. принципу минимума диссипации энергии или минимума производства энтропии.

▪ Морфометрические особенности резиновой футеровки зависят от структуры потока и его турбулентности, а образующиеся при этом новые формы рабочей поверхности футеровки непосредственно связаны с пульсацией скоростей. В реальных условиях работы мельниц наблюдается взаимная приспособляемость потока и футеровки; если такая приспособляемость отсутствует, т. е. существует период «нестабильного взаимодействия», то наблюдается снижение производительности мельницы, которая выходит на оптимальный режим работы лишь после установления равновесия между потоком и футеровкой. Именно при таком равновесии образуется рациональный рельеф рабочей поверхности футеровки и оптимальные гидроморфологические параметры потока, при которых наблюдается минимальное рассеяние энергии (принцип Рэля-Гельмгольца).

▪ Длительная практика эксплуатации барабанных мельниц показала, что именно волновой характер износа резиновой футеровки лежит в основе ее долговечности, а также в основе производительности мельницы, качестве конечного продукта, экономии шаров и электроэнергии.

▪ Известно¹, что в основе синергетической модели движения технологической загрузки в барабане мельницы лежат универсальные отношения, которые обычно связывают с принципом золотой пропорции. На основе этого принципа между динамическим радиусом движения загрузки R_g и длиной волны естественного износа футеровки l_ϕ установлена зависимость:

$$l_\phi = kR_g \operatorname{tg}(1/3\alpha) = 0,212kR_g;$$

$$k = d_m \exp(-f_0 \zeta),$$

где k – коэффициент корреляции (характеризует отклонение механического поведения реальной мельницы от идеальной модели, определяется опытным путем);

d_m – внутренний диаметр барабана мельницы;

f_0 – коэффициент взаимодействия с футеровкой;

ζ – некоторая постоянная;

α – угол малой пульсации загрузки ($\alpha = 12^\circ$).

С помощью этой формулы можно произвести расчет шага укладки элементов футеровки. Формула обладает универсальностью и в равной степени пригодна для всех типов мельниц и для всех конструкций футеровок.

Цель работы: установить взаимосвязь длины волны износа резиновой футеровки с основными параметрами мельницы: производительностью, скоростью износа футеровки, ее долговечностью, качеством конечного продукта, экономией шаров и электроэнергии.

Экспериментальные исследования шаровых мельниц с резиновой футеровкой

Такие исследования проводились в промышленных условиях независимо друг от друга на двух предприятиях: на Северном горно-обогатительном комбинате («СевГОК», г. Кривой Рог, Украина) и на Полтавском горно-обогатительном комбинате («Полтавский ГОК», Украина). Целью испытаний было определение влияния волны естественного износа футеровки на производительность мельницы,

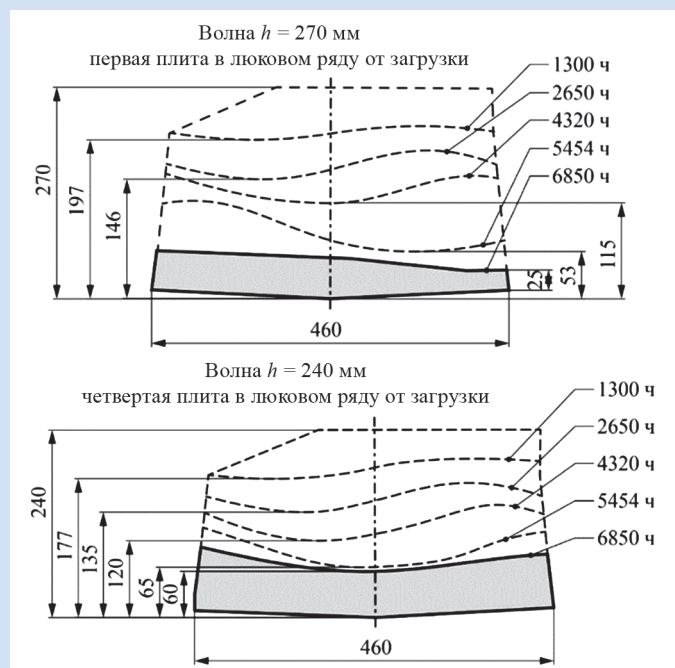


Рис. 1. Изменение «рабочей волны» износа резиновой футеровки в процессе эксплуатации мельницы (СевГОК, Кривой Рог).

Сурет 1. Диірмен жұмыс істеген кезде резинке төсемдердің тозуының «жұмыс толқынының» өзгеруі (СевГОК, Кривой Рог).

Figure 1. Change in the «working wave» of rubber lining wear during the operation of the mill (SevGOK, Kryvyi Rih).

качество готового продукта, долговечность футеровки и экономию шаров и электроэнергии.

Пример 1

На СевГОК резиновая футеровка производства ООО «НПП Валса-ГТВ» высокого профиля «Плита-Н-Волна» [6] (первые три кольца от загрузки толщиной плит 270 мм, остальные – 240 мм; часть плит имели в резиновом массиве завулканизированные металлические вставки) устанавливалась на мельнице №121 с разгрузкой через решетку типа МШР 3,6×4,0



Рис. 2. Изменение производительности мельницы и скорости износа резиновой футеровки в процессе эксплуатации мельницы (СевГОК, Кривой Рог).
Сурет 2. Диірмен өнімділігі мен диірмен жұмысындағы резеңке төсемнің тозу жылдамдығының өзгеруі (СевГОК, Кривой Рог).
Figure 2. Change in mill productivity and rubber lining wear rate during mill operation (SevGOK, Kryvyi Rih).

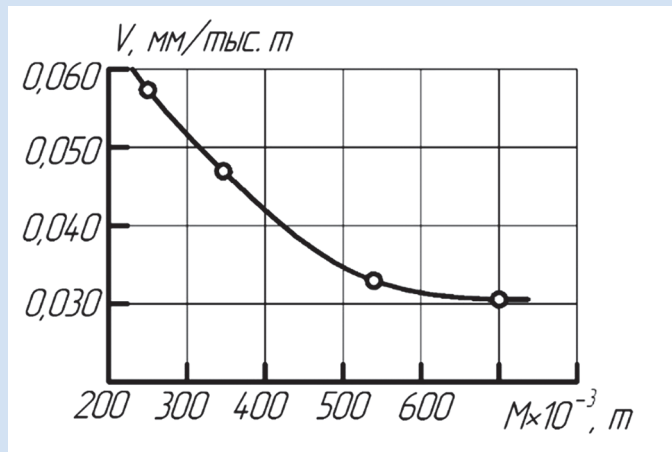


Рис. 3. Взаимосвязь скорости износа резиновой футеровки и количества переработанной руды (СевГОК, Кривой Рог).
Сурет 3. Резеңке қаптаманың тозу жылдамдығы мен өңделген кен мөлшері арасындағы байланыс (СевГОК, Кривой Рог).
Figure 3. Relationship between the rate of wear of the rubber lining and the amount of ore processed (SevGOK, Kryvyi Rih).

первой стадии рудоподготовки с шарами диаметром 100 мм. За весь период испытаний по технологичным причинам поступала дробленая руда с содержанием класса +20 (до 12%) и эпизодически – руда крупностью 50-250 мм (от 5% до 18%).

Результаты испытаний:

- мельница МШР 3,6×4,0 №121 с резиновой футеровкой успешно прошла промышленные испытания и выработала гарантийный срок 6850 ч [6]; за период работы по сравнению с аналогичной мельницей с металлической футеровкой наблюдалось снижение удельного расхода электроэнергии на тонну перерабатываемой руды на 5%; удельный расход шаров составил 0,586 кг/т руды [6];

- волновой характер износа плит футеровки появился примерно через 500-600 ч; первое вскрытие мельницы состоялось через 1300 ч (рис. 1); следует отметить, что волновой характер износа наблюдался на всех плитах и имел вид «речного узора», однако четкая длина «рабочей волны» появилась после 3,5-4,0 тыс. ч (точка А на рис. 2) и только после этого производительность мельницы начала заметно возрастать вплоть до отказа резиновой футеровки;

- волновой профиль футеровки положительно отразился на технологических показателях процесса измельчения руды: тонина помола увеличилась от 30% до 48%; в содержании готового класса (-0,056 мм) в сливе мельницы наблюдалась повышенная доля мелкой фракции, в том числе части менее 30 м; произошел рост содержания готового класса в сливе мельницы на 2,8%; увеличение нагрузки мельницы по вновь образованному классу и содержания железа в концентрате – на 0,6%;

- волновой профиль футеровки позволил существенно уменьшить скорость ее износа; для плиты высотой 240 мм, например, износ уменьшился с 0,050 мм/тыс. т до 0,025 мм/тыс. т, т. е. в два раза (рис. 2); аналогичная зависимость получена также для кривой, показывающей взаимосвязь скорости износа футеровки от количества переработанной руды (рис. 3).

Пример 2

На Полтавском ГОК резиновая футеровка высокого профиля (первые два ряда от загрузки толщиной 270 мм, остальные – 240 мм) устанавливалась на мельнице МШР 4,0×5,0 №72 с шарами диаметром 100 мм; за весь период испытаний на секцию поступала дробленая руда класса 6-8 мм.

Результаты испытаний:

- мельница №72 с резиновой футеровкой типа «Плита-Н-Волна» и резинометаллической решеткой производства ООО «НПП Валса-ГТВ» до отказа отработала 8891 ч с заданной производительностью;

- волновой профиль рабочей поверхности футеровки очевидно появился примерно через 150-200 ч и сохранился вплоть до ее отказа;

- за период работы по сравнению с аналогичной мельницей с металлической футеровкой снизился расход шаров, а также на 10,72% снизился удельный расход электроэнергии;

▪ зависимость износа от времени носила слабонелинейный характер (рис. 4); средняя скорость износа для плит толщиной 270 мм составила 0,0178 мм/тыс. т, 240 мм – 0,0144 мм/тыс. т.

Обсуждение результатов исследований

Дезинтеграция железной руды в рассматриваемых мельницах несколько отличалась. На Полтавском ГОК с шарами диаметром 100 мм резиновая футеровка ранее не использовалась, тем не менее переработка руды класса 6-8 мм оказалась вполне приемлемой для резиновой футеровки высокого профиля.

Условия работы мельницы все же можно считать довольно тяжелыми, поэтому длина волны износа футеровки не была стабильной, она изменялась в пределах 410-450 мм (при расчетной длине волны для идеализированной мельницы ($l_{\phi} = 460$ мм)). Это связано с разностью пульсаций скоростей потока вследствие наличия плит разной толщины. В начальный период эксплуатации мельницы наблюдалось незначительное уменьшение производительности и повышенный нелинейный износ футеровки; после краткого периода «нестабильного взаимодействия» футеровки и загрузки мельница вышла на заданный режим, а скорость износа существенно уменьшилась.

Условия дезинтеграции руды на мельнице МШР 3,6×4,0 (СевГОК) можно считать экстремальными; гибридная резиновая футеровка (плиты разной толщины, часть плит с завулканизированными металлическими вставками), несвойственная мельнице технологическая загрузка – все это вызвало некоторые особенности



Рис. 4. Зависимость износа резиновой футеровки от времени эксплуатации мельницы.

Сурет 4. Резеңке төсемінің тозуының дәірменнің жұмыс уақытына тәуелділігі.

Figure 4. Dependence of the wear of the rubber lining on the operating time of the mill.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Klas-Goran Eriksson, Gunder Marklund, Гребенешников А.П., Фицев В.Ю. Развитие систем мельничных футеровок. // Горная промышленность. – 2010. – №1. (на русском языке) <https://mining-media.ru/ru/article/drobilka/1623-razvitie-sistem-melnichnykh-futerovok>*

в механизме износа футеровки. Пик «рабочей волны» износа не оставался постоянным, он дрейфовал на различных плитах с различной скоростью (рис. 2), к тому же, длина волны износа до точки А (рис. 2) также изменялась от 375 мм до 445 мм.

Дрейф пика волны свидетельствовал о том, что на этом этапе эксплуатации мельницы в ее барабане происходит сложное хаотическое движение загрузки. Вследствие пульсации скоростей гидродинамическая гармония взаимодействия загрузки и футеровки была нарушена. Вместе с тем, несмотря на такое «нестабильное взаимодействие» загрузки и футеровки волновой характер износа появился уже с первых недель работы мельницы и носил вероятностный характер. Отсюда снижение производительности мельницы и нелинейность процесса износа. И только после того, как установилось равновесие (на рис. 2 после точки А), и длина «рабочей волны» износа приблизилась по величине к длине естественной волны износа, мельница вышла на заданный режим работы. При этом износ, несмотря на старение резины, для футеровочных плит 240 мм, например, уменьшился с 0,050 мм/тыс. т до 0,025 мм/тыс. т.

Как отмечалось выше, турбулентное движение загрузки способствовало появлению наночастиц и мелкой фракции. Это подтверждает высказанное ранее мнение¹ о том, что именно с турбулентностью связан процесс измельчения руды; с долговечностью резиновой футеровки связано гармоническое взаимодействие ее с рельефом плит. Здесь – вполне объяснимое и часто встречаемое на практике противоречие между требованиями долговечной футеровки и требованиями технологов к качеству конечного продукта.

Как видно, в рассматриваемых примерах явно прослеживается зависимость от длины волны износа плит футеровки таких основных параметров мельницы, как производительность, скорость износа футеровки и ее долговечность, качество конечного продукта, экономия шаров и электроэнергии.

Выводы

1. На базе широкого круга промышленных исследований установлена взаимосвязь волны абразивно-усталостного износа резиновой футеровки с основными параметрами мельницы: производительностью, скоростью износа футеровки, ее долговечностью, качеством конечного продукта, экономией шаров и электроэнергией.

2. Чем ближе длина «рабочей волны» износа футеровки к длине волны естественного износа l_{ϕ} , характерной для идеализированной мельницы, тем более рационально происходит процесс дезинтеграции руд: производительность мельницы возрастает, уменьшается скорость износа футеровки и увеличивается ее долговечность, улучшается качество конечного продукта, наблюдается экономия шаров и электроэнергии.

2. Крюков Д.К., Беляев Ю.В., Трубицын М.Н. Определение рационального профиля футеровочных плит с целью повышения технико-экономических показателей барабанных мельниц. // Дробильно-размольное оборудование и технология дезинтеграции: Междувед. сб. науч. тр. «МЕХАНОБР». – Л., 1989. – С. 70-77. (на русском языке)
3. Bulat A.F., Dyrda V.I., Karnaukhov V.G. Долговечность термовизоэластических тел при длительном циклическом нагружении. // Международная прикладная механика. – 2019. – Т. 55. – С. 495-503. (на английском языке) <https://doi.org/10.1007/s10778-019-00971-1>
4. Bulat A.F., Dyrda V.I., Kalhankov Ye.V. Синергетическая модель волнового абразивно-усталостного износа резиновой футеровки в шаровых мельницах. // Научный вестник НГУ. – Днепр, 2018. – №5(167). – С. 39-47. (на английском языке) <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-5/5>.
5. Калашников В.А., Головкин Л.Г., Стойко А.В., Дырда В.И., Хмель И.В. Дезинтеграция железной руды в шаровых мельницах с резиновой футеровкой. // Геотехническая механика. – 2017. – Вып. 133. – С. 90-102. (на русском языке)
6. Калашников В.А., Головкин Л.Г., Дырда В.И., Агальцов Г.Н. Некоторые проблемы создания энергосберегающих резиновых футеровок шаровых рудоизмельчительных мельниц. // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2019. – №8. – С. 46-49. (на русском языке)
7. Дырда В.И. Теория волнового абразивно-усталостного износа упругонаследственных сред. // Геотехническая механика. – 2013. – Вып. 113. – С. 133-144. (на русском языке)
8. Калашников В.А., Головкин Л.Г., Дырда В.И., Стойко А.В., Хмель И.В. Резиновая футеровка шаровых мельниц в новой ресурсо- и энергосберегающей технологии измельчения крепких руд. // Черная металлургия. – 2016. – Вып. 1(1393). – С. 70-74. (на русском языке)
9. Дырда В.И., Калашников В.А., Стойко А.В., Хмель И.В. Динамическая модель волнового абразивно-усталостного разрушения резиновой футеровки в барабанных мельницах. // Геотехническая механика. – 2012. – Вып. 106. – С. 15-24. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Klas-Goran Eriksson, Gunder Marklund, Гребенешников А.Р., Фицев В.Ю. Диірмен төсеу жүйелерін дамыту. // Тау-кен өндірісі. – 2010. – №1. (орыс тілінде) URL: <https://mining-media.ru/ru/article/drobilka/1623-razvitie-sistem-melnichnykh-futerovok> (өтінім берілген күн: 29.06.2021)
2. Крюков Д.К., Беляев Ю.В., Трубицын М.Н. Барабан диірмендерінің техникалық-экономикалық көрсеткіштерін жақсарту мақсатында төсем плиталарының ұтымды профилін анықтау. // Ұсақ және ұнтақтау жабдықтары және ыдырау технологиясы: Ғылыми еңбектердің ведомствааралық жинағы «МЕХАНОБР». – Л., 1989. – Б. 70-77. (орыс тілінде)
3. Bulat A.F., Dyrda V.I., Karnaukhov V.G. Термовизоэластикалық денелердің ұзақ мерзімді циклдік жүктемесіндегі беріктігі. // Қолданбалы механика. – 2019. – Т. 55. – Б. 495-503. (ағылшын тілінде) <https://doi.org/10.1007/s10778-019-00971-1>
4. Bulat A.F., Dyrda V.I., Kalhankov Ye.V. Барабанды шарлы диірмендердегі резеңке төсемдердің толқын-абразивті-қажу тозуының синергетикалық моделі. // Ұлттық тау-кен университетінің хабаршысы. – Днепр, 2018. – №5(167). – Б. 39-47. (ағылшын тілінде) <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-5/5>.
5. Калашников В.А., Головкин Л.Г., Стойко А.В., Дырда В.И., Хмель И.В. Резеңке қаптамалы шарлы диірмендерде темір рудасының ыдырауы. // Геотехникалық механика. – 2017. – №133. – Б. 90-102. (орыс тілінде)
6. Калашников В.А., Головкин Л.Г., Дырда В.И., Агальцов Г.Н. Шарлы ұнтақтайтын диірмендердің энергия үнемдейтін резеңке төсемдерін құрудың кейбір мәселелері. // Қазақстанның тау-кен журналы. – Алматы, 2019. – №8. – Б. 46-49. (орыс тілінде)
7. Дырда В.И. Серпімді тұқым қуалайтын орталардың толқынды абразивтік-шаршау тозу теориясы. // Геотехникалық механика. – 2013. – №113. – Б. 133-144. (орыс тілінде)
8. Калашников В.А., Головкин Л.Г., Дырда В.И., Стойко А.В., Хмель И.В. Күшті кендерді ұсақтауға арналған жаңа ресурстық және энергия үнемдеу технологиясындағы шарлы диірмендердің резеңке төсемдері. // Қара металлургия. – 2016. – №1(1393). – Б. 70-74. (орыс тілінде)
9. Дырда В.И., Калашников В.А., Стойко А.В., Хмель И.В. Барабан диірмендеріндегі резеңке төсемдердің толқын-абразивті-қажу бұзылуының динамикалық моделі. // Геотехникалық механика. – 2012. – №106. – Б. 15-24. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. *Klas-Goran Eriksson, Gunder Marklund, Grebeneshnikov A.P., Fishchev V.Yu. Razvitie sistem mel'nichnykh futerovok [Development of mill lining systems]. // Gornaya promyshlennost' = Mining industry. – 2010. – №1. (in Russian). URL: <https://mining-media.ru/ru/article/drobilka/1623-razvitie-sistem-melnichnykh-futerovok> (date of access: 29.06.2021)*
2. *Kryukov D.K., Belyaev Yu.V., Trubitsyn M.N. Opredelenie racional'nogo profilya futerovochnykh plit s cel'yu povysheniya texniko-e'konomicheskikh pokazatelej barabannykh mel'nic [Determination of the rational profile of lining plates in order to improve the technical and economic indicators of drum mills]. // Drobil'no-razmol'noe oborudovanie i texnologiya dezintegracii: Mezhdovedomstvennyj sbornik nauchnykh trudov «MEKHANOB» = Crushing and grinding equipment and disintegration technology: Interdepartmental collection of scientific papers «MEKHANOB». – L., 1989. – P. 70-77. (in Russian)*
3. *Bulat A.F., Dyrda V.I., Karnaukhov V.G. Durability of Thermoviscoelastic Bodies Under Long-Term Cyclic Loading // International Applied Mechanics. – 2019. – Vol. 55. – P. 495-503. (in English) <https://doi.org/10.1007/s10778-019-00971-1>.*
4. *Bulat A.F., Dyrda V.I., Kalhankov Ye.V. Synergetic model of the wave abrasive-fatigue wear of rubber lining in the ball-tube mills // Scientific Bulletin of NSU. – Dnipro, 2018. – №5(167). – P. 39-47. (in English) <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-5/5>.*
5. *Kalashnikov V.A., Golovko L.G., Stoyko A.V., Dyrda V.I., Khmel I.V. Dezintegraciya zheleznoj rudy v sharovykh mel'nicax s rezinovoj futerovkoj [Disintegration of iron ore in ball mills with rubber lining]. // Geotexnicheskaya mexanika = Geotechnical Mechanics. – 2017. – Issue 133. – P. 90-102. (in Russian)*
6. *Kalashnikov V.A., Golovko L.G., Dyrda V.I., Ahaltsov H.N. Nekotorye problemy sozdaniya e'nergosberegayushhix rezinovykh futerovok sharovykh rudoizmel'chitel'nykh mel'nic [Some problems of creating energy-saving rubber lining of ball ore-grinding mills]. // Gornyj zhurnal Kazaxstana = Mining Journal of Kazakhstan. – Almaty, 2019. – №8. – P. 46-49. (in Russian)*
7. *Dyrda V.I. Teoriya volnovogo abrazivno-ustalostnogo iznosa uprugonasledstvennykh sred [The theory of wave abrasive-fatigue wear of elastic hereditary media]. // Geotexnicheskaya mexanika = Geotechnical mechanics. – 2013. – Issue 113. – P. 133-144. (in Russian)*
8. *Kalashnikov V.A., Golovko L.G., Dyrda V.I., Stoyko A.V., Khmel I.V. Rezinovaya futerovka sharovykh mel'nic v novej resurso- i e'nergosberegayushhej texnologii izmel'cheniya krepkix rud [Rubber lining of ball mills in a new resource and energy saving technology for crushing strong ores]. // Chernaya metallurgiya = Ferrous metallurgy. – 2016. – Issue 1(1393). – P. 70-74. (in Russian)*
9. *Dyrda V.I., Kalashnikov V.A., Stoyko A.V., Khmel I.V. Dinamicheskaya model' volnovogo abrazivno-ustalostnogo razrusheniya rezinovoj futerovki v barabannykh mel'nicax [Dynamic model of wave abrasive-fatigue destruction of rubber lining in drum mills]. // Geotexnicheskaya mexanika = Geotechnical Mechanics. 2012. Issue. 106. P. 15-24. (in Russian)*

Сведения об авторах:

Калашников В.А., инженер, директор Общества с ограниченной ответственностью «НПП Валса ГТВ» (г. Белая Церковь, Украина), v.kalashnikov@valsa-nvp.com; **ORCID** 0000-0002-0007-7927

Головко Л.Г., инженер, главный инженер Общества с ограниченной ответственностью «НПП Валса ГТВ» (г. Белая Церковь, Украина), *chief.eng@valsa-gtv.com*; **ORCID** 0000-0002-5957-9040

Дырда В.И., д-р техн. наук, профессор, заведующий отделом механики эластомерных конструкций горных машин Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (г. Днепр, Украина), vita.igtm@gmail.com; **ORCID** 0000-0002-2113-816X

Агальцов Г.Н., инженер, младший научный сотрудник отдела механики эластомерных конструкций горных машин Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (г. Днепр, Украина), ag.gena@gmail.com; **ORCID** 0000-0001-6296-7573

Авторлар туралы мәліметтер:

Калашников В.А., инженер, «SIC VALSA GTV» Жауапкершілігі шектеулі қоғам директоры (Белая Церковь к., Украина)

Головко Л.Г., инженер, «SIC VALSA GTV» Жауапкершілігі шектеулі қоғам бас инженері (Белая Церковь к., Украина)

Дырда В.И., техника ғылымдарының докторы, профессор, Поляков атындағы Украина Ұлттық ғылым академиясының геотехникалық механика институты, Тау-кен машиналарының эластомерлік құрылымдарының механикасы кафедрасының менгерушісі (Днепр к., Украина)

Агальцов Г.Н., инженер, Поляков атындағы Украина Ұлттық ғылым академиясының геотехникалық механика институты, Тау-кен машиналарының эластомерлік құрылымдары механикасы бөлімінің кіші ғылыми қызметкері, (Днепр к., Украина)

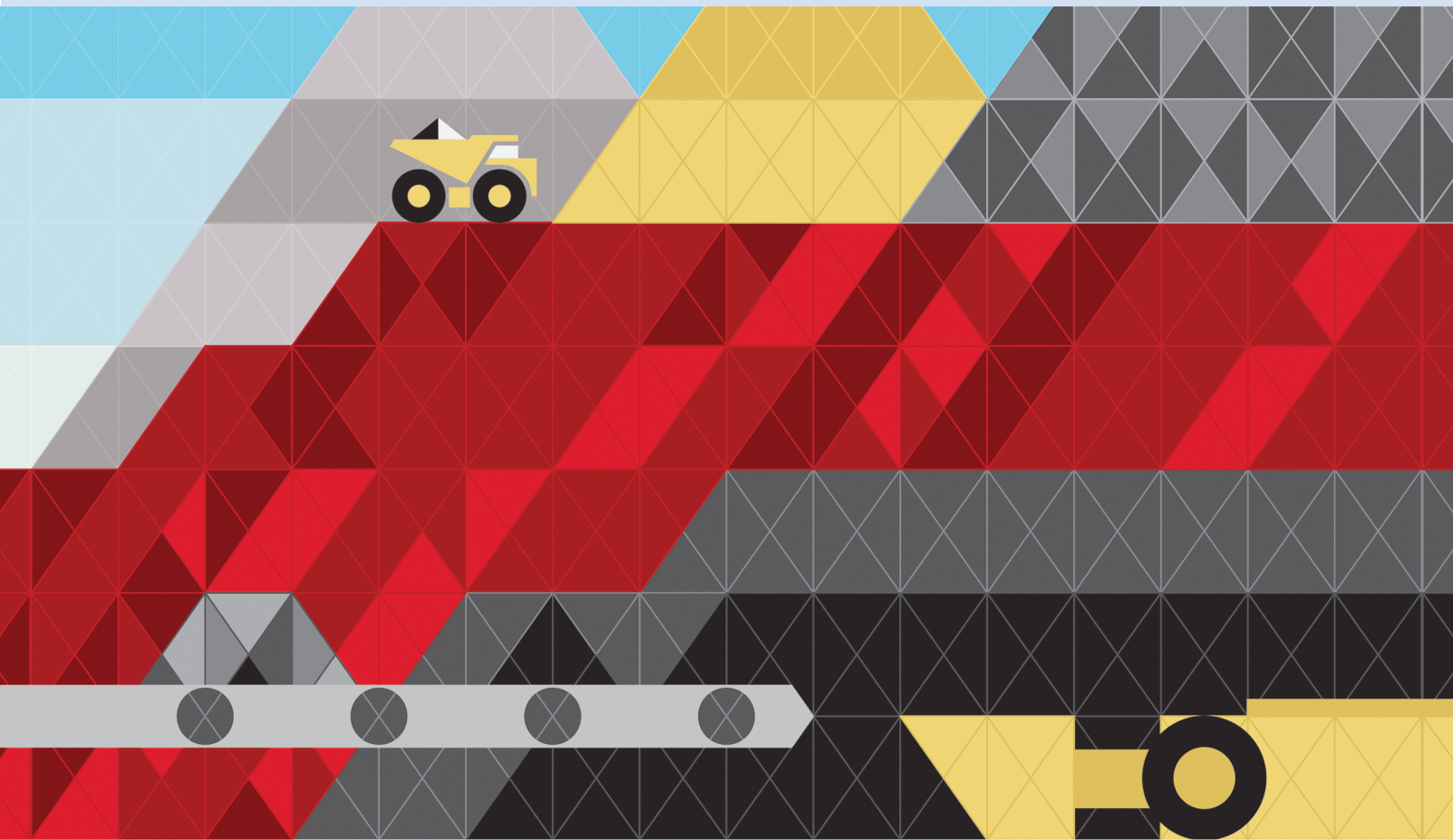
Information about the authors:

Vyacheslav A. Kalashnikov, Master of Science, Director of the «SIC VALSA GTV» Limited Liability Companies (Bila Tserkva, Ukraine)

Lubov G. Golovko, Master of Science, Chief Engineer of the «SIC VALSA GTV» Limited Liability Companies (Bila Tserkva, Ukraine)

Vitalii I. Dyrda, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head at the Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines of the Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of the National Academy of Sciences of Ukraine (Dnipro, Ukraine)

Hennadii M. Ahaltsov, Master of Science, Junior Researcher at the Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines of the Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of the National Academy of Sciences of Ukraine, (Dnipro, Ukraine)



Рудник Урала – 2021 Екатеринбург

9–11
ноября

6-я специализированная выставка современных технологий, оборудования и спецтехники для добычи и обогащения руд и минералов

крупнейший проект горной тематики на Урале

Официальная поддержка:



Правительство
Свердловской
области



Торгово-промышленная палата
Российской Федерации
В интересах бизнеса, во благо России

Профессиональная поддержка:



ВЫСТАВОЧНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
**ПЕРМСКАЯ
ЯРМАРКА**

МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО»
ЭКСПО-бульвар, дом 2
(342) 264-64-14
www.mine.expoperm.ru



Международная
конференция и выставка

УГОЛЬ РОССИЯ И СНГ

16-17 НОЯБРЯ 2021, МОСКВА

Организатор:

VOSTOCK CAPITAL

+7 (495) 109 9 509 (Москва)
events@vostockcapital.com

КЛЮЧЕВЫЕ МОМЕНТЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

200+ УЧАСТНИКОВ, среди которых руководители крупнейших угольных предприятий России и стран СНГ, а также инициаторы инвестиционных проектов, компании-разработчики и производители оборудования и технологий для предприятий, российские и международные инвесторы

15+ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

по производству угля и строительству объектов угольной инфраструктуры

40+ ДОКЛАДЧИКОВ И УЧАСТНИКОВ ДИСКУССИЙ:

представители проектов, регуляторные органы, ведущие эксперты отрасли

БУДУЩЕЕ ИНДУСТРИИ УГОЛЬНОЙ

ПРОМЫШЛЕННОСТИ: перспективные векторы развития отрасли в России и СНГ, **возможности для увеличения экспорта и государственная поддержка**

ПРИМЕРЫ ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК

И ЛУЧШИХ ТЕХНОЛОГИЙ для повышения производственной эффективности

СТАТУС КРУПНЕЙШИХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ

ПРОЕКТОВ – модернизация производства и развитие инфраструктурных проектов

АКТУАЛЬНО! Технический круглый стол: **обеспечение промышленной безопасности в угольных шахтах**

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ: российский и иностранный опыт внедрения инновационных технологий для оптимизации производственных процессов

СПЕЦИАЛЬНАЯ СЕССИЯ: **Строительство портовой и железнодорожной инфраструктуры** – какие мощности необходимы?

ВАЖНО! **Экология угольной промышленности:** минимизация техногенного воздействия на окружающую среду и инвестиции в экологические проекты

КРУГЛЫЙ СТОЛ: **Развитие глубокой переработки угля и углекислоты** – альтернатива или необходимость?

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА технических, технологических и сервисных решений от лидеров отрасли



COALOFRUSSIA.COM

среди
постоянных
участников:



Код МРНТИ 52.01.75



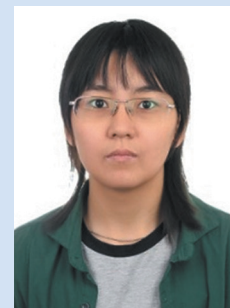
Р.Қ. Қамаров



Т.Д. Мальченко



В.Ф. Демин



Д.Н. Камарова

«Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамының (Қарағанды қ., Қазақстан)

АШЫҚ КЕНІШТЕРДІҢ ЖОСПАРЛАНҒАН ӨНІМДІЛІГІНЕ БАЙЛАНЫСТЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ МӘСЕЛЕРІН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН КРИТЕРИЙЛЕРДІ НЕГІЗДЕУ

Аннотация. Мақалада өндіріс қуаттылығы мен ашық кеніштердегі тау-кен жұмыстарының режимі теориялық негізделеді. Бұрын жүргізілген зерттеулерде кентехникалық факторлар бойынша ашық кеніштердің өнімділігін анықтау әдістері нақты кен орындары мен қазудың тиісті технологиялары үшін әзірленген және қолданылған. Ашық кеніштердің өнімділігін анықтаудың қолданыстағы әдістерін талдау көрсеткендей, қолданыстағы әдістердің әр түрлі мақсаттары бар: берілген жағдайларда техникалық қол жеткізілетін ашық кеніштердің өнімділігін бағалауға, кәсіпорынның экономикалық тұрғыдан тиімді дамуы және технологиялық үдерістер мен жүйелерді оңтайландыру бойынша техникалық шешімдердің нұсқаларын салыстыруға арналған. Авторлар нарықтағы қажеттіліктен ашық кеніштердің өнімділігінің өзгеруін негіздеді, сондай-ақ, ашық кеніштердің жоспарланған өнімділігін оңтайландырудың мақсаттары мен міндеттерін дәлелдеді және қойды.

Түйінді сөздер: ашық кеніш, жобалау, стохастикалық жүйе, тау-кен жұмыстары, ықтималдық, критерий, оңтайландыру, өндірістік қуат.

Обоснование критерия для решения оптимизационных задач, связанных с плановой производительностью карьеров

Аннотация. В статье дано теоретическое обоснование производственной мощности и режима горных работ карьеров. Ранее проведенными исследованиями было установлено, что методы определения производительности карьеров по горнотехническим факторам предназначены и используются для конкретных месторождений и соответствующей технологии разработки. Анализ существующих методов определения производительности карьеров показал, что существующие методы имеют разные цели (оценка технически достижимой в данных условиях производительности карьера; экономически эффективное развитие предприятия; сравнение вариантов технических решений по оптимизации технологических процессов и систем). Авторами было выполнено обоснование изменения производительности карьеров в зависимости от потребностей рынка, а также были обоснованы и поставлены цели и задачи оптимизации плановой производительности карьера.

Ключевые слова: карьер, проектирование, стохастическая система, горные работы, вероятность, критерий, оптимизация, производственная мощность.

Justification criteria for the solution of optimization tasks related to the planned performance of careers

Abstract. The article gives a theoretical justification of the production capacity and the mode of mining of quarries. Earlier studies have found that methods for determining the productivity of quarries by mining factors are designed and used for specific fields and the corresponding development technology. The analysis of existing methods for determining the productivity of quarries showed that the existing methods have different goals: assessing the performance of a career that is technically achievable under given conditions, the cost-effective development of an enterprise and for comparing options of technical solutions for optimizing technological processes and systems. The authors conducted a rationale for changes in the performance of quarries from market needs. The authors also substantiated and set goals and objectives for optimizing the planned career performance.

Key words: quarry, performance, design, stochastic system, mining, probability, criterion, optimization, economic assessment, production capacity.

Мәселенің негіздемесі

Жобалаудың маңызды міндеттерінің бірі болып – ашық кеніштердің өндірістік қуаты мен тау-кен жұмыстарының режимін негіздеу саналады. Өнімділікті анықтаудың жалпы принциптері жеткілікті егжей-тегжейлі зерттелген, дегенмен, бұл жағдайда ашық кеніш өзін-өзі жұмыс жасайтын жүйе ретінде қарастырылады. Сонымен, «ашық кеніш» жүйесі стохастикалық жүйе болып саналатындығы белгілі, сондықтан өнімділіктің белгілі бір алдын-ала анықталмаған кейбір жағдайлары кезінде нөлдік емес ықтималдық орын алады. Демек,

нақты өнімділік осы алдын-ала анықталған мәннен үлкен немесе кем болады. Жоспарланған өнімділік мәнінен оның нақты мәні қай бағытқа ауытқып отыратыны өте маңызды. Жоспарланған мәнді тағайындау көрсетілген ықтималдықтарды ескере отырып жүргізілуі керек. Бұл проблеманы тұжырымдау және тау-кен өндірісінің онымен байланысты мәселелері белгілі зерттеулерде жеткілікті түрде көрсетілмеген¹⁻³ [1].

Теориялық зерттеу

1. Кен-техникалық факторлар бойынша өнімділікті анықтаудың қолданыстағы әдістері, негізінен, осы кен

¹Ржевский В.А. Ашық тау-кен жұмыстары. 1 кітап. Өндірістік үдерістер. – Санкт-Петербург: Ленанд, 2014. – 512 б. (орыс тілінде)

²Ржевский В.А. Ашық тау-кен жұмыстары. 2 кітап. Механикаланған жиынтық және технология. – Санкт-Петербург: Ленанд, 2012. – 512 б. (орыс тілінде)

³Иванов В.В. Ашық кеніштерде өндіру жұмыстарының технологиясы: оқу құралы. – Санкт-Петербург: Кен, 2015. – 80 б. (орыс тілінде)

орнына қабылданған игеру технологиясы шеңберінде техникалық шешімдер жиынтығын іске асыру кезінде мүмкін болатын өнімділік мәндерінің ауқымын бағалауға арналған және қолданылады.

2. Өтеу шығындарының кезеңі бойынша, қорлар мөлшері мен қазымдаудың ұтымды кезеңі және т.б. бойынша ашық кеніштің өнімділігін бағалау, өнімділіктің мәнін өзгертудің төменгі рұқсат етілген шегін анықтайды⁴⁻⁶.

3. Кейбір технологиялық схеманың шегінде технологиялық шешімдердің кешендік нұсқасын таңдау, сондай-ақ, кен орындарын игеру жүйесін және өндірістік үдірістердің шамашарттарын оңтайландыру максималды келтірілген пайда критериясы бойынша жүзеге асырылады.

4. Егерде жоғарыда көрсетілген әдіспен есептелген өнімділік жоспарланған түрде қабылданса, онда шешім тең жағдайда болғаны дұрыс болады:

$$\int_{-\infty}^{A_{нл.}} R(A) f(A) dA = \int_{A_{нл.}}^{\infty} R(A) f(A) dA, \quad (1)$$

мұндағы:

$A_{нл.}$ – экономикалық критерий бойынша есептелген өнімділіктің жоспарлы мәні;

$R(A)$ – өнімділік бойынша орындалмау ($A < A_{нл.}$ кезінде) және орындалу ($A > A_{нл.}$ кезінде) жоспарының артығымен орындалуының салдарын экономикалық бағалауды көрсететін функция;

$f(A)$ – өнімділік мәндерінің таралу тығыздығы немесе критерий құрылымында жартың орындалмауын білдіретін салыстырмалы Апл. асимметрия $R(A); f(A)$ ескеріледі (1).

Шарт (1) келесі жағдайларда орындалады: егерде барлық мүмкіндікті нәтижелер жиынтығында ашық кеніштің өндірістік бағдарламасын іске асыру кезінде жоспардың орындалмауынан зиянды математикалық күту модуль бойынша қосымша математикалық күтуге тең болған жағдайда. Бұндай жағдайларда нақты өнімділіктің азайтылу жағына ауытқылау мүмкінділігі жоғарылату жағына ауытқыландыру экономикалық салдары бойынша орнын толтырады. Соған байланысты өнімділіктің қалыптасуының стохастикалық сипаты оптимум жағдайына әсер етпейді және есептеу кезінде ескерілмеуі мүмкін – яғни көрсеткіштердің орташа мәндеріне сүйену жеткілікті.

Жағдай (1) орындалмаған жағдайда іс басқаша болады. Егерде сол жақ бөлік (1) оң жақ бөліктен жоғары болатын болса, онда жоспардың жеткіліксіз орындалуынан болатын зиянды математикалық күтімділік артық орындалудан болатын қосымша пайданың математикалық күтімділігінен асып түседі. Демек, өндірілген шикізаттың 1 тоннасы үшін орташа күтілетін пайда орташа көрсеткіштер бойынша есептелгеннен аз болады. Егерде сол жақ бөлік (1) – оң жақ бөліктен аз болатын болса, онда 1 т өндірілетін шикізаттан күтілетін орташа пайда, сәйкес – орташа көрсеткіштер бойынша есептелінгенмен салыстырғанда жоғары. Бұндай жағдайда (1)-ден

алынған бұл теңсіздіктер $A_{нл.}$ -дің мәнінің асыра бағаланғаны немесе бағаланбағандығы туралы айтуға әлі негіз бола алмайды, өйткені Апл. мәнінің өнімділіктің орташа мәнімен Аср. ара қатысына байланыстылығын пайданың жалпы сомасымен ескерілуі қажет:

$$A_{ср} = \int_0^{\infty} A f(A) dA. \quad (2)$$

Барлық осы кезеңдер критерий құрылымында ескерілуі керек, өйткені жалпы жағдайда шарт (1) қанағаттандырылмайды – ең болмағанда ерікті $A_{нл.}$. Бұл мәлімдемені үздіксіз $R(A)$ және $f(A)$ үшін математикалық тұрғыдан дәлелдеуге болады, демек игерудің көрсетілген кентехникалық шарттары кезінде және осы технология шеңберінде қабылданған техникалық шешімдердің кешені кезінде артық бағаланған, сондай-ақ, бағаланбаған жоспарлы тапсырманың тағайындалу мүмкінділігі жойылмаған.

Қолданыстағы әдістерді бағалау

Ашық кеніштердің өнімділігін анықтаудың қолданыстағы әдістерін талдау кезінде олардың барлығы келесі топтарға бөлінуі мүмкін:

- ашық кеніш өнімділігінің берілген шарттарында техникалық қол жетімділікті бағалауға арналған әдістер;
- кәсіпорынның экономикалық тиімді дамуының жалпы ережелері тұрғысынан қарастырғанда ең пайдалы өнімділіктің шамасын бағалауға мүмкіндік беруші әдістер (негізінен инвестициялық саясат тұрғысынан);
- техникалық шешімдердің нұсқаларын салыстыру және техникалық үдірістер мен жүйелердің шамашарттарын оңтайландыру әдістері.

Жоғарыда аталған үш топ әдістерінің жалпы кемшілігі – өнімділіктің жоспарланған жүйеден бөлініп қарастырылуы. Бұл факт, сондай-ақ, практикада да бейнеленеді – жобалық өнімділік техникалық қол жетімділікке қарағанда біршама төменірек қабылданады, яғни белгілі бір резерв құрылады, ал жоспарланған – жобалыққа қатысы бойынша белгілі бір «артықпен» қабылданады. Бұндай жағдайда бұл резервтердің шамалары едәуір дәрежеде еркінше тағайындалады.

Кез-келген ресурсты резервтеу деп бұл ресурсты белгілі бір уақытта материалдық өндіріс сферасынан шығарып тастау, демек белгілі бір өнім мөлшерін толығымен ала алмау деп түсінуге болады. Екінші жағынан, кейбір ресурстардың болмауы немесе негізсіз төмендеуі кейбір кәсіпорындармен жоспарлы тапсырмалардың болдырмауына әкеп соғады. Бұл қазіргі заманғы мамандандырылған өндіріс жағдайында басқа кәсіпорындар үшін шикізат пен материалдарды жеткізу жоспарларының бұзылуына әкеп соғады. Демек, өндіріс өнімдерінің шығарылуы мен сапасының төмендеуі және т. б., әрі қарай тізбек бойымен бұзылуына әкеледі. Демек, әр ресурс үшін әділ себепші болатын резервтеудің мөлшері болуы қажет. Одан жоғары және төмен жаққа ауытқу өндірістік тиімділіктің жоғалуына әкеп соқтырады. Бұл тұжырым

⁴Анистратов Ю.Н., Анистратов К.Ю., Шадов М.И. Ашық тау-кен жұмыстары бойынша анықтамалық. – М.: Тау-кен ісі, 2010. – 725 б. (орыс тілінде)

⁵Анистратов Ю.А., Анистратов К.Ю. Ашық тау-кен жұмыстарының технологиясы. – М.: «Тау-кен ісі» ФГО, 2012. – 234 б. (орыс тілінде)

⁶Тау-кен ісі: Терминологиялық сөздік. / РГА акад. К.Н. Трубецкойдың, РГА корр.-мұ. Д.Р. Каплуновтың ғылыми басылымымен. 5-ші баспа, қайта қаралған және кеңейтілген. – М.: Кен кітабы, 2016. – 635 б. (орыс тілінде)

кез-келген ресурстардың резервтеу түрлері үшін әділетті. Соның ішінде – ашық кеніштердің өнімділігі үшін. Демек, оңтайлы деңгеймен салыстырғанда көтеріңкі жоспарды тағайындау өнімділік резервінің төмендеуіне әкеледі, ал төменгі жоспарды тағайындау – өнімділік резервінің артуына әкеледі.

Зерттеудің міндеті мен мақсаты

Осылайша, сипатталған тәсілдердің негізінде келесі міндеттерді шешуге болады:

- кен орнын немесе оның бөлігін игерудің қабылданған технологиясының шеңберінде техникалық шешімдердің берілген жиынтықтары кезінде ашық кеніштің жоспарланған өнімділігін негіздеу;
- ашық кеніштің жоспарланған өнімділігі кезінде кен орнын немесе оның бөлігін игерудің өндірістік үдірістерінің және технологиялық схемалардың шамашарттарын оңтайландыру;
- үдірістер мен технологиялық схемалардың шамашарттарын рұқсат етілген ауытқу шектері аймағында кен орнын немесе оның бөлігін игерудің технологиялық схемалары мен өндірістік үдірістердің шамашарттарын, сондай-ақ, ашық кеніштің жоспарланған шамасын оңтайландыру.

Бұл мәселелерді қолданыстағы әдістермен шешу мүмкін емес.

Өндірістік үдірістердің шамашарттарын және кен орнын игерудің технологиялық схемаларын оңтайландырудың немесе оның бөлігін ашық кеніштің жоспарланған өнімділігін оңтайландырумен және мүмкін өнімділікті қалыптастырудың стохастикалық сипатын ескере ашық әдіспен қазудың мәселелерін шешудің әдістемелерін әзірлеу. Бұл мақсаттарға жету үшін келесі мәселелерді шешу қажет:

- жоспарлы тапсырмалардың ашық кенішпен орындалмауы мен асыра орындалуының экономикалық салдарының ерекшеліктерін ескере оңтайландырудың критерийлерін негіздеу;
- біріктіруші үдірістердің стохастикалық сипатын және олардың арасындағы байланыстарды ескере ашық кеніштің технологиялық кешендерінің өзара байланысының сипатын зерттеу;
- технологиялық кешендердің өзара әрекеттесуі не тижесінде кенбайлық бойынша ашық кеніштің өнімділігін қалыптастырудың заңдылықтарын айқындау;
- ашық кеніштің технологиялық кешендерінің шамашарттары мен сенімділік сипаттамаларына байланысты кездейсоқ шамалар ретінде ашық кеніш өнімділігін бөлудің шамашарттарын сандық бағалаудың есептік схемалары мен алгоритмдерін негіздеу;
- үдірістер мен технологиялық схемалардың шамашарттарын оңтайландыру және ашық кеніштің жоспарланған өнімділігі мәселелерін шешу әдістері мен алгоритмдерін құру.

Ашық кеніштің нақты өндірістік қуатын қалыптастырудың ықтималдық сипаты ең алдымен технологиялық кешен звеноларын қалыптастырудың ықтималдық

сипатына байланысты. Ол өз кезегінде тау-кен машиналарын және басқа да құрылғыларды тұтастырушы звенолардың аяққы орнықтылығымен анықталынады.

Кертпештердің арасындағы тау-кен қазындысы қорларын қазуға, сондай-ақ, кенкөлік жабдықтарының резервін шығаруға дайындалған аршу және өндіру кемерлерінің технологиялық кешендерінің орнықтылы функциясы ретінде ашық кеніштің жұмыс орнықтылығын сипаттайтын тәуелділіктер белгілі^{7,8} [1, 2]. Алайда, белгілі тәуелділіктер тек қана «ашық кеніш» жүйесінің дайындық коэффициентін бағалауға мүмкіндік беретіндіктен қарастырылып отырған түрдегі мәселелерді шешу жеткіліксіз. Сондықтан, келесі пікірлерде біз стохастикалық шаманы бейнелеудің ең жалпы әдісіне тоқталамыз. Ол ретінде ашық кеніштің мүмкінділікті нақты өнімділігі қарастырылады. Атап айтқанда, біз оны белгілі үлестірім заңы $f(A)$ және оның шамашарттары – математикалық күту $M\{A\}$ мен дисперсиясы $D\{A\}$ бар кездейсоқ шама деп санаймыз.

Ғылыми-қолданбалы зерттеулер

Жоғарыда айтылғандай, экономикалық критерий ретінде төменде келтірілген пайданы пайдалану өте орынды:

$$\Pi_{np} = \Pi_{np} - Z_{np} + O_{np}, \quad (3)$$

мұндағы:

Π_{np} – өндірілген өнімнің келтірілген құны, теңге;

Z_{np} – қарастырылып отырған кезеңде өнім өндірісіне берілген шығындар;

O_{np} – негізгі және айналым қорларының келтірілген қалған іске асырылатын құны.

Шығын мен құндылықтың анықталуын бөлек қарастырайық.

Өндірілімге келтірілген шығындарды анықтау

Шығындар құрылымы келесідей қабылданады [1]:

$$Z_{np} = K_{np} + \mathcal{E}_{np}, \quad (4)$$

мұндағы K_{np} және \mathcal{E}_{np} – келтірілген, сәйкесінше, күрделі және тұтыну шығындары.

$$K_{np} = \sum_{i=1}^{t-1} K_i^c (1+E)^{t-1} + K_t^c + \sum_{j=1}^T [K_j^p / (1+E_n)^j]; \quad (5)$$

$$\mathcal{E}_{np} = \sum_{j=1}^T [C_j A_j / (1+E_n)^j], \quad (6)$$

мұндағы:

t – ашық кеніш құрылысының салыну мерзімі, жыл;

T – жаңғыртуға дейінгі ашық кенішті пайдаланудың кезеңі [1], жыл;

$K_1^c, K_2^c, \dots, K_t^c$ – құрылыс кезеңіндегі жылдық инвестиция, теңге;

$K_1^p, K_2^p, \dots, K_T^p$ – пайдалану кезеңіндегі жылдық инвестиция, теңге;

C_j – j -тық жылда жөндеуге арналған шегерімді алып тастағандағы 1 тонна пайдалы қазбалардың жылдық өндірілімдік құны (аршуға жұмсалынған шығындарды есепке алғанда), теңге/т;

A_j – j -тық жылда ашық кеніштің өнімділігі, т;

E_n – әр уақыттық шығындарды келтіруге арналған шама.

Бірлік көрсеткіштерге ауысқанда [1], (5) бейне келесі түрді құрайды:

$$K_{np} = K_{y0}^c A_{nl} \left[\sum_{i=1}^{t-1} q_i (1+E)^{t-1} + q_t \right] + K_{y0}^{nm} A_{nl} \sum_{j=1}^T [S_j / (1+E_n)^j], \quad (7)$$

мұндағы:

K_{y0}^c – өндірістік қуат бойынша ашық кеніштің құрылысына жұмсалынған үлестік инвестиция, теңге/т;

q_1, q_2, \dots, q_t – құрылыстың жылдық мерзімі бойынша ауыртпалықтарды сәйкес күрделі салымдарға бөлу, бірлікті бөлісу;

⁷Коваленко В.П., Блинов С.А., Желтобрюх А.Н. Тау-кен жұмыстарын дамытудың бағдарламасы. – Мозоча, 2011. – 82 б. (орыс тілінде)

⁸Ржевский В.В. Ашық тау-кен жұмыстары. I, II бөлім. – М.: ММТКУ, 2010. – 549 б. (орыс тілінде)

K_{yo}^{nm} – өндірістік қуаттылықты күтіп ұстауға арналған үлестік инвестиция, теңге/т;

$S_1, S_2 \dots S_j$ – пайдалану жылдары бойынша өндірістік қуаттылықты күтіп ұстауға арналған ауыртпалықтарды сәйкес күрделі салымдарға бөлу, бірлікті сыбаға.

Демек:

$$\sum_{i=1}^I q_i = 1; \quad \sum_{j=1}^T S_j = 1. \quad (8)$$

Бұндай жағдайда өндірістік қуаттылықты салуға және күтіп ұстауға арналған инвестициялық шығындарды екі категорияның жиынтығы ретінде қарастыру қажет:

▪ өндірісті дамытуға $A_{nl.}^c$: K_a^c және өндірістік қуаттылықты күтіп ұстауға арналған инвестициялар;

▪ өнімділік резервін құруға арналған инвестициялар (яғни айырмашылық үшін $M\{A\} - A_{nl.}^o$): K_a^o және K_a^{nm}).

Күрделі салымдардың көрсетілген категорияларына сәйкес келетін бірлік көрсеткіштерін келесі түрде көрсетейік:

$$K_{yo}^c \times A_{nl.}^c = K_a^c \times A_{nl.}^c + K_a^o (M\{A\} - A_{nl.}^o). \quad (9)$$

$$K_{yo}^{nm} \times A_{nl.}^c = K_a^{nm} \times A_{nl.}^c + K_a^o (M\{A\} - A_{nl.}^o). \quad (10)$$

K_a^c/K_a^o қатынасын γ_k арқылы белгілеп және келесі факторды ескергенде, яғни өндірістік қуатты K_{yo}^{nm} күтіп ұстап тұруға жұмсалынған күрделі шығындарды $(0,1+0,15)K_{yo}^c$ мөлшерімен бағалағанда, (7) бейнесі келесі түрде қайтадан жазылады:

$$K_{np} = K_a^c [A_{nl.}^c (1 - \gamma_k) + M\{A\} \times \gamma_k] \times \left[\sum_{j=1}^T q_j (1 + E)^{j-1} + q_t + (0,1 + 0,15) \sum_{j=1}^T [S_j / (1 + E_n)^j] \right]. \quad (11)$$

Жөндеуге арналған шегерім төменгі формула бойынша келтірілген күрделі шығындардың шамалары арқылы анықталынады:

$$O_{np} = K_{np} \times \alpha \times d \times K_a, \quad (12)$$

мұндағы:

α – өтемдік шегерменің мөлшері, теңге;

d – жөндеуге арналған өтемдік шегерменің сыбағасы;

K_a – жөндемелік шегермені пайдаланудың коэффициенті.

Пікірлер пайдалану шығындары үшін де жарамды, сондықтан келесі формуланы қолданған орынды болады:

$$\mathcal{E}_{np} = C_a [A_{nl.}^c (1 - \gamma_c) + M\{A\} \times \gamma_c] \times \sum [X_j / (1 + E_n)^j], \quad (13)$$

мұндағы:

$\gamma_c = C_o / C_a$.

C_a – өндірістік қуаттылықты өзіндік қамтамасыз ету үшін аршуға жұмсалынған шығындарды ескере отыра 1 тонна пайдалы қазбаларды өндірудің өзіндік құны, теңге/т;

C_o – сол сияқты, өндірістік қуаттың резерві үшін де, теңге/т;

X_j – пайдалану жылдары бойынша өзіндік құн деңгейінің біржылдық өсіміне көрсеткіш коэффициенті.

Жалпы келтірілген шығындар (12) және (13) бейнелердің оң жақтарының қосындысы ретінде анықталынады.

$$\mathcal{Z}_{np} = C_a [A_{nl.}^c (1 - \gamma_c) + M\{A\} \times \gamma_c] \times \sum [X_j / (1 + E_n)^j] + K_{np} \times \alpha \times d \times K_a. \quad (14)$$

Қорытындылар

Экономикалық критерий ретінде келтірілген пайданы пайдалану өте орынды. Өндірістік қуаттылықты салуға және күтіп ұстауға арналған инвестициялық шығындарды екі категорияның жиынтығы ретінде қарастыру қажет – өндірісті дамыту мен өндірістік қуаттылықты күтіп ұстауға және өнімділік резервін құруға арналған инвестициялар ретінде. Реновацияға арналған қысқартылған аударымдар келтірілген күрделі шығындардың құны арқылы анықталатындығы анықталды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Мальченко Т.Д., Немова Н.А. Төзімділік факторлерін ескере стохастикалық жүйе ретінде ашық кеніштің өндірістік қуатын жобалау: оқу құралы. – Қарағанды: ҚарМТУ, 2016. – Б. 45-49. (орыс тілінде)
2. Мальченко Т.Д., Немова Н.А., Мальченко О.Е. Кен орындарын ашық әдіспен қазу кезінде тау-кен жобаларын экономикалық бағалау және негіздеу. – Қарағанды: ҚарМТУ, 2016. – Б. 65-69. (орыс тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мальченко Т.Д., Немова Н.А. Проектирование производственной мощности карьера как стохастической системы с учетом факторов надежности: учебное пособие. – Караганда: КарГТУ, 2016. – С. 45-49. (на русском языке)
2. Мальченко Т.Д., Немова Н.А., Мальченко О.Е. Обоснование и экономическая оценка горных проектов при открытой разработке месторождений. – Караганда: КарГТУ, 2016. – С. 65-69. (на русском языке)

REFERENCES

1. Malchenko T.D., Nemova N.A. Designing the production capacity of a quarry as a stochastic system taking into account reliability factors: a textbook. – Karaganda: Karaganda State Technical University, 2016. – P. 45-49. (in Russian)
2. Malchenko T.D., Nemova N.A., Malchenko O.Y., Justification and economic assessment of mining projects in open-pit mining. – Karaganda: Karaganda State Technical University, 2016. – p. 65-69. (in Russian)

Авторлар туралы мәліметтер:

Камаров Р.К., техника ғылымдарының кандидаты, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы кен орындарын қазып өндіру» кафедрасының профессоры, Ұлттық тау-кен ғылым академиясының академигі, Біліктілікті жоғарылату институтының директоры (Қарағанды қ., Қазақстан), ipk@kstu.kz; **ORCID** 0000-0003-0106-5343

Мальченко Т.Д., «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы кен орындарын қазып өндіру» кафедрасының аға оқытушысы, (Қарағанды қ., Қазақстан); **ORCID** 0000-0001-9236-5688

Демин В.Ф., техника ғылымдарының докторы, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы кен орындарын қазып өндіру» кафедрасының профессоры, (Қарағанды қ., Қазақстан), vladfdemin@mail.ru; **ORCID** 0000-0002-1718-856X

Камарова Д.Н., «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының студенті, Президенттік стипендияның иегері, (Қарағанды қ., Қазақстан), dio.1999@mail.ru; **ORCID** 0000-0001-8174-6848

Сведения об авторах:

Камаров Р.К., канд. техн. наук, академик Национальной академии горных наук, профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет», директор Института повышения квалификации (г. Караганда, Казахстан)

Мальченко Т.Д., старший преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет», (г. Караганда, Казахстан)

Демин В.Ф., д-р техн. наук, профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет», (г. Караганда, Казахстан)

Камарова Д.Н., студент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет», обладатель Президентской стипендии, (г. Караганда, Казахстан)

Information about authors:

Kamarov R.K., Candidate of Technical Sciences, Academician of the National Academy of Mining Sciences, Professor at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Noncommercial Joint-Stock Company «Karaganda Technical University», Director of the Institute for Advanced Studies (Karaganda, Kazakhstan)

Malchenko T.D., Senior Instructor at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Noncommercial Joint-Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Demin V.F., Doctor of Technical Sciences, professor at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Noncommercial Joint-Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Kamarova D.N., Student at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Noncommercial Joint-Stock Company «Karaganda Technical University», Holder of the Presidential scholarship (Karaganda, Kazakhstan)

ОТКРЫТА ПОДПИСКА

КАЗПОЧТА ЕВРАЗИЯ ПРЕСС ЭВРИКА-ПРЕСС

Подписной индекс 75807

Заявка на главной странице сайта MINMAG.KZ

Следите за новостями!



minmag.kz



[@minmag.kz](https://www.instagram.com/minmag.kz)



+7 747 343 15 02



post-dts@yandex.kz

050026, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Карасай батыра, 146, оф. 401



ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И УСЛОВИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ
в редакцию периодического печатного издания «Горный журнал Казахстана»
(действуют с 1 сентября 2019 года)

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 по следующим направлениям (полный перечень рубрик указан на сайте minmag.kz):

- ✓ *Геотехнология (подземная, открытая и строительная)*
- ✓ *Геомеханика, маркшейдерское дело и геодезия*
- ✓ *Разрушение горных пород*
- ✓ *Горные машины и оборудование*
- ✓ *Обогащение полезных ископаемых*
- ✓ *Геоэкология горно-перерабатывающей промышленности*
- ✓ *Охрана труда и промышленная безопасность*
- ✓ *Теоретические основы проектирования горно-технических систем*
- ✓ *Металлургия*
- ✓ *Горно-промышленная геология и геофизика*
- ✓ *Экономика горно-металлургической отрасли*

По указанным направлениям также принимаются статьи обзорного характера, отвечающие критериям первичной научной публикации.

Дополнительные рубрики:

- ✓ *Подготовка кадров (применительно к теме журнала)*
- ✓ *История горного дела, металлургии и геологии*
- ✓ *Юбилеи*
- ✓ *Реклама*

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

- набор статьи производится шрифтом Times New Roman 12 с полуторным интервалом;
- общий объем статьи, включая рисунки, таблицы, метадаанные не должен превышать 8 печатных страниц;
- статьи (за исключением обзоров), должны содержать новые научные результаты;
- статья должна соответствовать тематике (см. п. 1), научному уровню журнала;
- статья должна быть оформлена в полном соответствии с требованиями, отраженными в п. 3;
- статья может быть представлена на казахском, русском или английском языке;
- в редакцию представляется окончательный, **тщательно выверенный вариант** статьи, исключающий необходимость постоянных доработок текста на этапах издательского процесса;
- перед отправкой статьи в редакцию журнала авторам необходимо проверить текст на предмет отсутствия плагиата с помощью специальной программы (например, www.text.ru);
- необходимо указать одно из научных направлений, которому в наибольшей степени соответствует тематика статьи.

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 и русском языках;
 - инициалы и фамилии авторов; статья должна иметь не более 4 авторов;
 - сведения о каждом авторе предоставляются на трех языках (ученая степень, ученое звание, должность, место основной работы, контактные данные (адрес электронной почты), город, страна, **ORCID**);
 - 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 (реферат) предоставляется на казахском и русском 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 и русском языках;
 - текст статьи, содержащий следующие разделы (введение, методы/исследования, результаты, обсуждение результатов, заключение);
 - список использованных источников (10...12), в том числе не менее 3 зарубежных не ранее 2010 года, предоставляется на казахском и русском языках.

Основной раздел статьи на казахском или русском языках должен быть четко структурирован.

- ✓ Введение (*Introduction*) должно отражать актуальность темы исследования, обзор литературы по теме, постановку проблемы, формулировку целей и задач исследования.

✓ Методы/исследования (*Materials and Methods*) – описание методов исследования, схем экспериментов (наблюдений) с тем, чтобы позволить другим ученым и практикам воспроизвести результаты, пользуясь лишь текстами статьи; описание материалов, приборов, оборудования, выборка и условия проведения экспериментов (наблюдений).

✓ Результаты (*Results*). Этот раздел должен отражать фактические результаты исследования (текст, таблицы, графики, диаграммы, уравнения, фотографии, рисунки).

✓ Обсуждение результатов (*Discussion*) – типовая структура этого раздела имеет такой вид:

- чем могут быть объяснены полученные результаты;
- благодаря каким именно особенностям предложенных решений обеспечиваются преимущества;
- что можно считать преимуществами данного исследования по сравнению с аналогами;
- в чем состоят недостатки исследования;
- в каком направлении исследование целесообразно развивать, с какими трудностями при этом можно столкнуться.

✓ Заключение (*Conclusion*) – краткие итоги разделов статьи без повторения формулировок, приведенных в ней.

✓ Благодарности (*Acknowledgments*) – выражение признательности коллегам за помощь.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ и ЗАГОЛОВКИ ТАБЛИЦ оформляются отдельным блоком на казахском, русском и английском языках.

РИСУНКИ должны иметь расширение графических редакторов CorelDraw, Photoshop, Illustrator и т. п.). Фотографии должны быть предельно четкими в графическом формате (TIFF, JPEG, CDR) с разрешением не менее 300 dpi. Все буквенные и цифровые обозначения на рисунках необходимо пояснить в основном или подрисовочном текстах. Надписи и другие обозначения на графиках и рисунках должны быть четкими и легко читаемыми. Подписи к рисункам и заголовки таблиц **ОБЯЗАТЕЛЬНЫ**.

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. В список литературы не включаются любые материалы, не имеющие конкретного автора, в том числе: законы, стандарты (включая ГОСТ), статьи из словарей и энциклопедий, страницы сайтов, для материалов которых не указан конкретный автор и интервал страниц. Если у Вас возникает необходимость сослаться на подобные материалы, то ссылки на них оформляются как сноски в тексте статьи. Список приводится на русском (казахском) языке, а также в переводном и транслитерированном варианте (транслитерация выполняется по стандарту BSI: <https://translit.net/ru/bsi/>). Оба варианта списка литературы должны быть идентичны по содержанию. Сначала подготавливается русскоязычный (казахскоязычный) список литературы, включающий все источники (даже на иностранных языках), затем он переводится на английский язык и транслитерируется.

К статье прилагаются сведения на английском языке:

✓ заглавие (Title) – без сокращений и транслитерации, кроме случаев, когда встречаются непередаваемые названия имен собственных, например, название предприятий, приборов и др.;

✓ фамилия и инициалы (автора (-ов) (Byline) – транслитерация по системе BSI (<http://www.translit.ru>). Для англоязычных метаданных важно соблюдать вариант написания сведений об авторе в последовательности: полное имя, инициал отчества, фамилия;

✓ сведения об авторе (-ах), без сокращений;

✓ полное название организации (аббревиатуры не допускаются, дается полное название организации и ведомственная принадлежность, в том виде, в котором их профиль идентифицирован в БД Scopus), ее адрес, город, страна с указанием индекса;

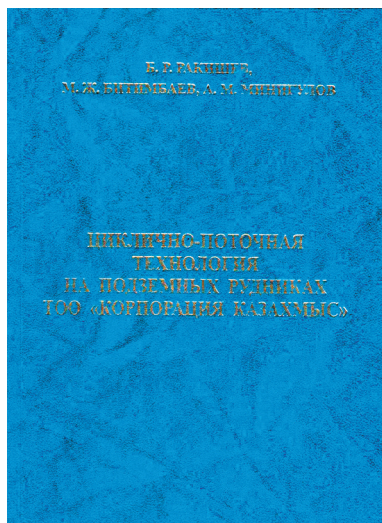
✓ реферат (аннотация) – Abstract. В реферат не допускается включать ссылки на источники из полного текста, а также аббревиатуры, которые раскрываются только в полном тексте. Реферат должен быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой казахско-русскоязычной аннотации с дословным переводом);
- содержательным (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);
- структурированным (следовать логике описания результатов в статье, кратко отображая основные мысли, содержащиеся в ее структурных частях – от проблемы, цели и методов до результатов исследований, предложений и главных выводов);
- быть написанным качественным английским языком;
- объемом не менее 700, но не более 900 знаков, включая пробелы.

✓ ключевые слова (Keywords) в количестве не менее 10, сокращения не допускаются, также не допускается использование слов в кавычках.

4. Стоимость публикации.

Стоимость публикации статьи в издании с 1 апреля 2021 года составляет 10000 тенге. В стоимость входит восемь экземпляров журнала с опубликованной статьей и присвоение DOI. Для авторов, проживающих в других городах (кроме г. Алматы) и не имеющих представителей в г. Алматы, в счет включаются почтовые услуги.



РЕЦЕНЗИЯ
на монографию Ракишева Б.Р., Битимбаева М.Ж., Минигулова А.М.
**«Циклично-поточная технология на подземных рудниках
ТОО «Корпорация Казахмыс»»**

Алматы: Жибек жолы, 2020. – 360 с.

Для обоснования и эффективного управления технологическими процессами эксплуатация месторождения полезных ископаемых в монографии рассмотрена как горно-техническая система, состоящая из четырех элементов: «подготовка месторождения к работе», «вскрытие месторождения», «разработка полезных ископаемых» и «использование выработанного пространства и отходов производства».

Главный элемент этой системы «разработка полезных ископаемых» преследует конечную цель производства – получение нужной для общества продукции необходимого количества и качества. В силу этого она рассмотрена как самостоятельная система следующего уровня, что допускается общепринятым понятием «система». Дано новое аргументированное определение системы разработки полезных ископаемых.

«Система разработки полезных ископаемых – это совокупность взаимосвязанных и взаимосвязанных между собой подготовительных и очистных выработок, перемещающихся в карьерном (шахтном) поле во времени для извлечения полезных ископаемых из недр Земли». Целенаправленное перемещение названных горных выработок

в карьерном (шахтном) поле подразумевает определенный порядок выполненных горных работ в них. Таким образом, в отличие от известных, в предлагаемом определении учитываются обе составляющие системы разработки полезных ископаемых: подготовительные, очистные выработки и горно-подготовительные, очистные работы в них.

В приведенном определении системы полностью раскрывается суть разработки полезных ископаемых – извлечение горных пород (полезных ископаемых) из недр Земли открытым (подземным) способом. Для нее, как и для любой системы в общепринятом смысле, присущи организация, структура, связи и функции, соблюдены все основные системные принципы: целостности, иерархичности, структурности, взаимозависимости элементов системы.

Правильно выбранная система разработки обеспечивает производительную, экономичную и безопасную эксплуатацию месторождения или его части. В монографии приведены наиболее эффективные системы разработки рудных залежей Жезказганского и Нурказганского месторождений.

В соответствии с новым определением, система разработки является оболочкой технологий горных работ, т. е. горно-технической средой, где функционирует технология разработки полезных ископаемых. Последняя включает в себя приемы и способы выемки, погрузки горных пород из подготовительных и очистных выработок и приемы, способы их транспортирования к пункту назначения (приема). Технология горно-подготовительных и очистных работ структурно состоит из двух элементов: выемочно-погрузочных и транспортных работ.

В качестве важных характеристик технологии разработки полезных ископаемых приняты непрерывность процессов выемки, погрузки, перемещения и транспортирования горных пород к пункту назначения. Эти отличительные признаки положены в основу классификации технологий разработки полезных ископаемых. Технология разработки полезных ископаемых подразделена на: цикличную, циклично-поточную, поточную и комбинированную.

Рационально выбранная технология разработки во взаимосвязке с параметрами системы разработки и техническими характеристиками применяемых средств механизации должна служить базой для внедрения в широком масштабе безопасных малоотходных и безотходных производств, позволяющих обеспечить полноту выемки полезных ископаемых из недр, глубокую их переработку, комплексное использование всех отходов и сокращения или полного исключения негативного воздействия горных работ на окружающую среду.

В монографии обосновано, что в современных условиях наиболее эффективной и приемлемой при подземной эксплуатации месторождений является циклично-поточная технология. В направлении разработки и внедрения этой технологии «Корпорация Казахмыс» занимает сегодня лидирующее положение среди мировых горных компаний. Оно достигнуто за счет реализации долгосрочной программы последовательного создания технических и организационных решений по повышению эффективности производства. Это – организация проходки новых конвейерных выработок, устройство бункерного хозяйства, приобретение и монтаж десятков километров конвейерных линий со всей инфраструктурой, в т. ч. дробилками крупного дробления, конвейерными лентами, средствами автоматики и т. д. Существенную роль при этом сыграли предварительное создание рациональной структуры буровзрывных работ, оптимизированной с результатами деятельности системы «погрузка – доставка – транспорт» на основе совокупной эффективности производственных процессов добычи и обогащения, налаженная работа с поставщиками бурового и зарядного оборудования, новых взрывчатых веществ и систем инициирования, погрузочно-доставочных комплексов и конвейеров.

В монографии убедительно показана значимость создания применяемых комплексов техники, начиная от бурения шпуров и скважин, продолжая погрузкой и доставкой, заканчивая конвейерным транспортированием дробленой руды с учетом коэффициентов надежности всех составляющих элементов. Возможность своевременно проводить ремонты, определение резерва запчастей и нормативов межремонтных циклов стали реальным механизмом, позволяющим четко планировать себестоимость со снижением на 8-10%, производительность труда с увеличением на 9-12% и существенно улучшить условия работы горнорабочих.

Единство научного задела проведенных исследований и практической реализации повышает ценность выполненной работы как научно-технической продукции. Все разделы книги взаимосвязаны. Монография написана на хорошем научно-техническом языке, весьма полезна для инженерно-технических и научных работников производства, проектных организаций, НИИ и вузов, занимающихся вопросами разработки полезных ископаемых подземным способом.

Шапошник Ю.Н.

ведущий научный сотрудник ИГД Сибирского отделения РАН, доктор технических наук, профессор