

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 25.10.2021 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](mailto:mbitimbaev@mail.ru)

#### Заместитель гл. редактора

Л.А. КРУПНИК, [leonkr38@mail.ru](mailto:leonkr38@mail.ru)

#### Заместитель гл. редактора

Х.А. ЮСУПОВ, [yusupov\\_kh@mail.ru](mailto:yusupov_kh@mail.ru)

#### Ответственный редактор

Ю.А. БОЧАРОВА, [Yuliya.Bocharova@interrin.kz](mailto:Yuliya.Bocharova@interrin.kz)

#### Специалист по связям с общественностью

Т.С. ДОЛИНА, [Tatyana.Dolina@interrin.kz](mailto:Tatyana.Dolina@interrin.kz)

#### Помощник редактора

И.П. КОНОНОВА (ПАШИНИНА),

#### 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. Байгурин**, 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

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

**Р.Р. Ходжаев**, д-р техн. наук

**Т.А. Чепуштанова**, PhD

® – статья на правах рекламы

① – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

- 3** Колонка главного редактора
- 4** Вишняков В.  
Пилотные испытания – гарантия эффективности при модернизации производства ®
- 7** В Карагандинской области запустили новую полиметаллическую обогатительную фабрику ®

## Геотехнология

- 8** Дрижд Н.А., Рабатұлы М., Кенетаева А.А., Стефлюк Ю.Ю.  
Көмір қабаттарының газ бөлуін қарқынды әдістері

- 13** Sandvik приняла участие в выставке Mining and Metals Central Asia 2021 ®

## Геомеханика

- 14** Раимжанов Б., Наимова Р.Ш., Райханова Г.Е., Мирзаев А.А.  
Исследование взаимосвязей параметров техногенных массивов на различных по несущей способности основаниях

## Крепление горных выработок

- 20** Камаров Р.Қ., Исабек Т.К., Барсуков С.В., Абдрахман Е.А.  
Тез қататын құрамдармен төбе жыныстарын бекіндірудің технологияларын қолдану

## Переработка полезных ископаемых

- 26** Чепуштанова Т.А., Меркибаев Е.С., Мотовилов И.Ю., Поляков К.В.  
Разработка гибридной технологии сульфидирующего обжига цинк- и свинецсодержащих промпродуктов обогащения

## Обогащение полезных ископаемых

- 34** Умарова И.К., Хайитов О.Г.  
Исследование возможности извлечения сульфидных минералов при комплексной переработке горючих сланцев

## Геоинформатика

- 39** Sdvyzhkova O., Babets D., Pilyugin V., Akhmetkanov D.  
Mathematical modeling roadway stability behind a longwall face in weak rocks

## Охрана труда и безопасность в горной промышленности

- 46** Баймухаметов С.К., Полчин А.И., Муллағалиева Л.Ф., Рахимова А.Р.  
Особенности проектирования мероприятий по предотвращению внезапных выбросов угля и газа на пластах с высокой скоростью десорбции метана

- 48** Отраслевые выставки Mining&Metals Central Asia и Kazcomak 2021 успешно возобновили свою деятельность

- 54** Требования к оформлению статей

- 56** Памяти Руслана Борисовича Юна

## КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат Жакупович  
Битимбаев**  
*главный редактор*

*Дорогие читатели!*

*Уважаемые коллеги!*

Мир информации, без которого теряется много из того ценного опыта и реалий действительности, которые накапливает человечество, в этот длительный период пандемийных проблем показал свой огромный потенциал и жизненную силу. Горно-металлургическое общество не является исключением. Оно, обладая своими специфическими возможностями, позитивно влияющими на его деятельность, одновременно более активно по сравнению со многими отраслями экономики движется в пространстве бизнеса. И эти успехи подкрепляются важными с точки зрения полезности сегодня и определяющей силой завтра мероприятиями. Мы все – и инженерно-технический персонал предприятий, и ученые-специалисты, и капитаны бизнеса, и ведущие компании – производители оборудования и материалов, проектные и консалтинговые компании – от геологов до энергетиков и экономистов – живут одной мыслью, творят в одном направлении – сделать минеральные ресурсы еще более востребованными и полезными для цивилизации.

Ежегодный Форум «Astana Mining and Metallurgy», который не состоялся, к сожалению, в 2019-2020 гг., наконец, широко распахнул двери 20-21 октября.

Одного взгляда на график проведения и вопросов, поставленных для докладов и обсуждения в повестке дня, достаточно, чтобы понять серьезность и полезность задуманного. В этой связи интересна сессия «Работа будущего в горно-металлургической отрасли». Также в эти дни прошел Форум золотопромышленников РК, на котором особенный интерес вызвало выступление инициаторов совершенно нового проекта «Новый финансово-инвестиционный инструмент в недропользовании через выпуск Цифрового финансового актива». Разработанный финансово-инвестиционный механизм позволит инвестору не вникать в тонкости недропользования, а получателю инвестиций не надо будет в ущерб планированию отвлекать средства из оборота, не имея уверенности в получении инвестиций, т. к. смысл действия этого механизма будет заключаться в выпуске цифровых активов в виде обеспеченных токенов на определенные этапы работ.

Кроме того, мы уже имеем дело с горношахтным оборудованием для подземных горных работ полного цикла, производимым в промышленных масштабах компанией «Sandvik», с дистанционным управлением в режиме «on-line» на основе программной платформы. Такое оборудование позволяет использовать и между-сменные перерывы, и время, отводимое на проветривание.

На выходе находятся технологии получения товарной продукции из сульфидных руд цветных и драгоценных металлов в растворе без массового применения буровзрывных работ.

Техническая революция вошла в производство, и наша задача на всех уровнях суметь принять «долгожданных гостей» в свои ряды и стать полноправными участниками общей новой семьи в горно-металлургической отрасли.

## ПИЛОТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ – ГАРАНТИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

*Уважаемые читатели, мы продолжаем изучать тему природоохранных технологий в горнодобывающей отрасли. Для недропользователей Казахстана внедрение наилучших доступных технологий (НДТ), использование которых позволяет значительно снизить токсичность и объемы выбросов, – это не только путь к выполнению Экологического кодекса, но и реальная возможность значительно снизить производственные затраты.*

*В прошлом номере мы обсуждали разумную экономию в применении технологий водоочистки. В этой статье мы поговорим с директором компании «Эргономика» Игорем Владимировичем Добровольским о пилотных испытаниях, которые являются гарантией эффективности при модернизации производства.*

– Игорь Владимирович, в процессе наших бесед о технологиях очистки воды, Вы неоднократно подчеркивали огромную значимость исходных данных, анализов по воде, которую будет очищать ваша установка, и необходимости пилотных испытаний. Давайте подробнее обсудим эту тему, чтобы специалистам горнодобывающих предприятий была понятна необходимость проведения этих испытаний.

– Да, это очень актуально сегодня. Начну с того, что неразумно поспешно выдавать заказчику технико-коммерческие предложения по очистке воды, поскольку они должны быть подготовлены на основании полного пакета исходных данных. Если исходные данные неполные или неточные, то и предложение с большой долей вероятности «не попадет в десятку»: могут оказаться неоправданно высокими затраты, очищенная вода может не соответствовать нормативам, может потребоваться модернизация технологической цепочки и так далее. То есть, должны быть «честные» и полные анализы по воде. Это – первое.

По существующим нормативным актам, примененные нетиповые технологии должны проходить пилотные испытания. Это – второе.

И третье – главное: полные исходные данные и пилотные испытания больше нужны даже не проектировщикам на этапе создания горного проекта, а конечному заказчику!!!

В проекте горнорудного комплекса много разделов: план горных работ, строительство надземных и подземных сооружений, технологический комплекс... Самое серьезное внимание уделяется в этом проекте основным производственным моментам. Использование воды – это только небольшой раздел в масштабном проекте. На том этапе, когда горный проект только создается, там, в степи, есть только разведочные скважины или какой-либо водоем. Из них отбирают предварительные пробы воды, смотрят, какой примерно дебет, и все. О проекте водоснабжения даже еще и речи нет. А ведь в течение года или в процессе эксплуатации качественный состав воды может существенно измениться, а заказчик этот фактор даже не учитывает.



**Игорь Владимирович Добровольский**  
директор компании «Эргономика»

Итак, горный проект сделали, он прошел экспертизу, началось строительство... К воде, как правило, и к сожалению, приходят только в конце проекта, на его финальной стадии и, естественно, появляется масса нестыковок. На практике, увы, такое встречается часто. Поэтому в интересах заказчика, даже при наличии горного проекта, уже прошедшего экспертизу, перед заключением договора потребовать проведения пилотных испытаний.

– Игорь Владимирович, расскажите подробнее: что такое пилотные испытания, как они проводятся и о каких нестыковках идет речь?

– Пилотные испытания – это та же самая технология водоочистки, это те же самые стадии, но в уменьшенном масштабе: то есть, моделируется система, полностью соответствующая по своему составу проектной, но существенно меньшей производительности и так, чтобы видеть, как каждая стадия работает на практике. На самом деле, в проекте бывает много ошибок и нестыковок. Поясню: для каждого грузочных материалов есть определенные скорости фильтрации. Допустим, есть грузочные



материалы для механической фильтрации с линейной скоростью от 8 до 12 метров в час. Применяются они для очистки воды с высоким содержанием механических взвесей, т. е. высокомутной воды, но, оказывается, на самом деле, подбор фильтров и технологии

очистки зависит не только от степени мутности воды, но и от того, какими частицами эта мутность образована. Важно все: и размер частиц, и какого они происхождения, органического или минерального, и какова их вязкость, плотность и многое другое. От этого будет зависеть, как эти частицы будут оседать на выбранной засыпке, и будет ли она (засыпка) работать «в принципе». Может быть, нужна вдвое меньшая скорость фильтрации и только тогда это будет надежно работать.

Пилотные испытания дают возможность на практике проанализировать, какие стадии очистки воды необходимы, какие нужно именно в данном случае применить технологии и, что очень важно, в каком режиме эксплуатировать водоподготовительную установку в будущем.

**– Насколько будет высока точность полученных данных по результатам пилотных испытаний? Они будут сильно отличаться от показателей при выходе на полную мощность?**

– Они будут отличаться только общей производительностью. Результаты будут «честными». То есть, это те же самые стадии и показатели, которые просто потом масштабируются. Проведение пилотных испытаний перед заключением договора позволит заказчику избежать дорогостоящих ошибок. Наша задача – добиться наилучшего результата с наименьшими, разумными затратами с точки зрения стоимости жизненного цикла и стоимости очищенной воды.

**– Игорь Владимирович, чем конкретно чревато отсутствие пилотных испытаний до запуска водоподготовительной установки при выходе на полную производственную мощность? Насколько это может нарушить производственный процесс в целом?**

– Как я уже говорил, без пилотных испытаний невозможно гарантировать оптимального результата. Либо установка не будет давать воду нужного качества, либо наши ожидания по расходу реагентов, электроэнергии и прочего не оправдаются. Велик риск: либо переплатить, либо не получить планируемого результата.

Возможно, какие-то стадии данного технологического решения не нужны совсем или мы их заложили с большим запасом, и получился очень дорогой проект, а что-то можно было исключить, не перестраховываться, потому что каждый новый этап, так ска-

зывать, «передела» воды стоит денег. Если мы «перезаложились», перестраховались, то заказчик переплатит, а если заложили недостаточно, то не получим воду нужного качества. Важно определить тре-

буемое, целесообразное количество стадий очистки воды и их технологическую последовательность.

Ведь технологическая цепочка – это же не один фильтр. В зависимости от состава загрязнений, может быть пять, шесть и семь различных стадий очистки воды: добавление реагентов, осаждение, фильтрация, ультрафильтрация, осмос... В каких-то случаях воду надо хлорировать, а в каких-то – нет. Если мы вносим необоснованные, лишние звенья, то получаем слишком дорогой проект по очистке воды. То есть, я еще раз подчеркну: пилотные испытания по воде необходимы для того, чтобы избежать неоправданных затрат и необходимости изменения технологической цепочки в будущем. Даже если проект уже есть, даже если он уже получил экспертное заключение, перед тем, как приступить к его реализации, хорошо бы проверить эту технологию в действии. И обращаться нужно именно к производителям, компаниям-поставщикам и разработчикам технологий очистки воды. Необходимо на практике, на маленькой модели получить тот результат, которого мы ожидаем. Тогда мы избежим нестыковок, лишних материальных затрат и потери времени, которое тоже дорого стоит.

**– Насколько велики вложения в пилотные испытания в сравнении с общей стоимостью всего проекта водоподготовительного комплекса?**

– Затраты на пилотный проект несравнимо меньше: от двух до пяти процентов от стоимости полноценного комплекса оборудования. Естественно, чем больше комплекс оборудования, тем меньше удельно обходятся эти пилотные испытания. Понятно, что все-таки это стоит денег. Это отнимает время – месяц, полтора или больше, но зато это избавляет от дорогостоящих ошибок. И потом: если проектировщик что-то не предусмотрел, то все исправления потребуют гораздо больше денег и гораздо больше времени. Надо понять, что пилотные испытания – это необходимая часть работы в будущем, которую нужно сделать перед тем, как ставить полноценную систему.

#### **ТОО НПФ Эргономика**

Год основания – 1996.

Профиль деятельности: «Внедрение энергосберегающих и экологических технологий в ЖКХ и промышленности».

Численность персонала: около 100 человек.

Реализованные проекты: модернизация систем водоснабжения крупных городов и горнорудных производственных комплексов (Атырау, Актобе, Тараз, Семей, Караганда, Жезказган, Нур-Султан и т.д.).

Возможности: проработка решения поставленных задач «от инжиниринга до сервисного контракта», с возможностью организации финансового лизинга и взаимодействия в рамках «Ресурсного контракта».

*То есть, скупой платит дважды.*

*А то и трижды. Есть тому практические подтверждения. Например, проект, который мы делали с отбором воды из озера Балхаш. Мы предусмотрели по всем нормативам систему очистки воды. Времени на пилотирование просто не было, об этом даже речь не заходила. Нужно было очень быстро сделать техническое предложение, заказчик нас торопил, и за три месяца запустить установку. Времени на пилотные испытания никто не давал. Дело еще осложнилось нашей эпидемиологической ситуацией: трудно въехать на территорию и трудно выехать. В итоге: мы сделали установку, запустили, но выяснилось, что качество очистки перед обратным осмосом неудовлетворительное. Система работает, но очень быстро теряет свою производительность. Естественно, стали исправлять все погрешности и в итоге мы почти вдвое увеличили количество оборудования стадии предочистки. В результате, потом мы еще полгода (!) модернизировали установку.*

*На следующем объекте этого же заказчика мы уже пошли по другому пути и провели пилотные испытания, которые длились три месяца.*

**– Игорь Владимирович, Вы говорили о необходимости наличия анализов по воде для того, чтобы сделать технологически оправданную установку по ее очистке. В ситуации, о которой Вы рассказываете, были Вам предоставлены заказчиком какие-либо анализы по воде?**

*– Заказчик нам дал результаты анализов исходной воды. На основании этих анализов мы сделали подбор стадий очистки. НО! Если бы качество воды было действительно таким, как в этих анализах... Исходные данные были недостоверными.*

*Дело в том, что вода очень сильно меняет свои свойства с течением времени. Качество воды меняется в зависимости от времени года, от места, в котором была взята вода, потому что в прибрежной зоне она одна, а дальше от берега – уже другая и так далее. Но заказчиком нам были установлены жесткие сроки без пилотного проекта, благодаря которому можно было бы избежать ошибок. Мы выполнили свою работу в указанные сроки, а потом, как я уже говорил, еще полгода этот объект модернизировали. Хорошо еще, что смогли сделать эту модернизацию, то есть, это было возможно в «принципе».*

**– То есть, недостоверные исходные данные и отсутствие пилотных испытаний привели к потере времени и дополнительным затратам для заказчика?**

*– Совершенно верно. Важно отметить, что технологические недочеты в процессе производства становятся видны не сразу. Установку запустили. Она работает день, два, три... А через два-три месяца выявляются последствия этих недочетов именно из-за недостоверных анализов и отсутствия пилотных испытаний. Мы увидели, что установка «деградирует»: потребовалось больше реагентов, ее значительно чаще надо было мыть. Вследствие сезонных колебаний в озере – источнике воды стала падать температура, в результате чего понизилась производительность. Когда падает температура, то все химические процессы тоже замедляются. Все становится сложнее. Нам пришлось искать выход из сложившейся ситуации, заложниками которой мы оказались не по своей воле.*

*Хочу подчеркнуть: устранение недочетов в уже запущенном в работу производственном цикле – это недешевое «удовольствие», на порядок затратнее в сравнении с пилотным испытанием.*

*Сейчас на этом объекте все работает, «как надо». Но для этого понадобилось дополнительное время и немалые дополнительные средства.*

*Еще раз повторюсь: пилотные испытания нужны непосредственно заказчику. Да, они стоят денег. Но лучше пойти на эти затраты, для того, чтобы убедиться в том, что вся технологическая цепочка выстроена верно и конечный продукт будет требуемого качества. Тем самым будут сэкономлены значительные средства.*

**– Спасибо за беседу, Игорь Владимирович. В очередной раз убеждаюсь в том, что тема внедрения природоохранных технологий на производстве имеет много составляющих. И надо последовательно и подробно эту тему раскрывать. Задача нашего журнала – помочь горнодобывающим предприятиям эффективно решать свои производственные задачи. Какие вопросы мы рассмотрим в следующей статье?**

*– Мы поговорим детально об аутсорсинге – самой удобной и выгодной для недропользователей форме сотрудничества с компаниями, специализирующимися на очистке воды.*

*Спасибо вашему журналу за возможность продвижения самых современных технологий.*

Вся информация о внедрении технологий водоочистки компании «Эргономика» размещена на сайте [www.ergonomika.kz](http://www.ergonomika.kz).

Республика Казахстан, 100019, г. Караганда,  
ул. Кривогуза, 57/2, тел: 8(7212) 91-01-01  
[info@ergonomika.kz](mailto:info@ergonomika.kz)  
[www.ergonomika.kz](http://www.ergonomika.kz)

*Интервью подготовил Владимир Вишняков*





## В КАРАГАНДИНСКОЙ ОБЛАСТИ ЗАПУСТИЛИ НОВУЮ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКУЮ ОБОГАТИТЕЛЬНУЮ ФАБРИКУ

*В режиме телемоста Президент Казахстана Касым-Жомарт Токаев 20 октября дал старт работе новой фабрики в поселке Жайрем (Карагандинская область). Глава государства особенно отметил важность развития производства в республике, создание новых рабочих мест и позитивное влияние для экономики всей страны.*



akorda.kz

Мощности современной полиметаллической обогатительной фабрики (ПОФ) позволят перерабатывать около 5 млн тонн руды в год.

Масштабный проект удалось реализовать, благодаря компании «Казцинк», которая в 2014 году приобрела АО «Жайремский ГОК» (ЖГОК) и вдохнула вторую жизнь в производство. В 2018 году началось строительство новой обогатительной фабрики в рамках проекта «Полиметаллы Жайрема», общая стоимость которого превышает 190 млрд тенге. Средства на эти цели частично были выделены Банком развития Казахстана (БРК) в виде займа 33 млрд тенге сроком на 7 лет. Оставшиеся траты взял на себя «Казцинк».

Над строительством фабрики работали около 2500 человек. Для Жайрема проект «Казцинк» означает новую жизнь, крупные перспективы развития. Ожидается, что ЖГОК станет самым большим производителем цинковых и свинцовых концентратов в Казахстане.

– Мы построили фабрику за 3 года. Это был непростой путь, но даже пандемия коронавирусной инфекции не помешала нам справиться с важной задачей, – отмечает Генеральный директор ТОО «Казцинк» Александр Хмелев. – Обогатительная фабрика станет новой вехой не только в развитии Жайрема, но и всей Карагандинской области, а также войдет в череду реализованных проектов государственной программы индустриализации страны. Здесь

*используются передовые технологии и методики, в том числе цифровые. Фабрика создала почти 500 дополнительных рабочих мест, а также придала новый импульс отношениям с нашими казахстанскими партнерами, у которых мы размещаем заказы. На настоящий момент около 70 процентов товаров и услуг «Казцинк» закупает у отечественных компаний.*

Реализуя производственный проект, компания не забывает и про социальную жизнь Жайрема. «Казцинк» инвестировал в развитие поселка почти 5 млрд тенге: появилось современное оборудование в больнице, центр развития компетенций, новая мечеть, были фактически перестроены Дом культуры, спортивный центр, ежегодно выделяются средства на поддержание и развитие коммунальной сферы. В будущем компания планирует продолжить свое участие в развитии Жайрема.



Материал предоставлен Управлением по связям с общественностью ТОО «Казцинк»

Код МРНТИ 52.35.35

Н.А. Дрижд<sup>1</sup>, М. Рабатұлы<sup>1</sup>, А.А. Кенетаева<sup>1</sup>, Ю.Ю. Стефлюк<sup>2</sup><sup>1</sup>Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан),<sup>2</sup>Акционерное общество «АрселорМиттал Темиртау» (г. Темиртау, Казахстан)

## КӨМІР ҚАБАТТАРЫНЫҢ ГАЗ БӨЛУІН ҚАРҚЫНДАТУ ӘДІСТЕРІ

**Андатпа.** Көмір қабаттарының газ бөлінуін қарқындату әдістері талданды. Газды алу технологияларының мәселелері қарастырылды. Өздігінше қазылым ретінде көмір қабаттарынан метанның тиімді коммерциялық өндірісін анықтайтын негізгі факторлардың бірі – кен орындарын өндірудің нақты тау-кен және геологиялық жағдайларына сәйкес келетін қабаттардың газ өндірісін қарқындату технологияларының параметрлерін анықтау және әдістерін таңдау болып табылады. Әлемдегі көмір шахталарының көпшілігінде ұқсас асқынулар бар. Олардың бірі-белгілі бір тереңдіктегі көмір қабаттарының нөлдік өткізгіштігі, бұл көмір қабаттарынан метан алудың дамуын тежейтін негізгі фактор болып табылады. Мұндай жағдайларда көмір қабатына әсер етудің тиімді әдістері мен технологияларын әзірлеу, оларды қайта өңдеу және газдың өнеркәсіптік дебиттерін қамтамасыз ету көмір саласы үшін өзекті міндет болып табылады, оны шешу үлкен ғылыми және практикалық қызығушылық тудырады.

**Түйінді сөздер:** көмір қабаттарының метаны, дебит, өндіру технологиялары, көмірді газсыздандыру, қарқындату әдістер, метанның жер бетінен алу, көлбеу бағытталған ұңғымалар, көмір қабаттарының өткізгіштігі, газ беруді арттыру, көп ұңғылы ұңғымалар.

### Методы интенсификации газовой выделения угольных пластов

**Аннотация.** Проанализированы методы интенсификации газовой выделения угольных пластов. Рассмотрены вопросы технологий получения газа. Одним из основных факторов, определяющих эффективную коммерческую добычу метана из угольных пластов в качестве самостоятельной разработки, является определение параметров и выбор методов технологий интенсификации добычи газа пластов, соответствующих конкретному горным и геологическим условиям добычи месторождений. Большинство угольных шахт в мире имеют аналогичные осложнения. Одна из них – это нулевая проницаемость угольных пластов в определенных глубинах, что является основным сдерживающим фактором развития извлечения метана из угольных пластов. В этих условиях разработка эффективных методов и технологий воздействия на угольный пласт, их переработка и обеспечение промышленных дебитов газа является актуальной задачей для угольной отрасли, решение которой представляет большой научный и практический интерес.

**Ключевые слова:** метан угольных пластов, дебит, технологии добычи, дегазация угля, методы интенсификации, поверхностное извлечение метана, наклонно-направленные скважины, проницаемость угольных пластов, повышение газоотдачи, многоствольные скважины.

### Methods of intensification of gas separation of coal seams

**Abstract.** Methods of intensification of gas release of coal seams are analyzed. The issues of gas production technologies are considered. One of the main factors determining the effective commercial extraction of methane from coal seams as an independent development is the determination of parameters and the choice of methods of technologies for the intensification of gas production of formations corresponding to specific mining and geological conditions of field production. Most coal mines in the world have similar complications. One of them is the zero permeability of coal seams at certain depths, which is the main limiting factor in the development of methane extraction from coal seams. Under these conditions, the development of effective methods and technologies for influencing the coal seam, their processing and ensuring industrial gas flow rates is an urgent task for the coal industry, the solution of which is of great scientific and practical interest.

**Key words:** coalbed methane, production rate, mining technologies, coal degassing, intensification methods, surface extraction of methane, directional wells, permeability of coal seams, increased gas recovery, multi-barrel wells.

### Кіріспе

Көмір қабаттарының газ бөлуін қарқындатудың көптеген қолданылатын технологияларының негізгі міндеті – ұңғымаға метанның қарқынды ағынын қамтамасыз ететін көмір қабатындағы жарықшақтардың табиғи жүйесімен өндіруші ұңғыма оқпанының тиімді байланысын орнату. Жеке ұңғымалардың дебитін көбінесе газ ағынын қарқындату әдістерін енгізу, сондай-ақ, қабаттарды ашу техникасы мен технологиясын жақсарту, ұңғымаларды пайдалану кезінде қолданылатын жабдықты жақсарту арқылы арттыруға болады [1].

### Зерттеу әдістері

Қазіргі уақытта қабаттарға әсер етудің төрт негізгі әдісі қолданылады. Олар төменде 1 суретте пайдалану жиілігі бойынша келтірілген [2].

1. Көмір қабаттарының гидрожару – ең әмбебап, әртүрлі тау-кен геологиялық жағдайларда қолданылады.

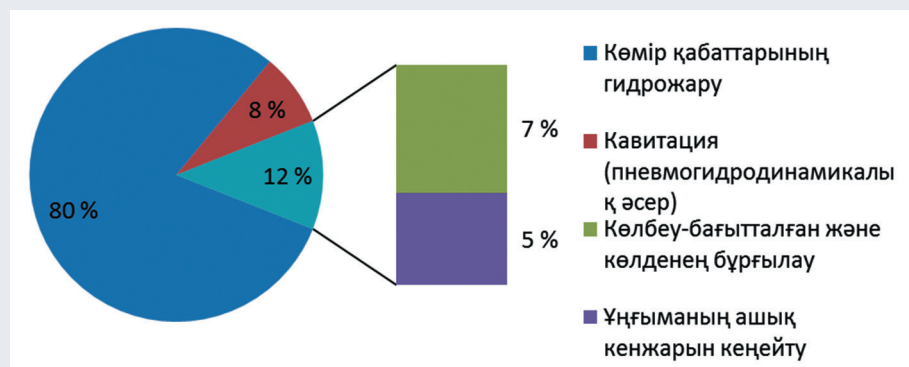
2. Кавитация (пневмо-гидродинамикалық әсер) – жалпы қуаты > 20 м

көмір қабаттары жатыс аралығы < 100 м, өткізгіштігі > 30 мД. Қабаттық қысым гидростатикалықтан жоғары. Орташа созылу кернеулері болғанда.

3. Көлбеу-бағытталған және көлденең бұрғылау – қуаты > 2 м төмен өткізгіш көмір қабаттары, жақсы тұрақтылығы бар, шағын тереңдікте жеткілікті жоғары газдылығы бар кезде қолданылады.

4. Ұңғыманың кенжарын кеңейту – 100 мД-ден 3Д және одан жоғары өткізгіштігі жоғары көмір қабаттарында қолданылады.

Газ беруді қарқындатудың қосымша әдістері: электр әсер ету, акустикалық және діріл әсері, көміртегі диоксиді мен азот көмір қабаттарына инъекциялар, плазмалық-импульстік әсер ету, сондай-ақ,



Сурет 1. Әлемдік тәжірибеде көмір қабаттарының газ бөлуін қарқындату әдістері.

Рис. 1. Методы интенсификации газоотдачи угольных пластов в мировой практике.

Figure 1. Methods of intensification of gas distribution of coal seams in the world practice.



эртүрлі модификациялардағы термиялық әдістер.

Шерубай-Нұра телімінде бұрғыланған бес іздеу-бағалау ұңғымаларында ілеспе суды пайдаланып және өндірілген газды жағу арқылы кенорын игерілді. Газ өндірісі бойынша ең жақсы көрсеткіші бойынша және ілеспе судың да ең жоғарғы дебиттерін талдап 2 суретте көрсетілген [3].

Ш-1 ұңғымасында газдың дебиті 400 м<sup>3</sup>/тәулікке дейін және ілеспе судың дебиті 2,6 м<sup>3</sup>/тәулік жетті. Ш-1 ұңғымасы бойынша талқылауды ескере отырып, газ ағыны динамикалық деңгейі 400 атм дейін

төмендегеннен кейін басталады, бұл 45 атм сұйықтық бағанасының қысымына сәйкес келеді. Динамикалық деңгейінің тұрақтануынан кейін газ дебитінің азаю себептері толық зерделеуді талап етеді.

Ш-2 ұңғымасында (ҚГЖ-мен пайдалануға енгізілді) газдың ең жоғарғы дебиті 320 м<sup>3</sup>/тәулік және ілеспе судың ең жоғарғы дебиті 3,3 м<sup>3</sup>/тәулік алынды. Ш-2 ұңғымасының пайдалану параметрлері бойынша ұңғыманың тоқтауы, өнімділікке теріс әсер ететіні туралы қорытынды жасауға болады. Ілеспе суды іріктеу тоқтағаннан кейін газ дебиті күрт төмендеді. Динамикалық

деңгейі қайта төмендегеннен кейін, газ дебиті қалпына келген жоқ.

Ш-4 ұңғымасында (ҚГЖ-мен пайдалануға енгізілді). газдың ең жоғарғы дебиті 220 м<sup>3</sup>/тәулік және ілеспе судың ең жоғарғы дебиті 3,2 м<sup>3</sup>/тәулік алынды. Ш-4 ұңғымасында газ десорбциясы 250 м динамикалық деңгейге жеткенде басталды, бұл кенжардағы 25 атм.

Эртүрлі елдерде көмір қабаттарының метанын пайдалану технологияларын оңтайландыру үдерісінде ұңғымалар құрылысының эртүрлі технологиялары тәжірибе жүзінде сыналды. Ұңғымалардың оңтайлы түрін таңдау ұңғымалардың өнімділігін арттыру және олардың құнын төмендету мақсатын көздеді [3].

КҚМ өндіру үшін қолданылатын пайдалану ұңғымаларының негізгі түрлері:

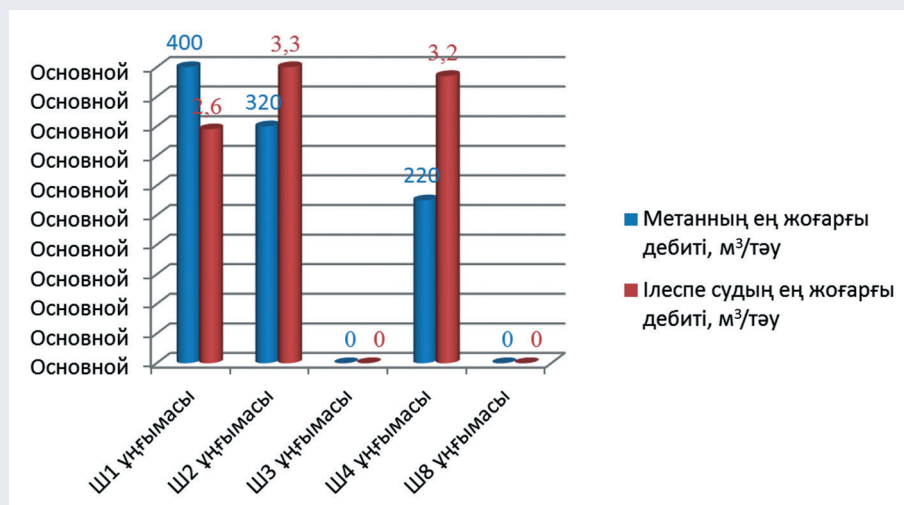
- 1) тік ұңғымалар, көп жағдайда ҚГЖ-мен (3 сурет);
- 2) көлденең ұңғымалар, ҚГЖ-мен және ҚГЖ-сыз (4 сурет);
- 3) көлденең аяқталуы бар көп кенжарлы ұңғымалар;
- 4) күрделі құрылымдағы ұңғымалар (қиылысатын траекториялары бар).

Тік ұңғымалардың құрылысы көмір қабаттарының метанын өндірудің ең қарапайым және арзан әдісі болып табылады. Бұл ретте, осы тәсілдің маңызды кемшілігі жыныспен жанасатын ауданы шағын болуы болып табылады, ол өз кезегінде, ұңғымалардың өнімділігін төмендетеді. Қабаттармен жанасуын және өнімділігін арттыру үшін қабатты гидравликалық жару технологиясы қолданылады [4]. Шерубай-Нұра телімінде тәжірибелік-өнеркәсіптік жұмыстарды жүргізу кезінде газдың едәуір ағыны ҚГЖ ұңғымаларында ғана алынды [5].

Көмір қабаттарының метанын өндіру үшін тік ұңғымаларды қолданудың артықшылықтары:

- тік ұңғымаларды бұрғылау технологиясының арзандауы мен қарапайымдылығы;
- оқпанға жеңіл қолжетімділіктің арқасында тік ұңғымаларды пайдаланудың қарапайымдылығы;
- сорғы жабдығына қосымша талаптардың болмауы.

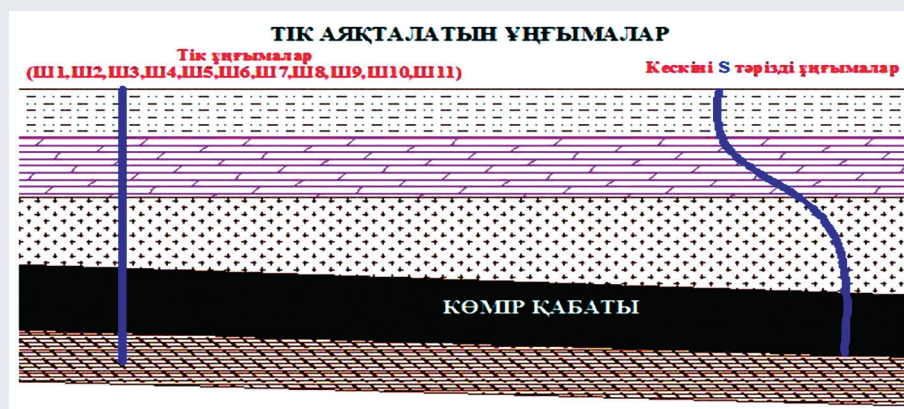
Жабық кеңістікті оқшаулау, әдетте, цементтеумен жүзеге асырылады.



Сурет 2. Шерубай-Нұра теліміндегі 5 іздеу бағалау ұңғымаларының мәндері бойынша талдау.

Рис. 2. Анализ по значениям пяти поисковых оценочных скважин на участке Шерубай-Нұра.

Figure 2. Analysis of the values of 5 exploratory appraisal wells at the Sherubai-Nura site.



Сурет 3. Көмір қабаттар метанын өндіру үшін қолданылатын тік ұңғыма профильдерінің түрлері.

Рис. 3. Виды вертикальных профилей скважин, применяемых для производства метана угольных пластов.

Figure 3. Types of vertical profiles of wells used for the production of coalbed methane.

Алайда, сондай-ақ, цементтелмеген оқпанды ісінетін пакерлермен оқшаулау қолданылуы мүмкін. Мұндай құрылма қабаттар арасындағы ағындарды болдырмайды, бұл ретте ҚГЖ өткізу мүмкіндігі қалады.

Тік ұңғымалардың өнімділігін арттыру және кен орнын жайластыру шығындарын қысқарту үшін көп кенжарлы ұңғымалар салынуы мүмкін (4 сурет).

Алайда, мұндай құрылмасының кемшілігі қабатқа қажетті депрессияны қамтамасыз ету қиындығы болып табылады (қабаттың құрғауы).

Аустралиядағы КҚМ кен орындарында ұңғымаларды бұрғылау және құрылысын аяқтау жөніндегі мамандардың берген ақпараты бойынша, елде тік ұңғымалардың құрылысы кеңінен қолданылады. Атап айтқанда, диаметрі 244,75 мм кондукторды 50 м тереңдікке дейін және диаметрі 177,8 мм 500-700 м тереңдікке дейін пайдалану колоннасын, сондай-ақ, диаметрі 177,8 мм саңылаулы сүзгіні түсірумен екі секциялы ұңғымалар қолданылады<sup>1</sup>.

Ранигандж (Үндістан) телімінде тік және көлбеу профильдегі<sup>2</sup> ұңғымалар

қолданылады. Ұңғыма құрылмасы сағаға дейін цементтелетін диаметрі 245 мм кондуктордан және жоғарғы өнімді қабаттың төбесіне дейін цементтелетін диаметрі 140 мм пайдалану бағанасынан тұрады.

Осылайша, Ранигандж теліміндегі тік ұңғымалардың құрылмасы ҚХР-да қолданылатын ұңғымалардың құрылмасына ұқсас.

Шерубай-Нұра телімінің қимасының сипаттамасын қарастыруды негізге ала отырып, нұсқалардың бірі ретінде ҚГЖ жүргізу үшін тұтас цементтелген тік ұңғымалардың дәстүрлі құрылмасын қолдану ұсынылуы мүмкін:

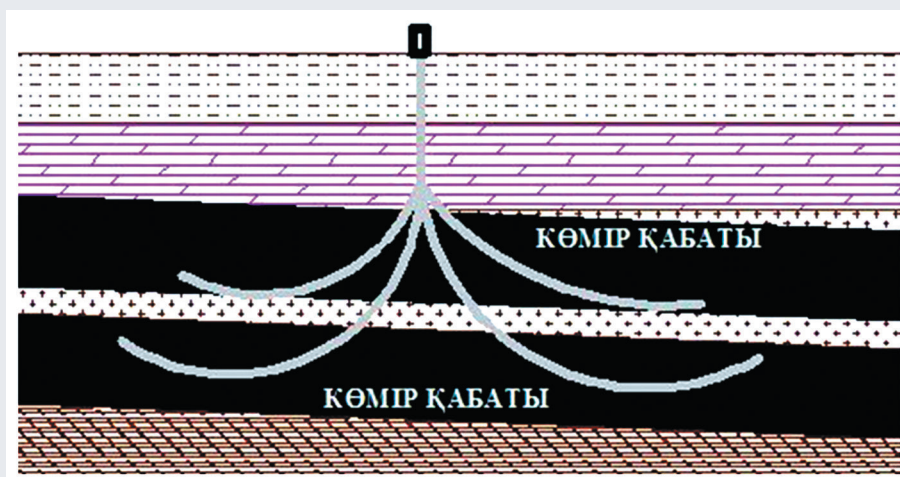
1) сағаға дейін цементтелген бағыттауыш секциясы ашық ұңғыманың диаметрі 349,2 мм, тереңдігі 20 м дейін, диаметрі 324 мм;

2) сағаға дейін цементтелген кондуктор секциясы ашық ұңғыманың диаметрі 295,3 мм, тереңдігі 150 м дейін, диаметрі 245 мм;

3) сағаға дейін цементтелген пайдалану бағаны секциясы ашық ұңғыманың диаметрі 171 мм, тереңдігі 900 м дейін, диаметрі 140 мм құбырлармен отырғызылған.

КҚМ өндіру үшін көлденең ұңғымалардың құрылысы кезінде ең маңызды мәселелердің бірі, сорғы жабдығын пайдалану күрделілігі болып табылады. Ұңғыма құрылмасының нұсқаларының бірі, терең сорғы жабдығы (ТСЖ) түсетін көлбеу сынамалық оқпан салуды көздейді (5 сурет).

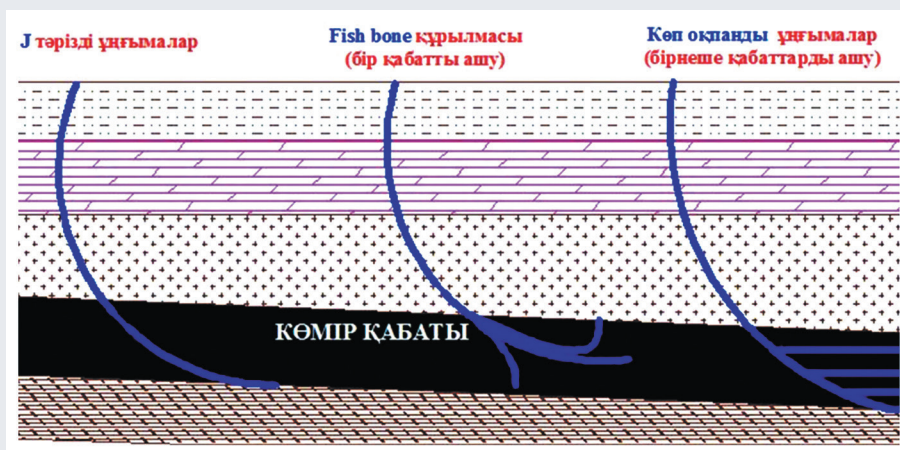
Көлденең ұңғымаларға газдың ағылуын ынталандыру үшін қабаттық гидро жару технологиясын қолдануға болады. Көлденең ұңғымалардағы ҚГЖ технологиясы әдетте бірнеше жарықшақтарды (көп сатылы ҚГЖ) құруды көздейді. Көлденең ұңғымалардағы көп сатылы ҚГЖ интервалдарын оқшаулау, түсірілетін шарлармен белсендіретін, таңдалған интервалдардың перфорациясын, ҚГЖ муфталарын пайдалану жолымен жүзеге асырылуы мүмкін сондай-ақ, сукұмарынды перфорация технологиясынан кейін иілгіш сорғы-компрессорлық құбырлар



**Сурет 4. Көп ұңғылы ұңғыманың құрылмасы (Қытай Халық Республикасы).**

**Рис. 4. Конструкция многоствольной скважины (Китайская Народная Республика).**

**Figure 4. Construction of a multi-barrel well (People's Republic of China).**



**Сурет 5. Көмір қабаттар метанын өндіру үшін қолданылатын көлбеу бағытталған ұңғымалардың кескіндерінің түрлері.**

**Рис. 5. Виды профилей наклонно-направленных скважин, используемых для добычи метана угольных пластов.**

**Figure 5. Types of profiles of directional wells used for the production of coalbed methane.**

<sup>1</sup>Hepburn S. The Coal Seam Gas Industry in Australia: <http://www.deakin.edu.au/research/stories/the-coal-seam-gas-industry>. 25.12.2019 (ағылшын тілінде)

<sup>2</sup>Group E. Block overview. / ECBM Possibility: RG (East) CBM 2001/1. – Durgapur: <https://www.essar.com/essar-to-double-cbm-gas>. 22.03.2019 (ағылшын тілінде)



(ИСКК) қолдану арқылы жүзеге асырылуы мүмкін.

Атап айтқанда, ҚХР-дағы Eastern Ordos кен орнының Ji-U 1 ұңғымасында CNPC компаниясы суқұмарынды перфорация технологиясы бойынша 7-кезеңді ҚГЖ өткізді, бұл ретте газ бойынша дебит 2000 м<sup>3</sup>/тәул құрады. Алайда КҚМ өндіру үшін көлденең ұңғымаларда ҚГЖ технологиясы қымбаттылығына және техникалық қиындылығына байланысты шектеулі қолданылады<sup>3</sup>.

2007-2008 жылдары «Роснефть» ҰК мұнай кен орындарында суқұмарынды перфорациямен көп сатылы ҚГЖ технологиясын сынау бойынша жұмыстар жүргізілді. Технология саңылаулы сүзгішпен аяқталатын көлденең ұңғымаларды ынталандыру үшін қолданылуы мүмкін

екені анықталынды. Сонымен қатар, суқұмарынды перфорация жүзеге асырылатын қондырмалардың тез тозуына байланысты технологиялық шектеулер анықталынды<sup>4</sup>.

#### Нәтижесі

Өткізгіштігі төмен көмір қабаттарын өндіру үшін, кенжардан ілеспе суды жоюға арналған, траекториясы тік ұңғымамен қиылысатын, көп кенжарлы ұңғымалардың құрылысы кең қолданылады. ҚХР-да көп кенжарлы ұңғымалардың құрылысының технологиясын сынау 2004 ж. басталды және технология кең дамыды<sup>5</sup>. Атап айтқанда, көп кенжарлы ұңғымалардың құрылысы көмірдің төмен өткізгіштігімен (< 1 мД) сипатталатын Qinshui кен орнында кеңінен қолданылады. Осы кен орнында ашық оқпанмен немесе

саңылаулы сүзгішпен аяқталатын көп кенжарлы ұңғымалар газ дебитін тәулігіне 5000 м<sup>3</sup> дейін қамтамасыз етеді.

#### Қорытынды

Көп кенжарлы ұңғымаларды (ККҰ) құрылысы кезінде қабаттың жарықшақтығын есепке алу қажет. Көмір қабатының табиғи жарықшақтығын бұрғылап ашу кезінде ККҰ ең жоғары өнімділігі қамтамасыз етіледі. Ұңғыманың тұрақтылығын арттыратын технологиялық шешімдердің бірі ұңғыманың бұзылуын болдырмау үшін қабаттың төбесі бойынша көлденең оқпанды өткізу болып табылады. Бұл ретте негізгі оқпаннан төмен бағытталған және қабаттық сұйықтықтардың ағуын қамтамасыз ететін көптеген тарамдар бұрғыланады.

<sup>3</sup>Ruichen Shen Z.W. The Advanced Technology of Drilling and Completion for CBM in China // <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Ruichen-Shen-77289246>. 25.12.2019. (ағылшын тілінде)

<sup>4</sup><https://www.kstu.kz/wp-content/uploads/2020/11/Dissertatsiya-Mukhammedrakhym-Rabatuly.pdf> (қазақ тілінде)

<sup>5</sup>Рабатұлы М., Мусин Р.А. Көлбеу бағытталған ұңғымаларды бұрғылау кезінде көмір қабаттарының газ бөлу тиімділігін арттыру: монография. – Қарағанды: Қарағанды техникалық университеті, 2021. – 205 б. (қазақ тілінде)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Серикова А.А., Мещеряков Е.Г. Қарағанды көмір бассейні шегінде көмір қабаттарының метанын барлау үшін неғұрлым перспективалы ауданды айқындау. // Қазіргі заманғы әлемдегі өзекті ғылыми зерттеулер. – 2018. – №5-8(25). – Б. 47-50 (орыс тілінде)
2. Портнов В.С., Филимонов Е.Н., Мусин Р.А. және т. б. Шерубай-Нұра учаскесінің жағдайында К<sub>10</sub> қабатының газдылығын нақты газ бөліну деректері негізінде зерттеу // Минералды шикізатты кешенді пайдалану. – 2016. – №2. – Б. 3-10 (орыс тілінде)
3. Дрижд Н.А., Рабатұлы М., Александров А.Ю. және т. б. Қарағанды көмір бассейнінің Шерубай-Нұра учаскесінде тәжірибелік-өнеркәсіптік ұңғымаларды игеру нәтижелері. // Көмір. – 2020. – №6. – Б. 36-40 (орыс тілінде)
4. Ин Я., Хайдина М.П., Хэнян В. Көмір қабаттарынан метан алу үшін и-тәрізді ұңғыманы пайдалану ерекшеліктері мен қолдану тиімділігін талдау. // Газ өнеркәсібі. – 2019. – №2(780). – Б. 44-50 (орыс тілінде)
5. Дрижд Н.А., Мусин Р.А. Рабатұлы М. Қарағанды бассейнінің Шерубай-Нұра учаскесінде метан өндіру үшін плазмалық-импульсті әсер ету технологиясын сынау. // Қазақстанның кен журналы. – Алматы, 2017. – №10. – Б. 8-11 (орыс тілінде)

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Серикова А.А., Мещеряков Е.Г. Определение наиболее перспективного района для разведки метана угольных пластов в пределах карагандинского угольного бассейна // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2018. – №5-8(25). – С. 47-50 (на русском языке)
2. Портнов В.С., Филимонов Е.Н., Мусин Р.А. и др. Исследования газоносности пласта К<sub>10</sub> в условиях Шерубайнуринского участка на основе данных фактического газовыделения // Комплексное использование минерального сырья. – 2016. – №2. – С. 3-10 (на русском языке)
3. Дрижд Н.А., Рабатұлы М., Александров А.Ю. и др. Результаты освоения опытно-промышленных скважин на Шерубайнуринском участке Карагандинского угольного бассейна. // Уголь. – 2020. – №6. – С. 36-40 (на русском языке)
4. Ин Я., Хайдина М.П., Хэнян В. Анализ особенностей эксплуатации и эффективности применения и-образной скважины для добычи метана из угольных пластов. // Газовая промышленность. – 2019. – №2(780). – С. 44-50 (на русском языке)

5. Дрижд Н.А., Мусин Р.А., Ахматнуров Д.Р., Рабатұлы М. Испытание технологии плазменно-импульсного воздействия для добычи метана на Шерубайнуринском участке Карагандинского бассейна. // Горный журнал Казахстана. – 2017. – №10. – Б. 8-11 (на русском языке)

## REFERENCES

1. Serikova A.A., Meshcheryakov E.G. *Opređenje naibolee perspektivnogo rajona dlya razvedki metana u gol'nyx plastov v predelax karagandinskogo u gol'nogo bassejna* [Determination of the most promising area for coalbed methane exploration within the Karaganda coal basin] // *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire = Actual scientific research in the modern world* – 2018. – №5-8(25). – P. 47-50 (in Russian)
2. Portnov V.S., Filimonov E.N., Musin R.A. and others. *Issledovaniya gazonosnosti plasta K<sub>10</sub> v usloviyax Sherubajnurinskogo uchastka na osnove dannyx fakticheskogo gazovydeleniya* [Studies of the gas content of the K<sub>10</sub> formation in the conditions of the Sherubai Nurinsky site based on the data of actual gas release]. // *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya = Complex use of mineral raw materials*. – 2016. – №2. – P. 3-10 (in Russian)
3. Drizhd N.A., Rabatuly M., Alexandrov A.Yu., etc. *Rezultaty osvoeniya opytно-promyshlennyx skvazhin na Sherubajnurinskom uchastke Karagandinskogo u gol'nogo bassejna* [The results of the development of pilot wells at the Sherubai Nurinsky site of the Karaganda coal basin]. // *Ugol' = Coal*. – 2020. – №6. – P. 36-40 (in Russian)
4. Ying Ya., Haidina M.P., Henyan V. *Analiz osobennostej e'kspluatatsii i e'ffektivnosti primeneniya u-obraznoj skvazhiny dlya dobychi metana iz u gol'nyx plastov* [Analysis of the features of operation and efficiency of the use of a u-shaped well for the extraction of methane from coal seams]. // *Gazovaya promyshlennost' = Gas industry*. – 2019. – №2(780). – С. 44-50 (in Russian)
5. Drizhd N.A., Musin R.A., Rabatuly M. *Ispytanie texnologii plazmenno-impul'snogo vozdeystviya dlya dobychi metana na Sherubajnurinskom uchastke Karagandinskogo bassejna* Testing of plasma-pulse technology for methane extraction at the Sherubai-Nurinsky section of the Karaganda basin. // *Gornyj zhurnal Kazaxstana = Mining journal of Kazakhstan*. – 2017. – №10. – Б. 8-11 (in Russian)

## Авторы туралы мәліметтер:

**Дрижд Н.А.**, техника ғылымдарының докторы, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан), [n\\_drizhd@mail.ru](mailto:n_drizhd@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7269-7626>

**Рабатұлы М.**, PhD докторы, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан), [mukhammadrakhyt@mail.ru](mailto:mukhammadrakhyt@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-7558-128X>

**Кенетаева А.А.**, техника ғылымдарының магистрі, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан), [aigul\\_tate@bk.ru](mailto:aigul_tate@bk.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7943-3279>

**Стефлюк Ю.Ю.**, PhD докторы, «АрселорМиттал Теміртау» Акционерлік қоғамы, Көмір департаментінің, «СпецШахтоМонтажДегазация» басқармасы шахталарды газсыздандыру параметрлерін бақылау бөлімінің бастығы (Қарағанды қ., Қазақстан), [steflyuk@mail.ru](mailto:steflyuk@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-7377-6948>

## Сведения об авторах:

**Дрижд Н.А.**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан)

**Рабатұлы М.**, доктор PhD, преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан)

**Кенетаева А.А.**, магистр техн. наук, преподаватель кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан)

**Стефлюк Ю.Ю.**, доктор PhD, начальник отдела контроля параметров дегазации шахт Управления «СпецШахтоМонтажДегазация» Угольного департамента Акционерного общества «АрселорМиттал Темиртау» (г. Караганда, Казахстан)

## Information about the authors:

**Drizhd N.A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

**Rabatuly M.**, PhD, Lecturer at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

**Kenetaeva A.A.**, Master of Technical Sciences, Lecturer at the Department «Geology and Exploration of Mineral Deposits» of the Non-profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

**Steflyuk Yu.Yu.**, PhD, Head at the Department of Control of Parameters of Degassing of Mines at the Department of «SpetsShahtoMontazhDegazaciya» of the Coal Department of the Joint-Stock Company «ArcelorMittal Temirtau» (Karaganda, Kazakhstan)



## SANDVIK ПРИНЯЛА УЧАСТИЕ В ВЫСТАВКЕ MINING AND METALS CENTRAL ASIA 2021

*Компания Sandvik Mining and Rock Solutions приняла участие в выставке Mining and Metals Central Asia 2021, которая прошла с 29 сентября по 1 октября в Казахском Центре Делового Сотрудничества «Атамекен».*

Международная выставка горно-металлургического комплекса Mining and Metals Central Asia 2021 объединяет ведущих производителей и специалистов в секторе горнодобывающей промышленности. За четверть века работы выставка доказала, что является эффективной диалоговой площадкой для решения задач, стоящих перед горно-металлургическим комплексом Казахстана.

В рамках мероприятия специалисты Sandvik на своем стенде представили преимущества различных моделей оборудования компании, номенклатуру бурового инструмента, а также возможности сервисного и послепродажного обслуживания. Отдельное внимание было уделено цифровым технологиям и применению интеллектуального оборудования для повышения безопасности и производительности современных горных предприятий. На стенде была представлена дополненная реальность, с помощью которой гости выставки могли оценить преимущества автоматизации подземного горно-шахтного оборудования.



### Sandvik Group

Sandvik – это группа высокотехнологичных компаний, которая предлагает решения, повышающие производительность, рентабельность и безопасность. Sandvik занимает лидирующие позиции на международном рынке в следующих областях: производство инструмента и инструментальных систем для металлообработки; разработка и производство оборудования, инструмента, а также сервисных и технологических решений для горнодобывающей и строительной отраслей; производство высокопрочной стали и специальных сплавов. В 2020 году численность сотрудников группы составила примерно 37 тыс. человек, а совокупный объем продаж на территории более чем 160 стран – около 86 млрд шведских крон.

### Sandvik Mining and Rock Solutions

Sandvik Mining and Rock Solutions – одно из бизнес-подразделений Sandvik Group – мировой лидер в поставках оборудования, инструмента, запасных частей, сервисных и цифровых решений, а также технологий, способствующих устойчивому развитию, для горнодобывающей и строительной отраслей. Решения используются в бурении, резке породы, погрузочно-доставочных работах, проходке туннелей и разработке карьеров. В 2020 году объем продаж составил примерно 33,6 млрд шведских крон, а общее число сотрудников – около 12,5 тыс. человек.

Код МРНТИ 52.13.04

Б. Раимжанов<sup>1</sup>, Р.Ш. Наимова<sup>2</sup>, Г.Е. Райханова<sup>1</sup>, А.А. Мирзаев<sup>2</sup><sup>1</sup>Алмалыкский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»  
(г. Алмалык, Узбекистан),<sup>2</sup>Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова (г. Ташкент, Узбекистан)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОГЕННЫХ МАССИВОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ПО НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВАНИЯХ

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований по изучению основания техногенных массивов (отвалов). На примере крупного карьера Мурунтау приведены и обоснованы способы формирования высоких отвалов, в зависимости от инженерно-геологических условий основания. Данное обстоятельство обуславливает тот факт, что один и тот же отвал может отсыпаться на основании, имеющем различную несущую способность. При этом практика отвалообразования показывает, что при проектировании отвалов их параметры устанавливаются, исходя из несущей способности наиболее слабых участков основания. Выполненные аналитические исследования и полученные расчеты по определению диапазона изменений устойчивых параметров отвалов на различных по несущей способности основаниях предопределяет необходимость разработки технологических схем, обеспечивающих безопасность отвалных работ.

**Ключевые слова:** отвал, техногенный массив, параметры отвалов, устойчивость, породы, угол естественного откоса, высота яруса, основание, автомобильный, конвейерный транспорт.

### Көтергіш қабілеті бойынша әртүрлі негіздерде техногендік массивтер параметрлерінің өзара байланысын зерттеу

**Андатпа.** Мақалада техногендік массивтердің (үйінділердің) негізін зерттеу бойынша зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Мұрунтау ірі карьерінің мысалында іргетастың инженерлік-геологиялық жағдайларына байланысты жоғары үйінділерді қалыптастыру тәсілдері келтірілген және негізделген. Бұл жағдай сол қыстың әртүрлі жүктеме қабілеті бар негізде төгілуі мүмкін екендігін анықтайды. Сонымен қатар, үйінділерді құру тәжірибесі көрсеткендей, үйінділерді жобалау кезінде олардың параметрлері базаның ең әлсіз бөліктерінің жүк көтергіштігі негізінде орнатылады. Жүк көтергіштігі әртүрлі негіздерде үйінділердің тұрақты параметрлерінің өзгеру диапазонын анықтау бойынша жүргізілген аналитикалық зерттеулер мен алынған есептер үйінді жұмыстарының қауіпсіздігін қамтамасыз ететін технологиялық схемаларды әзірлеу қажеттілігін анықтайды.

**Түйінді сөздер:** үйінді, техногендік массив, үйінді параметрі, орнықтылық, жыныстар, табиғи еңіс бұрышы, қабаттың биіктігі, негіз, автомобиль, конвейерлік көлік.

### Investigation of the interrelationships of the parameters of man-made arrays on different bearing capacity bases

**Abstract.** The article presents the results of research on the study of the foundation of man-made massifs (dumps). Using the example of a large Muruntau quarry, the methods of forming high dumps, depending on the engineering and geological conditions of the base, are given and justified. This circumstance determines the fact that the same blade can be poured off on a base having different bearing capacity. At the same time, the practice of dump formation shows that when designing dumps, their parameters are set based on the bearing capacity of the weakest sections of the base. The analytical studies performed and the calculations obtained to determine the range of changes in the stable parameters of dumps on different bearing capacity bases predetermine the need to develop technological schemes that ensure the safety of dump operations.

**Key words:** dump, man-made massif, dump parameters, stability, rocks, angle of natural slope, height of the tier, base, automobile, conveyor transport.

### Введение

В периоды строительства и эксплуатации техногенных массивов (отвалов) проводят в основном контрольные исследования условий устойчивости откосов, которые направлены на проверку соответствия фактических и проектных условий формирования отвалов; состава и свойств отсыпаемых пород и пород основания; технологии отвалообразования и качества выполнения запроектированных инженерных мероприятий; влияния изменения технологической схемы отвалообразования или замены оборудования, если такие изменения или замена имели место, на устойчивость отвалов<sup>1</sup> [1, 2]. Результаты исследований позволяют своевременно корректировать параметры техногенных массивов и, поэтому, чрезвычайно важны.

Влияние на устойчивость отвалных откосов внешних нагрузок от транспортного и отвалного оборудования особенно существенно для отвалов, отсыпаемых на неустойчивые основания. Породы, подвергаясь воздействию транспортных и отвалных машин,

изменяют естественное состояние и становятся «искусственно измененными породами»<sup>1-4</sup> [1, 2]. Вследствие этого свойства пород в отвале, влияющие на его параметры, зависят как от первоначальных свойств пород в условиях естественного залегания, так и от технологических особенностей работы горного и транспортного оборудования. При этом процесс отсыпки влияет на уплотнение пород в отвале, формирование угла естественного откоса и конструктивные параметры отвала.

Способ отвалообразования обуславливает скорость подачи пород к месту отсыпки, которая зависит от скорости отвалообразующего агрегата, высоты падения горной массы и удельного веса пород. Высота отвалов определяется его устойчивостью, линейными размерами отвалообразующего агрегата, способом отвалообразования и рельефом местности<sup>5, 6</sup> [3-5].

В процессе формирования автомобильных и конвейерных отвалов карьера Мурунтау породы обычно располагаются под углом естественного откоса, формирующимся при падении, стелкивании или ссыпке породы

<sup>1</sup>Попов В.Н., Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. Управление устойчивостью карьерных откосов: учебник для вузов. – М.: МГТУ, Горная книга, 2008. – 683 с. (на русском языке)

<sup>2</sup>Демин А.М. Устойчивость открытых горных выработок и отвалов. – М.: Недра, 1973. – 231 с. (на русском языке)

<sup>3</sup>Певзнер М.Е. Борьба с деформациями горных пород на карьерах. – М.: Недра, 1978. – 255 с. (на русском языке)

<sup>4</sup>Анистратов и др. Технологические процессы открытых горных работ: учебник для вузов. – М.: Недра, 1995. – 350 с. (на русском языке)

Таблица 1

*Изменение угла естественного откоса свеженасыпанных и постоявших отвалов*

Кесте 1

*Жаңадан себілген және тұрып қалған үйінділердің табиғи еңіс бұрышының өзгеруі*

Table 1

*Changing the angle of the natural slope of freshly filled and standing dumps*

Породы	Угол естественного откоса отвалов, град.		Уменьшение угла откоса во времени, град.
	свежеотсыпанные	постоявшие	
Скальные	$\frac{42 - 45}{43,5}$	$\frac{38 - 42}{40}$	$\frac{3 - 4}{3,5}$

*Примечание:* в числителе – пределы колебаний; в знаменателе – средние медианные значения.

Таблица 2

*Физико-механические характеристики пород в основании отвала*

Кесте 2

*Үйінді негізіндегі жыныстардың физикалық-механикалық сипаттамалары*

Table 2

*Physical and mechanical characteristics of rocks at the base of the dump*

Характеристика пород	
Отвала	Основания
Сыпучие, скальные и полускальные	Дресвяный слой мощностью 10 м
$C_0 = 0$	$C_1 = 25$ кПа; $\varphi'_1 = 26^\circ$ ; $\gamma'_1 = 1,95$ т/м <sup>3</sup>
$\varphi_0 = 32^\circ$	Глина зеленая мощностью 10 м
$\gamma_0 = 2,2$ т/м <sup>3</sup>	$C_2 = 50$ кПа, $\varphi'_2 = 14^\circ$ ; $\gamma'_2 = 1,8$ т/м <sup>3</sup>
	Глина мергелистая мощностью 8-12 м
	$C_3 = 50$ кПа; $\varphi'_3 = 14^\circ$ ; $\gamma'_3 = 1,8$ т/м <sup>3</sup>

Таблица 3

*Результаты расчетов высоты отвалов и призмы оползания при различном значении углов откоса и наклона основания*

Кесте 3

*Үйінділердің биіктігін және тұғырдың еңісі мен еңісі бұрыштарының әртүрлі мәндеріндегі приның сырғу призмасын есептеу нәтижелері*

Table 3

*The results of calculations of the height of the dumps and the slide prism at different values of the slope and slope angles of the base*

Угол наклона основания, град.	Высота, м	Угол откоса, град.	Ширина призмы оползания, м
0	183	35	9,2
	132	36	9,0
	103	37	8,8
0,5	164	35	9,4
	122	36	9,1
	97	37	8,9
1,0	149	35	9,5
	119	36	9,3
	92	37	9,1



Таблица 4  
 Результаты расчетов высоты отвалов и призмы оползания при различном значении углов откоса и наклона основания

Кесте 4  
 Үйінділердің биіктігін және тұғырдың еңісі мен еңісі бұрыштарының әртүрлі мәндеріндегі прианың сырғу призмасын есептеу нәтижелері

Table 4  
 The results of calculations of the height of the dumps and the slide prism at different values of the slope and slope angles of the base

Угол наклона основания, град.	Высота, м	Угол откоса, град.	Ширина призмы оползания, м
0	183	35	9,2
	132	36	9,0
	103	37	8,8
0,5	164	35	9,4
	122	36	9,1
	97	37	8,9
1,0	149	35	9,5
	119	36	9,3
	92	37	9,1

Таблица 5  
 Расчетные параметры отвала с характерной несущей способностью основания

Кесте 5  
 Негіздің өзіне тән көтеру қабілеті бар қайырманьң есептік параметрлері

Table 5  
 Design parameters of the blade with a characteristic bearing capacity of the base

Характер контактов «отвал – основание»	Наименование пород в основании отвала	Параметры отвала						
		C, МПа	$\varphi$ , град	$\alpha = 38^\circ$	$\alpha = 37^\circ$	$\alpha = 36^\circ$	$\alpha = 35^\circ$	$\alpha = 34^\circ$
Сильный контакт	Элемент 6. Суглинок, коричнево-красные глины, твердые, набухающие, незасоленные в виде контакта	0,124	21	$\frac{131}{30}$	$\frac{148}{29}$	$\frac{170}{28}$	$\frac{203}{28}$	$\frac{253}{27}$
Ослабленный контакт	Элемент 2. Суглинок дресвяный, твердый, загипсованный	0,047	26	$\frac{93}{17}$	$\frac{107}{17}$	$\frac{122}{17}$	$\frac{149}{18}$	$\frac{198}{18}$
Слабый контакт	Элемент 4. Суглинок твердый, просадочный	0,021	27	$\frac{49}{12}$	$\frac{57}{12}$	$\frac{69}{12}$	$\frac{88}{12}$	$\frac{119}{12}$

Примечание: в числителе – расчетная высота отвала, м; в знаменателе – призма обрушения, м.

с погрузочных механизмов вниз под действием силы тяжести и скорости перемещения, которая развивается отвалообразующими агрегатами. В зависимости от состава пород и времени угол естественного откоса изменяется и, согласно наблюдениям, для скальных пород колеблется в пределах, указанных в табл. 1. Со временем угол естественного откоса несколько выполаживается за счет осадки отвала, зависящей от сжимаемости пород, способа отвалообразования и высоты отвала [3].

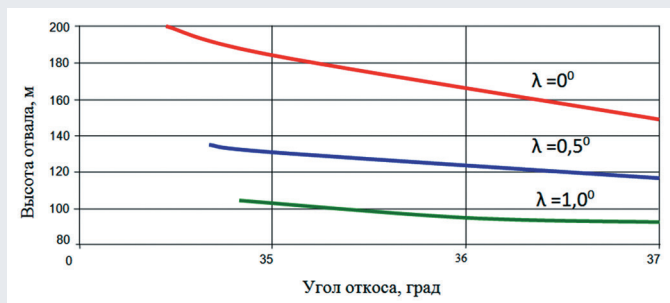
Угол наклона основания в пределах значений до  $16^\circ$  не оказывает существенного влияния на угол естественного откоса, о чем свидетельствуют результаты натуральных наблюдений<sup>8-10</sup> [5]:

Угол естественного откоса, град	34	34	32
Угол наклона основания, град	+10	-10	10-16
Высота яруса отвала, м	54	33	26

<sup>5</sup>Фисенко Г.А. и др. Укрепление откосов на карьерах. – М.: Недра. 1974. – 208 с. (на русском языке)

<sup>6</sup>Методические указания по расчету устойчивости и несущей способности отвалов. – Л.: ВНИМИ, 1987. – 126 с. (на русском языке)





**Рис. 1. Зависимость устойчивой высоты отвала от угла откоса при наклоне основания 0°; 0,5° и 1,0°.**

**Сурет 1. Үйіндінің тұрақты биіктігінің негізін еңкейту кезінде еңіс бұрышына тәуелділігі 0°; 0,5° және 1,0°.**

**Figure 1. The dependence of the stable height of the blade on the slope angle at the slope of the base 0°; 0,5° and 1,0°.**

Анализ нарушений устойчивости отвалов карьера Мурунтау показал, что оползневые процессы, как правило, приурочены к слабому основанию. При этом ситуация осложняется тем, что используемые в расчетах характеристики пород, определяющие несущую способность основания, не всегда соответствуют реальным условиям. Кроме этого известно [1, 2], что на несущую способность основания влияют также угол наклона основания, угол откоса отвала и глубина залегания слабых слоев. Характеристики пород основания приведены в табл. 2.

Расчеты выполнены для углов наклона основания 0°; 0,5° и 1,0°, а откоса отвала – 35°, 36° и 37° (рис. 1). Анализ полученных результатов (табл. 3.) показал, что изменение угла откоса на 1° ведет к изменению высоты отвала на 15-50 м. При этом, с увеличением угла откоса до 37° высота отвала резко снижается, а при выполаживании до 35° – увеличивается. Ширина призмы сползания колеблется в пределах от 8,8 м до 9,5 м, то есть колебания не превышают 10%.

В реальных условиях территория размещения отвалов карьера Мурунтау характеризуется неравномерностью физико-механических параметров пород,

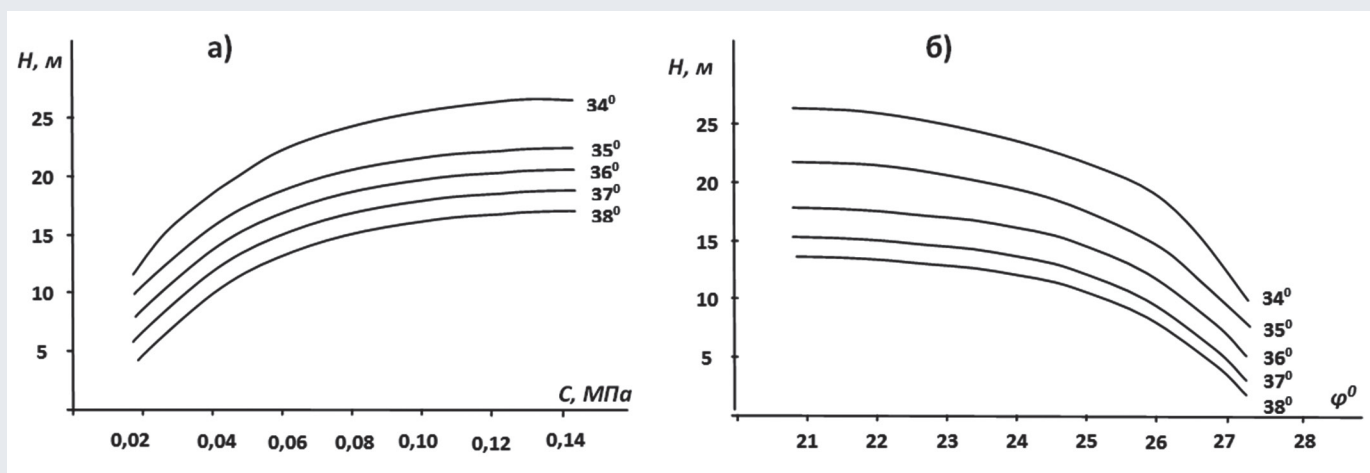
слагающих основание отвалов. Положение осложняется тем, что часто наличие ослабленных участков является уже в процессе формирования отвала, когда начались его деформации. Поэтому были проведены аналитические исследования по определению диапазона изменения устойчивых параметров отвалов на основаниях с различной несущей способностью. При этом исследованы три характерных варианта:

- сдвиг по сильному контакту (прочное основание с высоким значением характеристики пород);
- сдвиг по ослабленному контакту (наличие слабого слоя на глубине 4 м) со средним значением характеристики пород;
- сдвиг по слабому контакту (наличие слабого слоя на глубине 120 м) с низким значением характеристики пород.

Анализ полученных результатов показывает, что предельная высота отвала, отсыпаемого на устойчивом основании, в 1,5-2,0 раза выше, чем отвала на слабом основании и при величине угла откоса 35-36° может достигать 140-200 м. При этом высота устойчивого отвала может быть увеличена на 15-30% по сравнению со свежесыпанными отвалами. В то же время, опыт проектирования свидетельствует о том, что к реализации принимается худший вариант, гарантирующий безопасность работ. В частности, в условиях карьера Мурунтау при отсыпке конвейерных отвалов на устойчивом основании возможная высота отвала составляет 140-170 м, а принятая в проекте – всего 60 м. Такое решение, ориентированное на худший вариант, приводит к недоиспользованию потенциальной вместимости отвала и снижает эффективность отвалообразования.

Для более детального анализа были выбраны наиболее характерные породы в основании отвала с различной несущей способностью (табл. 4).

Выполненные расчеты позволили установить взаимосвязь сцепления и углов внутреннего трения пород в основании отвала с высотой и призмой возможного обрушения. Результаты расчетов представлены на рис. 2.



**Рис. 2. Зависимость высоты отвала от сцепления (а) и угла внутреннего трения (б) пород основания.**  
**Сурет 2. Қайырма биіктігінің ілінісуіне (а) және негіз жыныстарының ішкі үйкеліс бұрышына (б) тәуелділігі.**  
**Figure 2. Dependence of the blade height on the coupling (а) and the angle of internal friction (б) of the base rocks.**

Анализ полученных графиков показывает, что с увеличением сцепления высота отвала и призма обрушения увеличиваются, а с увеличением угла внутреннего трения – уменьшаются. Поэтому при наличии в основании отвала пород, несущая способность которых различается существенно, к выбору параметров отвала следует подходить, в первую очередь, с точки зрения обеспечения безопасности работ.

Таким образом, проведенные аналитические исследования и полученные результаты расчетов по определению диапазона изменений устойчивых параметров отвалов на различных по несущей способности основаниях предопределяет необходимость разработки технологических схем, обеспечивающих безопасность работ на слабых участках основания при максимально возможной высоте отвала.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Храмов Б.А., Бакарас М.В., Кравченко А.С., Корнейчук М.А. Управление устойчивостью отвалов рыхлой вскрыши железорудных карьеров КМА. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – №2. – С. 66-72 (на русском языке)
2. Наимова Р.Ш., Раимжанов Б.Р. Разработка технологической схемы формирования высоких конвейерных отвалов на неоднородном основании // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 9. – С. 125-136 (на русском языке).
3. Анакшин А.И., Шпаков П.С. Обоснование расчетных показателей физико-механических свойств глинистых пород для оценки устойчивости откосов открытых горных выработок. // Рациональное использование недр и рекультивация земель на горных предприятиях. – Караганда: КарГТУ, 1983. – С. 66-72. (на русском языке)
4. Гальперин А.М. Типовые схемы расчета устойчивости откосов. // В кн.: Геомеханика открытых горных работ. – М.: МГГУ, 2003. – С. 189-202 (на русском языке).
5. Зотеев В.Т., Фролов А.В. Совершенствование технологии отвалообразования на Ковдорском ГОКе. // Горный журнал. – 1988. – № 4. – С.22-25 (на русском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Храмов Б.А., Бакарас М.В., Кравченко А.С., Корнейчук М.А. КМА темір кені карьерлерінің борпылдақ аришу үйінділерінің тұрақтылығын басқару. // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. – 2018. – №2. – Б. 66-72 (орыс тілінде)
2. Наимова Р.Ш., Раимжанов Б.Р. Гетерогенді негізде жоғары конвейерлік үйінділерді қалыптастырудың технологиялық схемасын әзірлеу. // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. – 2020. – №9. – Б. 125-136 (орыс тілінде)
3. Анакшин А.И., Шпаков П.С. Ашық тау-кен қазбаларының беткейлерінің тұрақтылығын бағалау үшін сазды жыныстардың физикалық-механикалық қасиеттерінің есептік көрсеткіштерін негіздеу. // Тау-кен кәсіпорындарында жер қойнауын ұтымды пайдалану және жерді рекультивациялау. – Қарағанды: ҚарМТУ, 1983. – Б. 66-72 (орыс тілінде)
4. Гальперин А.М. Беткейлердің тұрақтылығын есептеудің типтік схемалары. // Ашық тау-кен жұмыстарының геомеханикасы кітабында. – М.: МГМУ, 2003. – Б. 189-202 (орыс тілінде)
5. Зотеев В.Т., Фролов А.В. Ковдор КБК-де үйінді жасау технологиясын жетілдіру. // Тау-кен журналы. – 1988. – №4. – Б. 22-25 (орыс тілінде)

#### REFERENCE

1. Khramtsov B.A., Bakarar M.V., Kravchenko A.S., Korneychuk M.A. Upravlenie ustojchivost'yu otvalov ryxloj vskryshi zhelezorudnyx kar'erov KMA [Managing the stability of loose overburden dumps of KMA iron ore quarries]. // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' = Mining information and analytical bulletin. – 2018. – №2. – P. 66-72 (in Russian)
2. Naimova R.Sh., Raimzhanov B.R. Razrabotka texnologicheskoy sxemy formirovaniya vysokix konvejernyx otvalov na neodnorodnom osnovanii [Development of a technological scheme for the formation of high conveyor dumps on an inhomogeneous basis]. // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' = Mining information and analytical bulletin. – 2020. – №9. – P. 125-136 (in Russian)
3. Anakshin A.I., Shpakov P.S. Obosnovanie raschetnyx pokazatelej fiziko-mexanicheskix svojstv glinistyx porod dlya ocenki ustojchivosti otkosov otkrytyx gornyx vyrabotok

[Substantiation of calculated indicators of physical and mechanical properties of clay rocks for assessing the stability of slopes of open-pit mine workings]. // *Racional'noe ispol'zovanie neдр i rekul'tivaciya zemel' na gornyx predpriyatiyax* = Rational use of mineral resources and land reclamation at mining enterprises. – Karaganda: Karaganda state technical university, 1983. – P. 66-72 (in Russian)

4. Galperin A.M. *Tipovye sxemy rascheta ustojchivosti otkosov* [Typical schemes for calculating slope stability]. // *V kn. Geomehanika otkrytyx gornyx rabot* = In the book: Geomechanics of open-pit mining. – M.: MGGU = Moscow State Mining University, 2003. – P. 189-202 (in Russian)
5. Zoteev V.T., Frolov A.V. *Sovershenstvovanie texnologii otvaloobrazovaniya na Kovdorskom GOKe* [Improving the technology of dumping at the Kovdorsky GOK]. // *Gornyj zhurnal* = Mining Journal. – 1988. – №4. – P. 22-25 (in Russian)

#### Сведения об авторах:

**Раимжанов Б.Р.**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Горное дело, металлургия и автоматизация» Алмалыкского филиала Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (г. Алмалык, Узбекистан), [b.raimjanov@mail.ru](mailto:b.raimjanov@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-0395-1181>

**Наимова Р.Ш.**, д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой «Горное дело» Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова (г. Ташкент, Узбекистан), [nrano-67@rambler.ru](mailto:nrano-67@rambler.ru); <https://orcid.org/0000-0002-2293-6059>

**Райханова Г.Е.**, канд. техн. наук, декан горно-металлургического факультета Алмалыкского филиала Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (г. Алмалык, Узбекистан), [galiya82@inbox.ru](mailto:galiya82@inbox.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1328-0799>

**Мирзаев А.А.**, докторант кафедры «Горное дело» Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова (г. Ташкент, Узбекистан), [bekk3924@gmail.ru](mailto:bekk3924@gmail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-4793-8445>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Раимжанов Б.Р.**, техника ғылымдарының докторы, «МИСиС» Ұлттық зерттеу технологиялық университетінің Алмалық филиалы «Тау-кен ісі, металлургия және автоматтандыру» кафедрасының профессоры (Алмалық қ., Өзбекстан)

**Наимова Р.Ш.**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, «Тау-кен ісі» кафедрасының меңгерушісі (Ташкент қ., Өзбекстан)

**Райханова Г.Е.**, техника ғылымдарының кандидаты, «МИСиС» Ұлттық зерттеу технологиялық университетінің Алмалық филиалы, Тау-кен және металлургия факультетінің деканы (Алмалық қ., Өзбекстан)

**Мирзаев А.А.**, Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, «Тау-кен ісі» кафедрасының докторанты (Ташкент қ., Өзбекстан)

#### Information about the authors:

**Raimzhanov B.R.**, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Mining, Metallurgy and Automation of the Almalyk Branch of the National Research Technological University «MISIS» (Almalyk, Uzbekistan)

**Naimova R.Sh.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head at the Mining Department of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov (Tashkent, Uzbekistan)

**Raykhanova G.E.**, Candidate of Technical Sciences, Dean at the Mining and Metallurgy Faculty of the Almalyk Branch of the National Research Technological University «MISIS» (Almalyk, Uzbekistan)

**Mirzoev A.A.**, Doctoral Student at the Mining Department of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov (Tashkent, Uzbekistan)

Код МРНТИ 52.13.23

Р.Қ. Қамаров, Т.К. Исабек, С.В. Барсуков, Е.А. Абдрахман

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

## ТЕЗ ҚАТАТЫН ҚҰРАМДАРМЕН ТӨБЕ ЖЫНЫСТАРЫН БЕКІНДІРУДІҢ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ

**Андатпа.** Мақалада лавада төзімсіз жанас жыныстардың опырылыстарын болдырмауға және күрделі кентехникалық жағдайларда қазу жұмыстарын жүргізуде төбенің құлау аймағында оларды бекіндіруге бағытталған ғылыми және тәжірибелік жұмыстардың нәтижелері келтірілген. Төбенің тұрақсыз жыныстарын химиялық қарнақтаудың және полиуретанды құрамдарды айдай төбе жыныстарды бекіндірудің технологиялық үлгілері ұсынылады. Шақтыларда шәйірлерді қолданудың арқасында жоғары жүктелінген қазбаларда конвергенция 60-80% баяулады, 1 м қазбаға жұмсалынған бекітпелеуші материалдардың шығындары 20000 тенгеге дейін төмендеді, кенжарлық кеңістіктегі жұмыстардың қауіпсіздігі артты, қазбалардың тұрақтылық күйіне қол жеткізілді. Кен-геологиялық жағдайларды және пайдаланудың кентехникалық факторларын ескере отыра жалаңаштанған жыныстардың тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік беретін лава төбесінің опырылыс аймағында тұрақсыз жыныстарды бекіндіру бойынша технологиялар ұсынылады.

**Түйінді сөздер:** тау-кен қазбасы, деформациялық үдірістерді зерттеу, бекітудің шамашарттары, геомеханикалық үдірістер, тау қысымының білінуі, технологиялық үлгілер, тау жыныстарының жалаңаштануының тұрақтылығы, кентехникалық факторлар, тау-кен жұмыстарын дамытудың үлгілері, кернеулік-деформациялық күй, лава, шыңтас.

### Применение технологий упрочнения пород кровли быстротвердеющими составами

**Аннотация.** В статье приведены результаты научных и экспериментальных работ, направленных на предотвращение вывалообразования неустойчивых вмещающих пород в лаве и их упрочнение в зоне обрушения кровли в сложных горно-технических условиях разработки. Предложена технологическая схема упрочнения пород кровли нагнетанием полиуретановых составов и схемы химического анкерования неустойчивых пород кровли. За счет использования смол в шахтах замедлилась конвергенция в высоконагруженных выработках на 60-80%, снизились затраты на крепежные материалы до 20000 тенге на 1 м выработки, повысилась безопасность работ в призабойном пространстве, достигнуто устойчивое состояние выработок. Рекомендована технология по упрочнению неустойчивых пород в зоне обрыва кровли в лаве, которая позволит повысить устойчивость породных обнажений с учетом горно-геологических условий и горно-технических факторов эксплуатации.

**Ключевые слова:** горные выработки, исследование деформационных процессов, параметры крепления, геомеханические процессы, проявление горного давления, технологические схемы, устойчивость породных обнажений, горнотехнические факторы, схемы развития горных работ, напряженно-деформированное состояние, лава, массив.

### Application of technologies for strengthening roof rocks with fast-hardening compounds

**Abstract.** The article presents the results of scientific and experimental work aimed at preventing the collapse of unstable enclosing rocks in the longwall and their strengthening in the zone of roof collapse in difficult mining conditions. A technological scheme of strengthening roof rocks by injection of polyurethane compositions and a scheme of chemical anchoring of unstable roof rocks are proposed. Due to the use of resins in mines, convergence in highly loaded workings slowed down by 60-80%, costs for fastening materials decreased to 20,000 tenges per 1 m of workings, the safety of workers in the bottom hole space increased, and a stable state of workings was achieved. A technology is recommended to strengthen unstable rocks in the zone of a roof cliff in a longwall face, which will increase the stability of rock outcrops, taking into account mining and geological conditions and mining technical factors of operation.

**Key words:** mine workings, study of deformation processes, roof bolting parameters, geomechanical processes, rock pressure manifestation, technological schemes, stability of rock outcrops, mining technical factors, mining development schemes, stress-strain state, longwall face, massif.

### Зерттеудің өзектілігі

Қазбалардың тұрақтылығы келесі факторларға байланысты: жанас жыныстардың сипаттамасына; қазбаларды бекітудің түрлеріне және жиілігіне; қазбалардың орналасу орнына және олардың шыңтастағы кернеулік әрекеттерге бағдарлануына.

Өтіліп жатқан қазбалардағы төбе жыныстардың беріктігі шамалы 20-37 МПа, төзімсіз класқа жатады және жыныстардың жалаңаштануы 1 м-ден астам құраған жағдайда төбе жыныстар опырылады. Табан

жыныстар ісінуге және шайылуға бейімділі. Тектоникалық тұрғыдан қарастырғанда қазылатын тақталар күрделіге жатады. Үзік бұзылыстар болып жыныстардың сырғымалығы және жылыспалығы саналады. Тақталардың жатыстары жайпақ-көлбеуден күртқұламань құрайды. Тақталарды қазудың жүйесі – созылым және құлама бойынша ұзын дінгекті. Тақталарды кентірексіз қазып алудың технологиялық үлгілерін кеңінен жүзеге асыру қазбаларды күтіп ұстауға үлкен шығындардың

жұмсалыуына әкелді және қазымдалған кеңістікке іргелес жаңа қазбаларды өтудің қажеттілігін туғызды.

Қарағанды көмір бассейніндегі шақтыларда бекітпеленген кеңістіктердегі қуыстарды және күмбездерді толтыруға арналған синтетикалық шәйірлерді қолдану өтілетін қазбадағы немесе тазартпа кенжардағы шыңтастын кернеулік күйін қайтадан таратуға, сондай-ақ, өтілетін қазбаларда метанның жиналуын болдырмауға мүмкіндік туғызады. Бұл апаттық жағдайларды

Кесте 1

Төбе жыныстарын бекіндіру әдістерін қолданудың шарттары

Таблица 1

Условия применения способов упрочнения пород кровли

Table 1

Conditions for the application of roof rocks strengthening methods

Бекіндірілетін жыныстардың қасиеттері	Бекіндірудің орынды тәсілдері	
	Полиуретанды құрамдарды айдау	Химиялық қарнақтау
Құлайтын жыныстардың қуаттылығы $h_{обр}$ , м	0,8 астам	0,4 астам
Кесектіктері бойынша жыныстардың тобы	I және II	II, III және IV



Кесте 2

Төбе жыныстарына полиуретанды құрамдарды айдау арқылы оларды бекіндіру әдісінің шамашарттары

Таблица 2

Параметры способа упрочнения пород кровли нагнетанием полиуретановых составов

Table 2

Parameters of the roof rocks hardening method by polyurethane compounds injection

Басқарылатын жыныстардың қасиеттері		Теспелердің көтеру бұрышы, град	Теспелердің ара қашықтықтары, м	1 теспеге жұмсалатын құрамның шығыны, кг
Құлайтын жыныстардың қуаттылығы $h_{обр}$ , м	Кесектіктері бойынша жыныстардың тобы			
1,5 м-ден кем	I	10-15	2,5-3,0	100-140
	II	10-15	3,5-4,0	160-180
1,5 м-ден астам	I	15-20	3,0-3,5	160-200
	II	15-20	4,0-5,0	200-250

болдырмауға мүмкіндік жасайды. Шәйірлерді қолдану қазымдалған кеңістіктерде пайда болатын тотығу үдірістерін сөндіруге және дамытуға ықпал жасайтын материал ретінде өзінің артықшылықтарын бірқатар растады.

### Төбе жыныстарды химиялық қарнақтаумен және полиуретанды құрамдарды айдаумен бекіндіру

Төбе жыныстарды бекіндіру химиялық қарнақтаумен және полиуретанды құрамдарды айдаумен жүзеге

асырылады. Төбе жыныстарын тез қататын құрамдармен бекіндіру әдісін таңдау жасалады. Бұндай жағдайда төбе жыныстарды бекіндірудің технологиялық үлгілерінің шамашарттарын және әдісін таңдаудың негізгі критерийі болып олардың құлауы кезіндегі орташа кесектігі саналады.

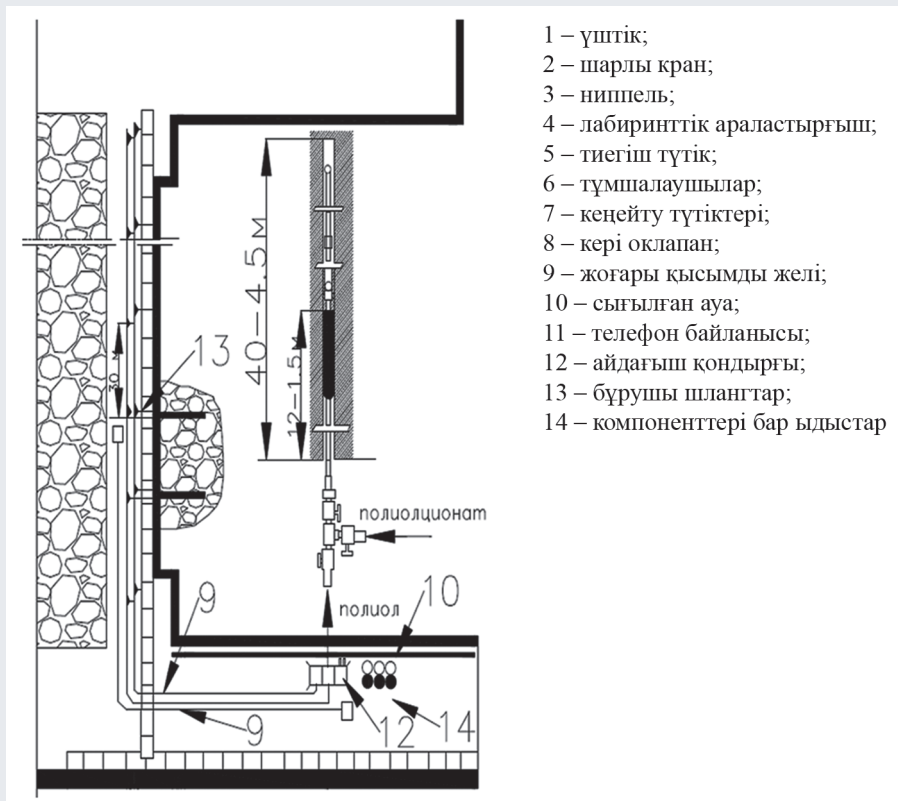
Бірінші топқа (I) құлаған кездегі жыныстардың кесектік өлшемдері 0,1 м-ден кем құрайтын жыныстар, екіншіге (II) 0,1-0,3 м, үшіншіге (III) – 0,3-0,5 м және төртіншіге (IV) – 0,5 м-ден асатын жыныстар жатады. Бекіндіру әдістерінің әрқайсысын қолдануда ең орынды болатын жағдайлар 1 кестеде көрсетілген<sup>1</sup>.

Сондай-ақ, тез қататын құрамдармен төбе жыныстарын бекіндіру кезінде төмен жатқан тақталарды үстемелеп қазудың ара қашықтығы 12 мм-ден кем болуы қажет.

### Полиуретанды құрамдарды айдай жыныстарды бекіндірудің технологиясы

Полиуретанды құрамдарды айдай жыныстарды бекіндірудің технологиясы бекітпелеуші полиуретанды құрамды айдаудың үдірістерінен тұрады және мыналарды құрайды: даярлау операциялары және айдау мен қорытындылау операциялары (араластырғыш-тиектік арматураны бөлшектеу, бұрғылау жабдықтарын жинау, айдау қондырғысын жуып шаю, байланыс желісін бөлшектеу және т.б.) бойынша жұмыстарды жүргізу<sup>2-5</sup>.

Полиуретанды құрамдарды айдау жұмыстары диаметрі 42-45 мм



- 1 – үштік;
- 2 – шарлы кран;
- 3 – ниппель;
- 4 – лабиринттік араластырғыш;
- 5 – тиегіш түтік;
- 6 – тұмшалаушылар;
- 7 – кеңейту түтіктері;
- 8 – кері оқлапан;
- 9 – жоғары қысымды желі;
- 10 – сығылған ауа;
- 11 – телефон байланысы;
- 12 – айдағыш қондырғы;
- 13 – бұрушы шлангтар;
- 14 – компоненттері бар ыдыстар

Сурет 1. Төбе жыныстарына полиуретанды құрамдарды айдау арқылы оларды бекіндірудің технологиялық үлгісі.

Рис. 1. Технологическая схема упрочнения пород кровли нагнетанием полиуретановых составов.

Figure 1. Technological scheme of roof rocks strengthening by injection of polyurethane compounds.

<sup>1</sup>Сидсмен Р. Қараганды шақтыларындағы қарнақты бекітулерге шолу. / АрселорМиттал Теміртау. – 2010. – 35 б. (орыс тілінде)

<sup>2</sup>Кузбасс көмір шақтыларында қарнақты бекітпені қолдану және есептеу бойынша нұсқаулық. – СПб.: ВНИИМИ БАҚ, 2011. – 150 б. (орыс тілінде)

<sup>3</sup>Максимов А.П. Тау қысымы және қазбалар бекітпесі. – М.: Жер қойнауы, 1973 – 250 б. (орыс тілінде)

<sup>4</sup>Черняк И.Л., Бурчаков Ю.И. Терең шақтылардың даярлау қазбаларындағы тау қысымын басқару. – М.: Ғылым, 1984. – 304 б. (орыс тілінде)

<sup>5</sup>Широков А.П., Лидер В.А. және т.б. Қарнақты бекітпе: Анықтамалық. – М.: Ғылым, 1990. – 205 б. (орыс тілінде)

Кесте 3

Қатардағы қарнақтарды орнатудың қадамы

Таблица 3

Шаг установки анкеров в ряду

Table 3

Step of anchors installation in a row

Химиялық қарнақтаудың технологиялық үлгісі	Кесектігі бойынша топтардағы құлаған жыныстарда қарнақтарды орнатудың қадамы		
	II	III	IV
Бір қатарлы және екі қатарлы	0,5 м	0,7 м	0,9 м
Бір қатарлы профилактикалық қарнақтау	Көмірді қазу бойынша әрбір алғашқы екі циклдың алдында 0,7 м дейін (қарнақтаумен төбені ұстағаннан кейін) және көмірді қазу бойынша әрбір кейінгі екі циклдың алдында 0,9 м-ге дейін	Көмірді қазу бойынша әрбір алғашқы екі циклдың алдында 0,9 м дейін (қарнақтаумен төбені ұстағаннан кейін)	Профилактикалық қарнақтау жүргізілмейді

және ұзындығы 4,0-4,5 м теспе арқылы жүзеге асырылады. Оларды тұмшалаудың жұмыстары 1,2-1,5 м тереңдікте айдаудың шапшандығы 7-9 л/мин, айдаудың номиналды қысымы – 2-5 МПа кезінде орындалады (1 сурет).

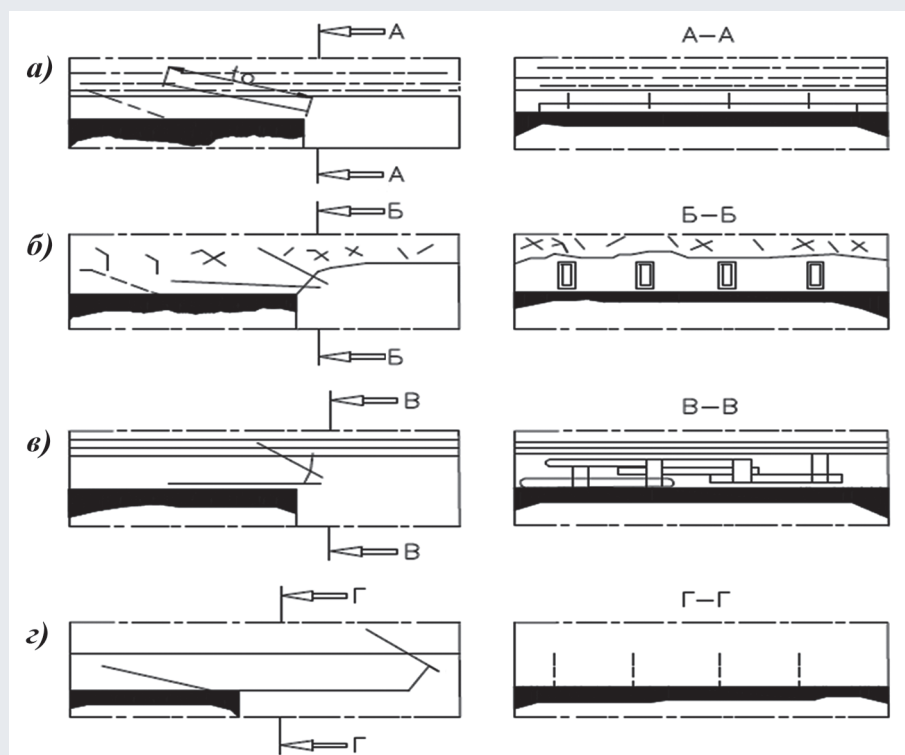
Айдауға арналған теспелердің көтеру бұрышы, олардың арасындағы арақашықтық және бір теспеге жұмсалатын құрамның шығыны 2 кестедегі мәліметтерге сәйкес таңдалады. Полиуретанды құрамдарды айдау бойынша

жұмыстардың қайтадан орындалуы лаваның 3,5-4,0 м жылжығаны кейін жүзеге асырылуы ұсынылады. Егерде лаваның 2,0-2,5 м жылжуы кезінде жыныстардың құлауы байқалынатын болса, онда полиуретанды құрамдарды айдау жұмысын бастапқы аралықтағы теспелерге қайталау керек.

Төбе жыныстарды бекіндіру бойынша жұмыстарды орындау жөндеу-даярлық ауысымында жүргізу ұсынылады. Ауысымда бекендірілетін төбе аймағының ауданы 100-140 м<sup>2</sup> құрауы мүмкін. Лаваның ұзындығы бойынша төзімсіз төбенің бекендірілетін учаскесінің созылықсы – 20-35 м. Бір ауысымда өңделетін теспелердің саны – 6-8.

#### Химиялық қарнақтау тәсілдерімен төбе жыныстарын бекіндірудің технологиялары

Химиялық қарнақтаудың мәні қатаюшы химиялық композициялармен теспенің бүкіл ұзындығы бойынша бекітпеленген қарнақтармен (өзектермен) жыныс шыңтасын әбзелдеуден тұрады. Құрамдар алдын ала ампулалармен теспеге түсіріледі. Теспедегі ампулаларды бұрғының көмегімен әбзелдендіруші өзекті айналдыру арқылы бүлдіргеннен (бұзғаннан) кейін химиялық композициялардың құрамдары араласады және теспенің қабырғалары мен өзектің беті арасындағы кеңістікті толтырады. Содан кейін полимеризациялау реакциясына түседі. Құрамның қатаюы нәтижесінде әлсіреген жыныс шыңтасы қатты өзектермен әбзелдендіріледі, сондай-ақ, теспелердің



а – жазықтық бағыт бойынша өзектер арасындағы механикалық байланыстырудың бір қатарлық үлгісі;  
б – тік бағыт бойынша өзектер арасындағы механикалық байланыстырудың екі қатарлық үлгісі;  
в – тік және жазық бағыт бойынша өзектер арасындағы механикалық байланыстырудың екі қатарлық үлгісі;  
г – өзектер арасындағы механикалық байланыстырусыз бір қатарлық үлгі (профилактикалық қарнақтау)

Сурет 2. Төзімсіз төбе жыныстарды химиялық қарнақтаудың үлгісі.  
Рис. 2. Схемы химического анкерования неустойчивых пород кровли.  
Figure 2. Schemes for chemical roof bolting of unstable roof rocks.

**Кесте 4**  
**Әбзелдендіруші өзектердің ұзындықтарын анықтауға арналған формулалар**

**Таблица 4**  
**Formulas for determining of the reinforcing bars lengths**

Химиялық қарнақтаудың технологиялық үлгілері	Әбзелдендіруші өзектердің ұзындықтарын анықтауға арналған формулалар
Бір қатарлы	$l = l_1 + L/\cos\beta + \Delta l$
Екі қатарлы	Төменгі қатар: $l_n = l_1 + h_{обр}/\cos\beta_n + \Delta l_n$
	Жоғарғы қатар: $l_g = l_1 + L/2\cos\beta_g + \Delta l_g$
Бір қатарлы профилактикалық қарнақтау	$l_{проф} = l_1 + L_{проф}/\cos\beta + \Delta l_{проф}$

айналасындағы жарықшақтарға құрамның енуі арқасында жыныс шыңтасы бекіндіріледі.

Тазартпа кенжарларындағы төзімсіз төбе жыныстарды химиялық қарнақтаудың үлгісі жыныс шыңтасына қарнақтарды орнатудың орнына, сондай-ақ, құлайтын жыныстардың қуаттылығына және олардың бұзылыс дәрежелеріне (кесектеленудің тобы бойынша) байланысты келесі үлгілердің модификациялары пайдаланылаы: жазықтық бағыт бойынша өзектер арасындағы механикалық байланыстырудың бір қатарлық үлгісі; тік бағыт бойынша өзектер арасындағы механикалық байланыстырудың екі қатарлық үлгісі; тік және жазық бағыт бойынша өзектер арасындағы механикалық байланыстырудың екі қатарлық үлгісі; өзектер арасындағы механикалық байланыстырусыз бір қатарлық үлгі (профилактикалық қарнақтау)<sup>6,7</sup> [1, 2].

Лавадағы төбе жыныстарының құлауынан кейін қолма қол алғашқы үш үлгінің бірі бойынша қарнақтау жұмысы жүзеге асырылады. Бұл үлгілерді қарнақтаудың бастапқы үлгілері деп атауға да болады (2 сурет).

Профилактикалық қарнақтау бірінші қарнақтаудан және лава бірінші қарнақтаудың тереңдігіне тең жылжығаннан кейін, сондай-ақ, төбе жыныстарының құлауы тоқтағаннан кейін жүзеге асырылады. Лавадағы төбе жыныстарды қарнақтаудың тереңдігі лаваның бір циклдік

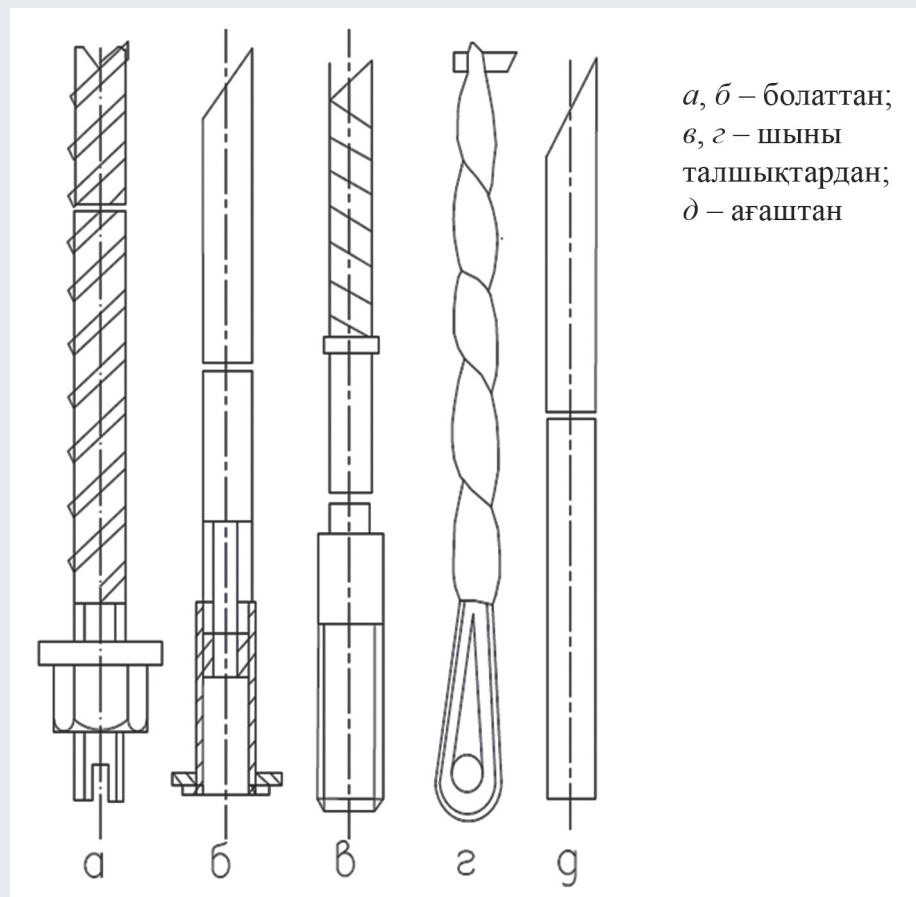
қарнақтау қашықтығына жылжуына байланысты.

Бірінші қарнақтаудың тереңдігі эксперименталды түрде анықталынады және көбінесе комбайнның алым еніне тең болады. Профилактикалық қарнақтаудың

тереңдігі комбайнның алым еніне немесе көмірді жоңғалап қазу кезінде бекітпені орнатудың қадымына тең болады.

Әбзелдендіруші өзектер болатты прокаттан, шыны талшықтан және ағаштан орнатылады. Лаваларда төбе жыныстарының шыңтастарын бекемдету (укрепление) үшін болатты өзектер қолданылады. Шыны талшықтардан және ағаштан жасалынған стерженьдер қуаттылығы 2,5-3,0 м тақталарда лавалардың кенжарларын химиялық қарнақтандыру әдісімен бекемдеу үшін қолданылады (3 сурет).

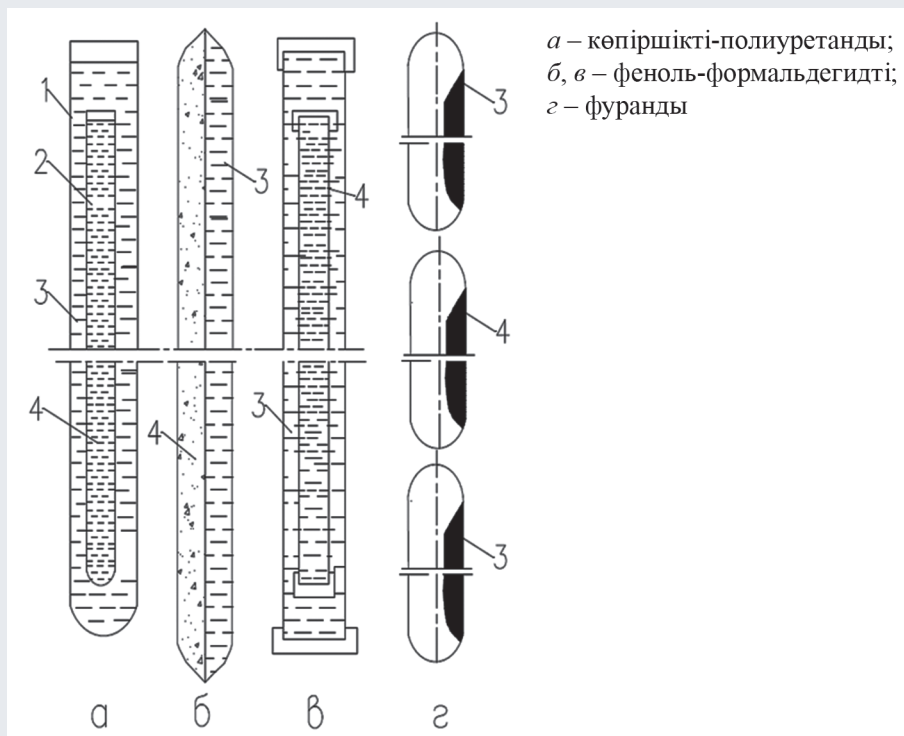
Металды әбзелдендіруші өзектер диаметрі 25 мм және 28 мм арматурланған немесе тегіс болаттан жасалады. Үлбірекердің (ампула) кепілді бұзылуы және химиялық компоненттердің жақсылап араластырылуы мақсатымен металды өзектердің ұштары 450 бұрышпен кесіледі.



**Сурет 3. Химиялық қарнақтауға арналған әбзелдендіруші өзектер.**  
**Рис. 3. Армирующие стержни для химического анкерования.**  
**Figure 3. Reinforcement rods for chemical roof bolting.**

<sup>6</sup>Губер О. Сандық модельдеу құралдарын әзірлеу және жеткізу. Коммерциялық ұсыныс. – Қарағанды, 2011. – 10 б. (орыс тілінде)  
<sup>7</sup>Цай Б.Н. Тау жыныстарының беріктігінің термоактивті табиғаты. – Қарағанды: ҚарМТУ, 2007. – 204 б. (орыс тілінде)





Сурет 4. Химиялық құрамнан тұратын үлбірекер (ампулы).

Рис. 4. Ампулы с химическими композициями.

Figure 4. Ampoules with chemical compositions.

Диаметрі 42-44 мм теспеге еңгізілетін 36-38 мм диаметрлі химиялық композицияларды құрайтын үлбірекер 300-350 мм ұзындықпен шығарылады (4 сурет). Үлбірекер полиэтиленді қабыршақты 1 құрайды. Ол полиэфирмен 3 толтырылған. Оған тығыммен тығыздалған шыны түтік 2 салынған.

Қатардағы қарнақтарды орнатудың қадамы (қарнақтардың арасындағы қашықтық) 3 кестедегі мәліметтер бойынша анықталынады. 3 кестеде келтірілген ұсыныстар лаваның даярлау қазбаларымен түйіскен жерлерінде төбе жыныстарын химиялық қарнақтау үшін қолданылады.

Әбзелдендіруші өзектердің ұзындықтарын анықтауға арналған формулалар 4 кестеде келтірілген. 4 кестенің формулаларында келесі белгілер қабылданған<sup>8</sup> [3]:

$l$  – қарнақтаудың бір қатарлы үлгісіндегі әбзелдендіруші өзектің ұзындығы, м;

$l_n, l_g$  – қарнақтаудың екі қатарлы үлгісіндегі сәйкес жоғарғы және төменгі қатарлардағы әбзелдендіруші өзектердің ұзындықтары, м;

$l_{проф}$  – профилактикалық қарнақтаудың кезіндегі әбзелдендіруші өзектің ұзындығы, м;

$L_1 = 0,1-0,25$  – теспенің аузынан шығатын және тіректік-ұстаушы элементтерді құрастыруға арналған әбзелдендіруші өзектің бөлік ұзындығы, м;

$L$  – қарнақтаудың бастапқы тереңдігі, м, келесідей қабылдауға болады  $L = 2\gamma$ , мұндағы  $\gamma$  – комбайнның алым ені немесе жоңғылап алу кезінде бекітпені орнатудың (жылжу) қадымы, м;

$h_{обр}$  – төбе жыныстарының құлау қуаттылығы, м;

$L_{проф}$  – профилактикалық қарнақтаудың тереңдігі, м; келесідей қабылдауға  $L_{проф} = \gamma$ .

$\beta$  – бір қатарлы үлгілердегі (профилактикалық) әбзелдендіруші өзектерді орнатудың бұрышы, град;

$\beta_n, \beta_g$  – екі қатарлы үлгілердегі сәйкес жоғарғы және төменгі қатарлардағы әбзелдендіруші өзектерді орнатудың бұрышы, град;

$\Delta l = 0,3-0,5$  – қарнақтаудың бір қатарлы үлгісі кезінде қарнақтау тереңдігінен тыс әбзелдендіруші өзекті бекітпелеудің шамасы, м;

$\Delta l_g = 0,3-0,5$  – қарнақтаудың екі қатарлы үлгісі кезінде құламаған жыныстардағы жоғарғы қатардағы әбзелдендіруші өзекті бекітпелеудің шамасы, м;

$\Delta l_n = 0,3-0,5$  – қарнақтаудың екі қатарлы үлгісі кезінде құламаған жыныстардағы төменгі қатардағы әбзелдендіруші өзекті бекітпелеудің шамасы, м;

$\Delta l_{проф} = 0,3-0,5$  – профилактикалық қарнақтаудың тереңдігінен тыс әбзелдендіруші өзекті бекітпелеудің шамасы, м.

4 кестеде келтірілген формулалар бойынша есептеліп алынған әбзелдендіруші өзектердің ұзындықтарының мәндері қатардағы типтік өлшемдердің үлкен шамасына дейін түзетіледі (1,6 м; 1,8 м; 2,0 м; 2,2 м; 2,5 м; 3,0 м; 3,5 м).

Лаваның даярлау қазбаларымен түйіспелеріндегі төбе жыныстарды бекемдету кезінде төменгі қатардағы өзектердің ұзындығы  $l_1$ , 2,5-3,5 м тең қабылданады. Жоғарғы қатардағы өзектердің ұзындығы  $l_2$  (м) қарнақтаудың екі қатарлы үлгілеріне арналған және 4 кестеде келтірілген формулалар бойынша анықталынады. Есептеліп алынған мән  $l_2$  жоғарыда келтірілген қатардағы типтік өлшемдердің үлкен шамасына дейін түзетіледі.

#### Қорытындылар

Төбенің тұрақсыз жыныстарын химиялық қарнақтаудың және полиуретанды құрамдарды айдай төбе жыныстарды бекіндірудің технологиялық үлгілері ұсынылады. Шақтыларда шәйірлерді қолдану арқылы келесі нәтижелерге қол жеткізілді: жоғары жүктелінген қазбаларда конвергенция 60-80% баяулады; 1 м қазбаға жұмсалынған бекітпелеуші материалдардың шығындары 20000 теңгеге дейін төмендеді; кенжарлық кеңістіктегі жұмыстардың қауіпсіздігі артты; қазбалардың тұрақтылық күйіне қол жеткізілді.

Жыныстарды бекіндірудің негізделінген шамашарттары кезінде құрылған бекемделген аймақ, нұсқаның айналасындағы жыныстарға қарағанда жоғары беріктік сипаттамаларына ие. Бұл оның тұрақтылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

<sup>8</sup>Кацага Т.Я. Тазартпа жұмыстарының әсер ету аймағының және өтудегі қазбалардың күйлерін модельдеу FLAC 3D. Коммерциялық ұсыныс (АҚШ). – Қарағанды, 2011. – 10 б. (орыс тілінде)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Грицко Г.И., Цыцаркин В.Н. Кеңейтілген қойнауқаттық қазбалар айналасындағы массивтің кернеулі-деформацияланған күйін эксперименттік талдау әдісімен анықтау. // Пайдалы қазбаларды игерудің физика-техникалық мәселелері. – 1995. – №3. – Б. 18-21 (орыс тілінде)
2. Курленя М.В., Барышников В.Д., Гахова Л.Н. Тау-кен қазбалардың тұрақтылығын бағалаудың тәжірибелік-аналитикалық әдісін өркендету. // Пайдалы қазбаларды игерудің физика-техникалық мәселелері. – 2012. – №4. – Б. 20-28 (орыс тілінде)
3. Демин В.Ф., Демина Т.В., Яворский В.В. және т.б. Тау-кен қазбаларының тұрақтылығын арттыруға арналған «тау шыңтасы – қарнақтық бекітпелеу» геомеханикалық жүйені қолданудың тиімділігі. // Көмір. – М., 2014. – №2. – Б. 18-22 (орыс тілінде)

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Грицко Г.И., Цыцаркин В.Н. Определение напряженно-деформированного состояния массива вокруг протяженных пластовых выработок экспериментально-аналитическим методом. // ФТПРПИ. – 1995. – №3. – С. 18-21 (на русском языке)
2. Курленя М.В., Барышников В.Д., Гахова Л.Н. Развитие экспериментально-аналитического метода оценки устойчивости горных выработок. // ФТПРПИ. – 2012. – №4. – С. 20-28 (на русском языке)
3. Демин В.Ф., Демина Т.В., Яворский В.В. и др. Эффективность использования геомеханической системы «горный массив – анкерное крепление» для повышения устойчивости горных выработок. // Уголь – М., 2014. – №2. – С. 18-22 (на русском языке)

## REFERENCES

1. Gritsko G.I. *Opredelenie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya massiva vokrug protyazhennykh plastovykh vyrabotok e'ksperimental'no-analiticheskim metodom [Determination of the stress-strain state of the rock mass around extended seam workings by the experimental-analytical method]. // FTPRPI = Physical and technical problems of Mineral Development. – 1995. – №6. – P. 18-21 (in Russian)*
2. Kurlenya M.V., Baryshnikov V.D., Gakhova L.N. *Razvitie e'ksperimental'no-analiticheskogo metoda ocenki ustojchivosti gornyx vyrabotok [Development of an experimental-analytical method for assessing the stability of mine workings]. // FTPRPI = Physical and technical problems of Mineral Development. – 2012. – №4. – P. 20-28 (in Russian)*
3. Demin V.F., Demina T.V., Yavorsky V.V. and others. *E'ffektivnost' ispol'zovaniya geomexanicheskoy sistemy «gornyj massiv-ankernoe kreplenie» dlya povysheniya ustojchivosti gornyx vyrabotok [Efficiency of using the geomechanical system «rock mass – anchorage» to increase the stability of mine workings]. – M.: Ugol' = Coal, 2014. – №2. – P. 18-22 (in Russian)*

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Қамаров Р.К.**, техника ғылымдарының кандидаты, Ұлттық тау-кен ғылым академиясының академигі (Нур-Сұлтан қ., Қазақстан), «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы кен орындарын қазып өндіру» кафедрасының профессоры, Біліктілікті жоғарылату институтының директоры (Қарағанды қ., Қазақстан), [ipk@kstu.kz](mailto:ipk@kstu.kz); <https://orcid.org/0000-0003-0106-5343>

**Исабек Т.К.**, техника ғылымдарының докторы, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан), [tyiak@mail.ru](mailto:tyiak@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7718-933X>

**Барсуков С.В.**, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы кен орындарын қазып өндіру» кафедрасының докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан), [sergey.com.ru@mail.ru](mailto:sergey.com.ru@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-2448-6944>

**Абдрахман Е.А.**, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы кен орындарын қазып өндіру» кафедрасының докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан), [yelnur.abdrakhman@mail.ru](mailto:yelnur.abdrakhman@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-7854-9429>

## Сведения об авторах:

**Қамаров Р.К.**, канд. техн. наук, академик Национальной академии горных наук, профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», директор Института повышения квалификации Некоммерческого акционерного общества «Қарағандық техникалық университет» (г. Қарағанды, Қазақстан)

**Исабек Т.К.**, д-р техн. наук, проф. кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Қарағандық техникалық университет» (г. Қарағанды, Қазақстан)

**Барсуков С.В.**, докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Қарағандық техникалық университет» (г. Қарағанды, Қазақстан)

**Абдрахман Е.А.**, докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Қарағандық техникалық университет» (г. Қарағанды, Қазақстан)

## 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», Director of the Institute for Advanced Studies of the Noncommercial Joint-Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

**Isabek T.K.**, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

**Barsukov S.V.**, Doctoral Student at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Noncommercial Joint-Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

**Abdrakhman Ye.A.**, Doctoral Student at the Department «Development of mineral deposits» of the Noncommercial Joint-Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Код МРНТИ 53.01.91

Т.А. Чепуштанова<sup>1</sup>, Е.С. Меркибаев<sup>1</sup>, И.Ю. Мотовилов<sup>1</sup>, К.В. Поляков<sup>2</sup><sup>1</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),<sup>2</sup>Товарищество с ограниченной ответственностью «Казцинк» (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

## РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СУЛЬФИДИРУЮЩЕГО ОБЖИГА ЦИНК- И СВИНЕЦСОДЕРЖАЩИХ ПРОМПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ

**Аннотация.** В статье приведены результаты по обоснованию и разработке гибридной технологии комплексной переработки промпродуктов обогащения посредством сульфидирующего обжига с пиритным концентратом и последующим магнитным и флотационным обогащением огарка, обеспечивающее повышение извлечения цинка и свинца из промпродуктов в селективные концентраты. Приведены результаты механизма процесса и условия сульфидирования с получением магнитного пирротина и гидрофобных сульфидов свинца и цинка. Разработана технология гибридного сульфидирующего обжига окисленных соединений свинца и цинка с достижением степени сульфидирования до 95%. Представлены результаты мокрой магнитной сепарации, которые показывают извлечение в магнитную фракцию до 95% магнитных пирротинов.

**Ключевые слова:** цинк-, свинецсодержащий промпродукт, пирит, сульфидирующий обжиг, пирротины, магнитные свойства, флотационное обогащение,  $\xi$ -потенциал, магнитная сепарация, флотация.

### Мырыш-, құрамында қорғасын бар байытудың өнеркәсіптік өнімдерін сульфидтеп күйдірудің гибридік технологиясын әзірлеу

**Аңдатпа.** Мақалада өндірістік өнімдерден селективті концентраттарға мырыш пен қорғасын алуды арттыруды қамтамасыз ететін пиритті концентратпен сульфидтеп күйдіру және кейіннен күйіндіні магнитті және флотациялық байыту арқылы байыту өнеркәсіптік өнімдерін кешенді қайта өңдеудің гибридік технологиясын негіздеу және әзірлеу бойынша нәтижелер келтірілген. Магниттік пирротин және қорғасын мен мырыштың гидрофобты сульфидтерін алу арқылы сульфидтеу процесі мен шарттары механизмнің нәтижелері келтірілген. Сульфидтеу дәрежесін 95%-ға дейін жеткізе отырып, қорғасын мен мырыштың тотыққан қосылыстарын сульфидтейтін гибридік күйдіру технологиясы әзірленді. Ылғалды магниттік сепарация нәтижелері ұсынылған, магниттік пирротиндердің 95%-на дейін магниттік фракцияға шығарылуын көрсетеді.

**Түйінді сөздер:** құрамында мырыш, қорғасын бар өнеркәсіптік өнім, пирит, сульфидтеп күйдіру, флотациялық байыту, пирротинтер, магниттік қасиеттері, флотация байыту,  $\xi$ -потенциал, магниттік бөлу, флотация.

### Development of a hybrid technology of the sulfidizing roasting of zinc, lead-bearing middlings of the enrichment products

**Abstract.** The paper presents the results of the substantiation and development of a hybrid technology for complex processing of enrichment middlings by sulfidizing roasting with pyrite concentrate and subsequent magnetic and flotation enrichment of cinder, which provides an increasing of the zinc and lead extraction from middlings into selective concentrates. Presents the results of the mechanism of the process and the sulfidization conditions with the production of magnetic pyrrhotites and hydrophobic lead and zinc sulfides. Elaborated technology of hybrid sulfidizing roasting of lead and zinc oxidized compounds allow to achieve the sulfidization degree of Pb and Zn is about 95%. Introduced the results of wet magnetic separation, which show the extraction of magnetic pyrrhotites up to 95% with  $Fe_{0.892}S-Fe_{0.869}S$  composition into the magnetic fraction. The results of flotation beneficiation are presented, it is established that the through-extraction from the beneficiation tailings into the foam product during flotation in a direct one-stage cycle of zinc is more than 84%, lead – 80%.

**Key words:** zinc-, lead-bearing middlings, pyrite, sulfidizing roasting, pyrrhotites, magnetic properties, flotation beneficiation,  $\xi$ -potential, magnetic separation, flotation.

### Введение

В процессе обогащения смешанных полиметаллических руд обрывается значительное количество промпродуктов и хвостов обогащения, флотационная переработка которых малоэффективна. В то же время, в пенных продуктах флотации, кроме окисленных соединений Zn и Pb, концентрируется значительное количество пирита [1].

На данный момент объемы запасов хвостов флотационного обогащения свинцово-цинковых руд накопились до такого количества, что их можно использовать в качестве техногенного сырья. Среднее содержание цветных металлов в отвалах различных обогащательных фабрик (ОФ) лежит

в пределах (%): от 0,07 (хвостохранилище обогащательной фабрики «Алтай») до 1,0 Cu (хвостохранилище ОАО «Жезкентский горно-обогащательный комбинат»); от 0,09 (Таловское хранилище Лениногорской ОФ) до 0,62 Pb (накопитель пиритного концентрата Лениногорского комплекса); от 0,18 (Таловское хранилище Лениногорской ОФ) до 1,9 Zn (хранилище Николаевской ОФ); от 0,14 (хвостохранилище Зыряновской ОФ – обогащательной фабрики «Алтай») до 1,57-1,8 г/т Au (хвостохранилище обогащательной фабрики «Алтай») [2, 3].

Существуют различные технологии по доизвлечению цветных металлов из хвостов обогащения, представляющих собой

техногенные месторождения. По примеру фабрики №1 комбината «Печенганикель» была внедрена технология доизвлечения металла из отвальных хвостов, включающая их классификацию с направлением шламовой части в отвал, магнитную сепарацию песковой фракции, доизмельчение и последующую флотацию магнитной фракции [2].

Во ВНИИцветмете проведены экспериментальные работы по доизвлечению ценных компонентов из хвостов цинковой флотации. Результаты экспериментов показали, что при дофлотации из хвостов можно получать кондиционные пиритный и баритовый концентраты, а также сульфидный промпродукт, содержащий 6,2-7,7% Zn; 0,9-1% Pb и 0,7-0,9% Cu

<sup>1</sup>Валиев Х.Х., Романтеев Ю.П. *Металлургия свинца, цинка и сопутствующих металлов: учебник.* – Алматы: Айкос, 2000. – 441 с. (на русском языке)



Таблица 1

Результаты обжига промпродукта обогащения

Кесте 1

Байыту өнеркәсіп өнімдерін күйдіру нәтижелері

Table 1

The results of firing the middlings of enrichment

τ, мин	T, °C	m, г	Масса огарка, г / содержание, %					Извлечение S в огарок, %
			Fe	S	Zn	Pb	Прочие*	
30	600	19,37	2,6/13,4	1,3/6,71	0,074/0,38	0,012/0,06	15,4/79,4	90,3
30	700	18,24	2,6/14,3	1,01/5,5	0,074/0,40	0,012/0,06	14,53/79,7	72,4
30	800	18,2	2,6/13,4	0,9/6,5	0,074/0,39	0,012/0,06	14,53/80,2	62,5
30	900	18,03	2,6/14,4	0,8/4,4	0,074/0,41	0,012/0,06	14,53/80,5	58,5

\*Прочие – элементы пустой породы

при суммарном извлечении цветных металлов 4,5% (от руды) [3].

В странах дальнего зарубежья полномасштабно используются технологии по получению строительных материалов из хвостов обогатительных фабрик [4].

Актуальной задачей является экологизация районов складирования хвостов. Экологический ущерб от складирования лежалых хвостов усугубляется тем, что они занимают значительные площади, которые не могут быть использованы для сельскохозяйственных или для других целей промышленности. Отходы флотационного обогащения свинцово-цинковых руд существенно отличаются от исходного материала не только по содержанию и составу, но и по степени окисления их поверхности, фракционному составу, наличию значительного количества сростков минералов. На данный момент прослеживается малая эффективность технологических схем переработки промпродуктов флотационного обогащения свинцово-цинковых руд. Анализ практики обогатительных фабрик показывает, что для дополнительного извлечения металлов из богатых по Zn и Pb хвостов флотационного обогащения полиметаллических руд, а также для хвостов от переработки медных сульфидных руд применяют флотационные методы обогащения с предварительной подготовкой хвостов к флотации [5].

Таким образом, перспективным для переработки окисленных и смешанных труднообогатимых полиметаллических руд и промпродуктов

является применение комбинированных методов, включающих сульфидирующий обжиг с последующим обогащением огарка [6].

**Цель исследований** – разработка способа термической обработки промпродуктов флотации с сульфидированием цинка за счет пирита, содержащегося в промпродукте; определение состава и магнитных свойств образующихся в результате обжига пирротинов; изучение возможности флотационного разделения продуктов обжига пиритсодержащих материалов (промпродуктов флотационного обогащения) через определение электрокинетических характеристик пирротинов различного состава [7-8].

Экономическая целесообразность исследований заключается в обосновании и разработке технологии доизвлечения Pb и Zn из хвостов обогащения полиметаллических руд [8]. Задачами исследований стали разработка методов повышения эффективности переработки хвостов обогащения свинцово-цинковых руд путем активирующего обжига для сульфидирования окисленных минералов и повышения их флотированности.

#### Материалы и методы исследования

##### Исходные материалы

В качестве исходного материала использовался промежуточный продукт флотационного обогащения свинцово-цинковой руды, Риддерской обогатительной фабрики ТОО «Казцинк», в качестве сульфидизатора – пирит, содержащийся в хвостах. Рентгенофазовый анализ промпродукта показал

следующий минеральный состав:  $FeS_2$ ,  $ZnCO_3$ ,  $ZnO$ ,  $ZnO \times 2SiO_2$ ,  $ZnSiO_3$ ,  $ZnS$ ,  $PbO$ ,  $PbCO_3$ ,  $PbS$ ,  $PbSiO_3$ ; содержание Zn – 0,38%, Pb – 0,07%, Fe – 13,0%, S – 7,20%;  $FeS_2$  – 53,9% Fe и 45,15% S.

#### Методы исследования

Методика измерения электрокинетического потенциала суспензии пирротинов проводилась методом макроэлектрофореза. Электрофоретическую подвижность суспензии пирротинов измеряли с помощью прибора Рабиновича и Фодиман методом подвижных границ. Электрокинетический потенциал рассчитывали по уравнению Смолуховского. Макроэлектрофорезом были исследованы 4 образца пирротинов, отличающихся структурным составом: 1 –  $Fe_{0,85}S$ ; 2 –  $Fe_{0,86}S$ ; 3 –  $Fe_{0,87}S$ ; 4 –  $Fe_{0,89}S$ . Для приготовления суспензии образцы сначала измельчали на истирателе, и отбирали фракции < 0,044 мм. Затем были приготовлены суспензии, для чего к образцу массой 0,5 г добавили 50 мл дистиллированной воды и перемешали на магнитной мешалке в течение 10 минут. Такую суспензию готовили для каждого образца пирротинов в зависимости от pH среды: 5, 7, 9, 11, 13. Рентгенофазовые исследования проводились на установке DRON 2, 3.

Мокрые магнитную сепарацию проводили на электромагнитном сепараторе при напряженности поля от 40-80 кА/м (500-1000 Эрстед) и силе тока – от 0,25 до 2,0 А.

Флотационное обогащение проводили на лабораторной флотомашине ФЛ-237 объемом рабочей камеры 50 мл при Ж:Т равном 9:1.

Флотация проводилась без перечистных операций с применением стандартных флотореагентов. Использовались только свежеприготовленные реагенты. Использовали навеску ксантогената 50 мг. Приготовленный раствор медного купороса имел концентрацию 0,1%. На один опыт брали по 2-4 мл раствора каждого реагента.

#### Методика сульфидирующего обжига промпродукта

Сульфидирующий обжиг свинцово-цинковых хвостов флотации проводился в вакууме. Опыты проводились с навесками  $10 \times 10^{-3}$  кг в неподвижном слое в эклектической печи Zhengzhou Brother Furnace Co. Ltd (BR-17AM-5) в вакууме при давлении – 0,05 МПа, схема установки приведена на рис. 1. Время выдержки навески образцов в печи составляло от 15 до 60 мин; температура варьировалась от 400 до 900°C. Охлаждение пробы производилось под вакуумом. Контролировался вес пробы после разложения, и содержание железа и серы в обработанном продукте.

В результате исследований установлено, что в вакууме при продолжительности процесса разложения 30 мин удается отогнать до 84-87% лабильной серы пирита.

#### Результаты и их обсуждение

В общем виде механизм сульфидирования окисленных минералов пиритом описывается уравнением:



В работе получена зависимость полноты разложения пирита в вакууме от температуры; максимальное извлечение лабильной серы в газ достигается при температуре 800-850°C, при соотношении  $Fe/S$  в огарке – 1,47-1,46 (табл. 1).

Рентгенофазовые исследования продуктов сульфидирования оксида свинца показывают, что в процессе сульфидирования образуются промежуточные сульфаты свинца, сульфидирование проходит по схеме  $PbO \rightarrow PbO \times PbSO_4 \rightarrow PbSO_4 \rightarrow PbS$ .

Рентгенофазовые исследования продуктов сульфидирования оксида цинка показывают, что в процессе сульфидирования образуются сульфиды цинка по схеме  $ZnO \rightarrow ZnS$ .

Таблица 2

**Извлечение железа, серы, цинка и свинца в продукты магнитного обогащения огарков, полученных при обжиге хвостов при 800 °С, %**

**Кесте 2**

**800 °С кезінде қалдықтарды күйдіру кезінде алынған оттықтарды магнитті байыту өнімдеріне темір, күкірт, мырыш және қорғасын алу, %**

Table 2

**Extraction of iron, sulfur, zinc and lead into the products of magnetic enrichment of stubs obtained by firing tailings at 800 °С, %**

элемент	Т, °С / продолжительность обжига, мин							
	800/15		800/30		800/40		800/60	
	МФ	НМФ	МФ	НМФ	МФ	НМФ	МФ	НМФ
Fe	80,7	20,8	88,4	11,6	92,3	7,69	96,2	3,84
S	47,2	55,5	48,6	48,6	48,6	34,7	48,6	20,8
Zn	13,5	86,5	13,5	86,5	13,5	86,5	13,5	86,5
Pb	–	~100	–	~100	–	~100	–	~100

\*МФ – магнитная фракция; НМФ – немагнитная фракция.

Результаты рентгенофазовых исследований сфалерита показывает следующий состав: свободные зерна – 49%; из них размером от  $5,0 \times 10^{-6}$  до  $2,0 \times 10^{-5}$  м – 37%, от  $2,0 \times 10^{-5}$  до  $4,0 \times 10^{-5}$  м – 12%; сростки с пирротином – 19%; размер выделений сфалерита от  $5,0 \times 10^{-6}$  до  $2,0 \times 10^{-5}$  м, единичные зерна до  $4,0 \times 10^{-5}$  м, из них открытые – 12%, закрытые – 7%; сростки с пирротином и галенитом – 13%; размер сростков от  $4,0 \times 10^{-5}$  до  $8,0 \times 10^{-5}$  до  $8,0 \times 10^{-5}$  до  $1,2 \times 10^{-4}$  м, размер сфалерита до  $3,0 \times 10^{-5}$  м, преимущественно закрытые. Сульфид цинка представляет собой β-модификацию.

Установлено, что при обжиге промпродуктов флотации свинцово-цинковых руд с увеличением температуры от 550°C до 900°C степень сульфидирования цинка и свинца достигает 85-95% при 700-900°C. Процесс разложения карбонатов и диссоциация пирита не оказывают принципиального влияния на процесс сульфидирования. Полученные в результате сульфидирования и в результате разрушения сростков сульфиды обладают высокими флотационными свойствами. Пирит полностью замещается пирротином состава  $Fe_{0,892}S-Fe_{0,869}S$ .

Таким образом установлено, что оптимальными условиями сульфидирования окисленных соединений

свинца и цинка в вакууме являются: продолжительность 30-60 минут, температура 600-800°C. В данном интервале температур образуются пирротины состава  $Fe_{0,892}S-Fe_{0,869}S$  с максимально выраженными магнитными свойствами. Получаемые сульфиды свинца и цинка по свойствам максимально соответствуют аналогам природных сульфидов галенита и сфалерита [9-10].

Данные результаты указывают на возможность применения к термическому обработанному продукту методов обогащения.

#### Электрокинетические характеристики продуктов сульфидирования окисленных соединений свинца и цинка

Методом макроэлектрофореза проведено изучение электрокинетических характеристик продуктов сульфидирования. Величина  $\xi$ -потенциала продуктов сульфидирования оксида цинка имеет более отрицательное значение, чем для продуктов сульфидирования оксида свинца, что указывает на более высокую его гидрофобность. Значения  $\xi$ -потенциала для продуктов сульфидирования карбоната цинка близки к значениям величин  $\xi$ -потенциалов сульфидирования оксида цинка. Характер изменения  $\xi$ -потенциала от продолжительности имеет параболический вид для всех

температур в интервале 550-750°C (рис. 2). Сульфидирование карбоната цинка начинается после его разложения. Образующийся сульфид цинка соответствует сфалериту β-модификации.

При сульфидировании карбоната свинца элементной серой при температуре 650-700°C образуются сульфиды, имеющие высокую гидрофобность. При увеличении продолжительности сначала образуется некоторое количество сульфатной фазы, количество которой затем уменьшается практически до следов, возрастает количество образующегося сульфида.

### Измерение электрокинетических потенциалов методом макроэлектрофореза пирротинов различного состава

Для определения возможности флотационного разделения продуктов обжига пиритсодержащих материалов (промпродуктов флотационного обогащения) изучены электрокинетические характеристики пирротинов различного состава.

По результатам измерения электрокинетического потенциала суспензии пирротинов можно сделать следующие выводы:  $\xi$ -потенциал во всех пирротинах увеличивается при повышении pH от 5 до 13, электрофоретическая скорость также увеличивается при повышении pH от 5 до 13. С уменьшением содержания серы в пирротине  $\xi$ -потенциал уменьшается с  $-52,1$  мВ у пирротина  $Fe_{0,85}S$  до  $-40,8$  мВ у пирротина  $Fe_{0,89}S$  (рис. 3).

Таким образом, флотуемость пирротинов при уменьшении содержания серы в его составе снижается. Значит, учитывая, что  $\xi$ -потенциал сульфидов свинца и цинка равен  $-15,6$  и  $-13,8$ , возможно флотационное разделение низкосернистого пирротина и сульфидов цветных металлов.

Для определения технологических характеристик продуктов сульфидирования свинцово-цинковых хвостов флотации пиритным концентратом, были проведены исследования по переработке огарков, с последующим магнитным и флотационным обогащением огарка.

### Магнитное обогащение огарков

Литературные данные и наши исследования свидетельствуют о том, что получаемые в процессе термической диссоциации пирротины обладают магнитными свойствами и поэтому могут быть выделены в отдельный продукт путем магнитной сепарации. Как показали результаты исследований, при термической обработке промпродуктов флотации 95-98% пирита переходит в пирротин. Получены результаты выхода магнитного и немагнитного продуктов в зависимости от температуры и продолжительности обжига хвостов обогащения. Оптимальные условия – 700-800°C при продолжительности 30-40 минут, выход

немагнитной фракции составляет 85,02-69,6%, магнитной – 17-30,4%.

С повышением температуры выход магнитной фракции увеличивается. Если при 600°C выход магнитной фракции составляет 14,2-13,7%, то при 900°C – 37,6-33,0%. При высоких температурах (800-900°C) с увеличением продолжительности процесса более 30 минут выход магнитной фракции уменьшается с 36,5-37,6% при продолжительности обжига 15 минут до 30,4-32,5%. Это может быть связано с тем, что при увеличении продолжительности обжига возрастает степень газификации серы.

Извлечение железа в магнитные продукты повышается с увеличением



Рис. 1. Установка для сульфидирующего обжига, электрическая печь Zhengzhou Brother Furnace Co. Ltd (BR-17AM-5).

Сурет 1. Сульфидті күйдіруге арналған қондырғы, электр пеші Zhengzhou Brother Furnace Co. Ltd (BR-17AM-5).

Figure 1. Installation for sulphiding roasting, electric furnace Zhengzhou Brother Furnace Co. Ltd (BR-17AM-5).

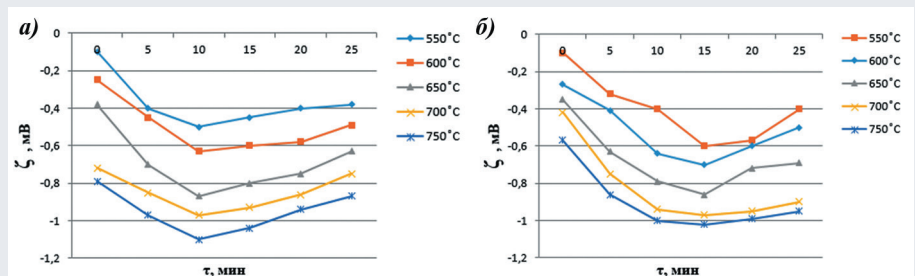


Рис. 2. Зависимость  $\xi$ -потенциала продуктов сульфидирования оксида (а) и карбоната (б) цинка от продолжительности.

Сурет 2. Сульфидтеу өнімдері оксидінің (а) және мырыш карбонатының (б)  $\xi$ -потенциалының ұзақтығына тәуелділігі.

Figure 2. Dependence of the  $\xi$ -potential of the sulfidation products of zinc oxide (a) and carbonate (b) on the duration.



продолжительности обжига при 800°C от 80,7% до 96,2% при этом извлечение серы остается на уровне 48,6%. Извлечение цинка в немагнитный продукт составляет 86,5% и *Pb* – 100% (табл. 2).

Полученные в процессе сульфидирования и в результате разрушения сростков сульфиды обладают высокими флотационными свойствами. В то же время, пирротин гидрофилен, он проявляет низкие флотационные свойства. Учитывая эту разницу в свойствах получаемых продуктов обжига, нами изучен процесс флотационного разделения соединений, составляющих немагнитную фракцию магнитного обогащения. Полученный немагнитный продукт подвергался флотации.

#### Флотационное обогащение немагнитной фракции

Результаты флотационного разделения немагнитных продуктов показали, что при повышении температуры и продолжительности обжига выход пенного продукта увеличивается. При температуре обжига 600°C выход пенного продукта составляет 36,82%, при 800°C – 53,89%.

Установлено, что содержание цветных металлов в пенном продукте увеличивается с повышением температуры и продолжительности

обжига хвостов обогащения. Так, при 600°C и 15 минут обжига содержание цинка в пенном продукте составляет 0,7%, при продолжительности обжига до 60 минут достигает 1,41%. При температуре обжига 800°C и продолжительности обжига 60 минут, содержание цинка составляет 6,7%, а свинца – 1,4%.

Сквозное извлечение элементов представлено в табл. 3. Установлено, что извлечение свинца и цинка в пенный продукт с повышением температуры и продолжительности обжига повышается. При 600°C извлечение цинка составляет до 60%, свинца 75%. Высокие показатели извлечения наблюдаются при высоких температурах, так, при температуре обжига 800°C извлечение цинка в пенный продукт достигает 90%,

свинца – 78%. Установлено, что сквозное извлечение цинка составляет 84,77%, свинца – 80%.

#### Выводы

Разработан механизм сульфидирования окисленных соединений свинца и цинка с достижением степени сульфидирования *Pb* и *Zn* до 95%.

Из результатов изучения электрокинетического потенциала суспензии пирротинов установлено, что  $\xi$ -потенциал во всех пирротинах увеличивается при повышении pH от 5 до 13, электрофоретическая скорость также увеличивается при повышении pH от 5 до 13. С уменьшением содержания серы в пирротине  $\xi$ -потенциал уменьшается с – 52,1 мВ у пирротина  $Fe_{0,85}S$  до – 40,8 мВ у пирротина  $Fe_{0,89}S$ . Таким образом, флотуемость пирротинов при уменьшении содержания серы в его составе снижается. Отработан режим мокрой магнитной сепарации с извлечением в магнитную фракцию до 95% магнитных пирротинов состава  $Fe_{0,892}S-Fe_{0,869}S$ .

Методом флотационного обогащения получены следующие результаты: выход пенного продукта в немагнитной фракции составляет 36,82-53,89%. С повышением температуры и продолжительности обжига хвостов обогащения содержание и извлечение цинка и свинца в пенный продукт увеличиваются.

Сквозное извлечение из хвостов обогащения в пенный продукт при проведении флотации в прямом одностадийном цикле цинка достигает более 84% и около 80% свинца; содержание в пенном продукте *Zn* достигает до 6,7%, а *Pb*

Таблица 3

Сквозное извлечение элементов, %

Кесте 3

Элементтерді үздіксіз бөліп алу арқылы, %

Table 3

End-to-end extraction of elements, %

Элементы	Температура, К / продолжительность, минут							
	873-15	873-30	873-45	873-60	1073-15	1073-30	1073-45	1073-60
<i>Zn</i>	35,47	50,95	50,95	51,90	74,39	74,39	81,66	84,77
<i>Pb</i>	50,0	56,70	66,70	75,0	60,0	70,0	75,0	80,0

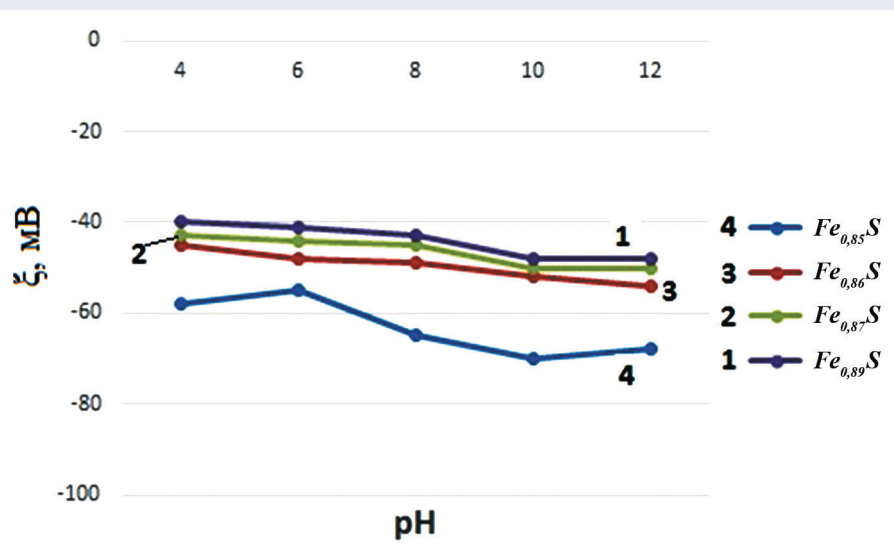


Рис. 3. Изменение электрокинетического потенциала суспензии пирротинов различного состава в зависимости от pH среды.

Сурет 3. pH ортасына байланысты әртүрлі құрамдағы пирротиндер суспензиясының электрокинетикалық потенциалының өзгеруі.

Figure 3. Change in the electrokinetic potential of a suspension of pyrrhotines of different composition depending on the pH of the medium.

до 1,4% при исходном содержании в хвостах 0,38% Zn и 0,08% Pb.

Разработана гибридная технология сульфидирующего обжига цинк-

и свинецсодержащих промпродуктов обогащения ТОО «Казцинк».

Данная технология переработки окисленных хвостов обогащения,

содержащих цинк и свинец, может быть рекомендована не только для казахстанских техногенных месторождений, но и для зарубежных.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Min Xiao-bo, Jiang Guang-hua, Wang Yun-yan, Zhou Bo-sheng, Xue Ke, Ke Yong, Xu Qiu-jing. Сульфидный обжиг остатка выщелачивания цинка с помощью пирита для извлечения цинка и железа. // Журнал Центрального Южного университета. – 2020. – С. 356-368 (на английском языке)
2. Chepushtanova T.A., Luganov V.A., Mamyrbayeva K., Mishra B. Механизм неокислительного и окислительного выщелачивания пирротина. // Полезные ископаемые и металлургическая переработка. – 2012. – Вып. 29. – №3. – С. 159-164 (на английском языке)
3. Chepushtanova T.A., Luganov V.A., Ermolayev V.N., Mishra B., Gyseinova G.D. Исследование магнитных и флотационных свойств синтезированного гексагонального пирротина. // Обзор переработки полезных ископаемых и добывающей металлургии. – 2015. – Вып. 36. – №4. – С. 237-241 (на английском языке)
4. Haisheng Han, Wei Sun, Yuehua Hu, Baoliang Jia, Honghu Tang. Извлечение англезита и серебра из остатков ярозита путем обжига и сульфидизации – флотации в гидрометаллургии цинка // Журнал опасных материалов. – 2014. – Вып. 278. – С. 49-54. (на английском языке)
5. Luo L., Zhang X., Wang H., Zheng B., Wei C. Сравнение стратегий обогащения железа из Zn- и Pb-содержащих тугоплавких железных руд с использованием восстановительного обжига – магнитной сепарации. // Порошковая технология. – 2021. – №393. – С. 333-341 (на английском языке)
6. Bendz D., Tiberg C., Kleja D.B. Минералогическая характеристика и видообразование серы, цинка и свинца в пиритном шлаке из Бергвика, Швеция. // Прикладная геохимия. – 2021. – №131(34). – С. 105010 (на английском языке)
7. Zheng Y.-X., Ning J., Liu W., Lü J.-F., Pang J. Поведение реакций сульфатов Pb и Zn при восстановительном обжиге остатка выщелачивания Zn и флотации искусственных сульфидных минералов. // Международный журнал минералов, металлургии и материалов. – 2021. – №28(3). – С. 358-366 (на английском языке)
8. Banerjee P., Jain P.K. Механизм сульфидирования мелких наночастиц оксида цинка. // Достижения RSC. – 2018. – №8(60). – С. 34476-34482 (на английском языке)
9. Dworzanowski M. Максимальное извлечение мелкодисперсной железной руды с использованием магнитной сепарации. // Журнал Южно-Африканского института горного дела и металлургии. – 2012. – Вып. 112. – С. 197-202 (на английском языке)
10. Xi-qing Wu, Xin Xie, Yang-fan Cao. Самомагничивание пирита и его применение во флотации. // Сделки Общества цветных металлов Китая. – 2016. – №26. – С. 3238-3244 (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Min Xiao-bo, Jiang Guang-hua, Wang Yun-yan, Zhou Bo-sheng, Xue Ke, Ke Yong, Xu Qiu-jing. Мырыш пен темірді алу үшін пирит көмегімен мырышты шаймалау қалдықтарын сульфидті күйдіру. // Орталық Оңтүстік университетінің журналы. – 2020. – Б. 356-368. (ағылшын тілінде)
2. Chepushtanova T.A., Luganov V.A., Mamyrbayeva K., Mishra B. Пирротинді тотықтырмайтын және тотықтырғыш шаймалау механизмі. // Пайдалы қазбалар және металлургиялық өңдеу. – 2012. – Шығ. 29. – №3. – Б. 159-164 (ағылшын тілінде)
3. Chepushtanova T.A., Luganov V.A., Ermolayev V.N., Mishra B., Gyseinova G.D. Синтезделген алтыбұрышты пирротиннің магниттік және флотациялық қасиеттерін зерттеу. // Пайдалы қазбаларды өңдеу және тау-кен металлургиясына шолу. – 2015. – Шығ. 36. – №4. – Б. 237-241 (ағылшын тілінде)
4. Haisheng Han, Wei Sun, Yuehua Hu, Baoliang Jia, Honghu Tang. Мырыштың гидрометаллургиясында күйдіру және сульфидизациялау-флотациялау жолымен

- ярозит қалдықтарынан англезит пен күмісті алу. // Қауіпті материалдар журналы – 2014. – Шығ. 278. – Б. 49-54 (ағылшын тілінде)
5. Luo L., Zhang X., Wang H., Zheng B., Wei C. Zn- және Pb-құрамында отқа төзімді темір кендерінен темірді байыту стратегияларын қалпына келтіретін отты магниттік бөлуді қолдана отырып салыстыру. // Ұнтақ технологиясы. – 2021. – №393. – Б. 333-341 (ағылшын тілінде)
  6. Bendz, D., Tiberg, C., Kleja, D.B. Бергвиктен, Швеция пирит қожындағы күкірттің, мырыштың және қорғасынның минералогиялық сипаттамасы және ерекшелігі. // Қолданбалы геохимия. – 2021. – №131(34). – Б. 105010 (ағылшын тілінде)
  7. Zheng Y.-X., Ning J., Liu W., Lü J.-F., Pang J. Pb және Zn сульфаттарының реакцияларының әрекеті Zn сілтісіздендіру қалдықтарын қалпына келтіру және жасанды сульфидті минералдардың флотациясы. // Минералдардың, металлургияның және материалдардың халықаралық журналы. – 2021. – №28(3). – Б. 358-366 (ағылшын тілінде)
  8. Banerjee P., Jain P.K. Мырыш оксидінің ұсақ нанобөлшектерін сульфидтеу механизмі. // RSC жетістіктері. – 2018. – №8(60). – Б. 34476-34482 (ағылшын тілінде)
  9. Dworzanowski M., Магнитті сепарацияны қолдана отырып, ұсақ дисперсті темір кенін максималды шығару. // Оңтүстік Африка тау-кен және металлургия институтының журналы. – 2012. – Шығ. 112. – Б. 197-202 (ағылшын тілінде)
  10. Xi-qing Wu, Xin Xie, Yang-fan Cao. Пириттің өздігінен магниттелуі және оны флотацияда қолдану. // Қытай түсті металдар қоғамының мәмілелері. – 2016. – №26. – Б. 3238-3244 (ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Min Xiao-bo, Jiang Guang-hua, Wang Yun-yan, Zhou Bo-sheng, Xue Ke, Ke Yong, Xu Qiu-jing. Sulfidation roasting of zinc leaching residue with pyrite for recovery of zinc and iron. // Journal of Central South University. – 2020. – Б. 356-368 (in English)
2. Chepushtanova T.A., Luganov V.A., Mamyrbayeva K., Mishra B. Mechanism of nonoxidizing and oxidative pyrrhotites leaching. // Minerals & Metallurgical Processing Journal. – 2012. – Vol. 29. – №3. – P. 159-164 (in English)
3. Chepushtanova T.A., Luganov V.A., Ermolayev V.N., Mishra B., Gyseinova G.D. Investigation of the magnetic and flotation properties of synthesized hexagonal pyrrhotites. // Mineral processing and extractive metallurgy review. – 2015. – Vol. 36. – №4. – P. 237-241 (in English)
4. Haisheng Han, Wei Sun, Yuehua Hu, Baoliang Jia, Honghu Tang. Anglesite and silver recovery from jarosite residues through roasting and sulfidization-flotation in zinc hydrometallurgy. // Journal of Hazardous Materials. – 2014. – Vol. 278. – P. 49-54 (in English)
5. Luo L., Zhang X., Wang H., Zheng B., Wei C. Comparing strategies for iron enrichment from Zn- and Pb-bearing refractory iron ore using reduction roasting-magnetic separation. // Powder Technology. – 2021. – №393. – P. 333-341 (in English)
6. Bendz D., Tiberg C., Kleja D.B. Mineralogical characterization and speciation of sulfur, zinc and lead in pyrite cinder from Bergvik, Sweden. // Applied Geochemistry. – 2021. – №131(34). – P. 105010 (in English)
7. Zheng Y.-X., Ning J., Liu W., Lü J.-F., Pang J. Reaction behaviors of Pb and Zn sulfates during reduction roasting of Zn leaching residue and flotation of artificial sulfide minerals. // International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. – 2021. – №28(3). – P. 358-366 (in English)
8. Banerjee P., Jain P.K. Mechanism of sulfidation of small zinc oxide nanoparticles. // RSC Advances. – 2018. – №8(60). – P. 34476-34482 (in English)
9. Dworzanowski M. Maximizing the recovery of fine iron ore using magnetic separation. // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2012. – Vol. 112. – P. 197-202 (in English)
10. Xi-qing Wu, Xin Xie, Yang-fan Cao. Self-magnetization of pyrite and its application in flotation. // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2016. – №26. – P. 3238-3244 (in English)



**Сведения об авторах:**

**Чепуштанова Т.А.**, PhD, канд. техн. наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [t.chepushtanova@satbayev.university](mailto:t.chepushtanova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-6526-0044>

**Меркибаев Е.С.**, магистр техники и технологии, заведующий лабораторией кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [y.merkibayev@satbayev.university](mailto:y.merkibayev@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-3869-6835>

**Мотовилов И.Ю.**, PhD, ассистент профессора кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [i.motovilov@satbayev.university](mailto:i.motovilov@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-0716-402X>

**Поляков К.В.**, главный специалист исследовательского центра Усть-Каменогорского металлургического комплекса Товарищества с ограниченной ответственностью «Казцинк» (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), [KPolyakov@kazzinc.com](mailto:KPolyakov@kazzinc.com); <https://orcid.org/0000-0003-1182-2256>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Чепуштанова Т.А.**, PhD, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Satbayev University, «Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар технологиясы» кафедрасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

**Меркибаев Е.С.**, техника ғылымдары магистрі, Satbayev University, «Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар технологиясы» кафедрасының зертхана меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

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

**Поляков К.В.**, «Казцинк» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің, Өскемен металлургия кешені зерттеу орталығының бас маманы (Өскемен қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Chepushtanova T.A.**, PhD, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head at the Department «Metallurgical Processes, Heat Engineering and Technology of Special Materials» of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Merkibayev Ye.S.**, Master's degree, Head of Laboratories at the Department «Metallurgical Processes, Heat Engineering and Technology of Special Materials» of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

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

**Polyakov K.V.**, Chief Specialist at the Research Center of the Ust-Kamenogorsk Metallurgical Complex of the Limited Liability Partnership «Kazzinc» (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Код МРНТИ 53.03.13

И.К. Умарова, О.Г. Хайитов

Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова (г. Ташкент, Узбекистан)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ МИНЕРАЛОВ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

**Аннотация.** Для изучения вещественного состава горючих сланцев проведены спектральный, химический и минералогический анализы. В качестве методов обогащения исходных сланцев приняты гравитационные, флотационные, пирометаллургические и гидрометаллургические. Результаты анализа гравитационного обогащения на концентрационном столе показывают, что извлечение сульфидов низкое. По результатам опытов флотации видно, что флотационным методом разделение органических компонентов в горючих сланцах не достигается. Пирометаллургические исследования проводились при конечных температурах 350°C, 550-600°C, 850-900°C с выдержкой времени 10-15 минут после окончания выделения жидкой фазы пиролиза. Результаты пирометаллургических исследований показывают, что максимальное извлечение изучаемых элементов достигается при выщелачивании золы.

**Ключевые слова:** сланец, месторождения, нефть, газ, органические компоненты, гравитация, флотация, пирометаллургия, гидрометаллургия, пирит.

### Жангыш тактатастарды кешенді өңдеу кезінде сульфидті минералдарды алу мүмкіндігін зерттеу

**Аңдатпа.** Жангыш тактатастардың заттық құрамын зерттеу үшін спектрлік, химиялық және минералогиялық талдаулар жүргізілді. Бастапқы тактатастарды байыту әдістері ретінде гравитациялық, флотациялық, пирометаллургиялық және гидрометаллургиялық зерттеу әдістері қабылданды. Концентрациялық үстелдегі гравитациялық байытуды талдау нәтижелері сульфидтердің шығарылуының төмен екенін көрсетеді. Флотация тәжірибелерінің нәтижелері бойынша флотация әдісімен жангыш тактатастарда органикалық компоненттерді бөлу байқалмағаны байқалады. Пирометаллургиялық зерттеулер пиролиздің сұйық фазасын бөлу аяқталғаннан кейін 350°C, 550-600°C, 850-900°C соңғы температураларда 10-15 минут уақыт ұстамдылығымен жүргізілді. Пирометаллургиялық зерттеулердің нәтижелері зерттелетін элементтердің максималды шығарылуына күлді шаймалау арқылы қол жеткізілетіндігін көрсетеді.

**Түйінді сөздер:** шифер, кен орындары, мұнай, газ, органикалық компоненттер, ауырлық, флотация, пирометаллургия, гидрометаллургия, пирит.

### Investigation of the possibility of extraction of sulfide minerals in the complex processing of oil shales

**Abstract.** Spectral, chemical and mineralogical analyzes were carried out to study the material composition of oil shale. Gravity, flotation, pyrometallurgical and hydrometallurgical research methods are adopted as methods of enrichment of the initial shale. The results of the concentration table gravity analyzes show that the recovery of sulfides is low. According to the results of flotation experiments, it can be seen that the separation of organic components in oil shale is not observed by the flotation method. Pyrometallurgical studies were carried out at final temperatures of 350 °C, 550-600 °C, 850-900 °C with a time delay of 10-15 minutes after the end of the separation of the liquid phase of pyrolysis. The results of pyrometallurgical studies show that the maximum extraction of the studied elements is achieved with ash leaching.

**Key words:** oil shale, deposits, oil, gas, organic components, gravity, flotation, pyrometallurgy, hydrometallurgy, pyrite.

### Введение

Нефть и природный газ в настоящее время являются основными видами сырья для энергетики и химической промышленности. Вместе с тем, постоянный рост энергопотребления, увеличение цен на энергоресурсы, истощение традиционных нефтяных и газовых запасов, высокие инвестиционные затраты на создание инфраструктуры на вводимых в эксплуатацию месторождениях и увеличение расходов на транспортировку требуют расширения сырьевой базы и совершенствования технологий переработки. Поэтому, наряду с разработками в области энерго- и ресурсосберегающих технологий, все большее внимание уделяется поиску новых источников углеводородного сырья и его переработке<sup>1, 2</sup> [1]. С этой точки зрения большую ценность представляют твердые горючие ископаемые (ТГИ), в первую очередь, уголь и горючие сланцы. Горючие сланцы являются одним из перспективных видов органического сырья, которые могут в значительной степени компенсировать, а в будущем и заменить нефтепродукты и газ. В отличие от других видов ТГИ, горючие сланцы содержат значительное количество водорода в органическом веществе. Возможность получения из горючих сланцев жидких и газообразных

### Таблица 1 Результаты химического анализа горючего сланца Байсунского месторождения

Кесте 1  
Байсын кен орнының жангыш тактатасын химиялық талдау нәтижелері

### Table 1 Results of chemical analysis of the oil shale of the Baysun deposit

Элементы	Содержание, %	Элементы	Содержание, %
SiO <sub>2</sub>	27,53	K <sub>2</sub> O	1,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,23
FeO	1,98	S <sub>общ</sub>	3,32
TiO <sub>2</sub>	0,29	ППП	42,26
MnO	0,075	Сумма	99,71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,04	CO <sub>2</sub>	3,74
CaO	8,12	SO <sub>3</sub>	2,16
MgO	1,2	H <sub>2</sub> O	3,7
Na <sub>2</sub> O	0,26		

<sup>1</sup>Попов В.С., Борминский С.И., Макейчева Н.А. и др. Разработка комплексной безотходной технологии переработки эоценовых горючих сланцев Южного и Западного Узбекистана. – Ташкент, 2007. – 232 с.

<sup>2</sup>Разработка и использование горючих сланцев. // Труды 1 симпозиума ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев. – Таллин, 2000. – Вып. 59. – 390 с.

**Таблица 2**  
**Результаты химического анализа горючего сланца**  
**Актауского месторождения**

**Кесте 2**  
**Ақтау кен орнының жанғыш тақтасын**  
**химиялық талдау нәтижелері**

**Table 2**  
**Results of chemical analysis of the Aktau**  
**oil shale deposit**

Элементы	Содержание, %	Элементы	Содержание, %
$SiO_2$	43,6	$K_2O$	1,27
$Fe_2O_3$	3,15	$P_2O_5$	0,8
$FeO$	2,52	$S_{общ}$	2,72
$TiO_2$	0,69	ППП	24,56
$MnO$	0,035	Сумма	99,435
$Al_2O_3$	12,45	$CO_2$	0,66
$CaO$	2,8	$SO_3$	0,7
$MgO$	4,5	$H_2O$	5
$Na_2O$	0,34		

углеводородов, близких по составу и свойствам к нефтепродуктам и природному газу, позволяет рассматривать их как важные стратегические ресурсы.

Горючие сланцы являются многокомпонентным сырьем, состоящим как из органического вещества (керогена), так и из неорганической части, представленной в основном силикатными минералами и сульфидами [2].

Целью проведенных исследований является разработка экономически эффективных и экологически безвредных технологических процессов выделения сульфидных минералов при комплексной переработке горючих сланцев на основе изучения поведения составляющих горючих сланцев в условиях гравитационных, флотационных, пирометаллургических и гидрометаллургических исследований<sup>3</sup>.

Объектом исследования служили горючие сланцы Байсунского (Сурхандарьинская область) и Актауского месторождений (Навоийская область).

#### Методика исследования

Пробы представляют собой послойный пластинчатый шайбообразный достаточно твердый материал. Представленный сланец черно-серого цвета, тонкозернистый, легкоизмельчаемый материал типичной сланцевой текстуры. Материалы для проведения исследования измельчались до  $-0,315+0,0$  мм и  $-0,5+0,0$  мм.

Для изучения вещественного состава горючих сланцев проведены спектральный, химический и минералогический анализы. Результаты химического анализа исследуемой пробы руды, выполненного в химической лаборатории ГП «НИИМР», приведены в табл. 1-2.

В результате минералогического анализа выявлено, что в пробах присутствуют рудные минералы:

пирит, мельниковит-пирит, пиролюзит, арсенопирит, гидроксиды железа.

В качестве методов обогащения исходных сланцев использовались гравитационные, флотационные, пирометаллургические и гидрометаллургические<sup>4</sup> [3, 4].

Гравитационное обогащение сланца проводилось на лабораторном концентрационном столе марки ЗОКС. Перед обогащением исходный сланец измельчали в лабораторной мельнице марки  $200 \times 300$  75А-МЛ при весовом соотношении Т:Ш = 1:8. В опытах варьировалась крупность материала, обогащаемого на столе.

Флотация осуществлялась в лабораторных флотомашинах 240-ФЛА с камерой емкостью 3 л, конструкции «Геоприборцветмет» с камерой емкостью 1 л.

Пирометаллургические исследования осуществлялись в реторте Фишера и муфельной печи.

**Таблица 3**  
**Результаты опытов гравитационного обогащения**  
**пробы Байсунского месторождения крупностью**  
 **$-0,315 + 0$  мм**

**Кесте 3**  
**Байсун кен орнының ірілігі  $-0,315 + 0$  мм сынамасын**  
**гравитациялық байыту тәжірибелерінің**  
**нәтижелері**

**Table 3**  
**Results of experiments on gravitational enrichment**  
**of a sample of the Baysun deposit with**  
**a size of  $-0,315 + 0$  mm**

Продукты обогащения	Выход	
	г	%
Концентрат	211	0,98
Промпродукт	2340	10,90
Хвосты	13340	62,13
Шламы	5579	25,99
Руда (21500 г)	21470	100,00

**Таблица 4**  
**Результаты опытов гравитационного обогащения**  
**пробы Байсунского месторождения крупностью**  
 **$-0,5 + 0$  мм**

**Кесте 4**  
**Байсун кен орнының ірілігі  $-0,5 + 0$  мм**  
**сынамасының гравитациялық байыту**  
**тәжірибелерінің нәтижелері**

**Table 4**  
**The results of experiments of gravity enrichment**  
**of a sample of the Baysun deposit with**  
**a size of  $-0,5 + 0$  mm**

Продукты обогащения	Выход	
	г	%
Концентрат	136	2,83
Промпродукт	463	9,65
Хвосты	4200	87,52
Руда (5000 г)	4799	100,00

<sup>3</sup>Горючий сланец [электронный ресурс]: <https://www.geolib.net/>

<sup>4</sup>Turner T. YPF Raises Argentina Shale Oil Resources To 22.8 Bln Barrels. // The Wall Street Journal. – 2012 (February 8) [electronic resource]



**Таблица 5**  
**Результаты опытов флотации с перечистками пенного продукта**

**Кесте 5**  
**Көбікті өнімді қайта тазалаумен флотация тәжірибелерінің нәтижелері**

**Table 5**  
**Results of flotation experiments with re-cleaning of the foam product**

Продукты обогащения	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Mo	V	Mo	V
<b>Исходный горючий сланец</b>					
Концентрат	2,2	0,096	0,240	2,8	2,6
Промпродукт 2	5,4	0,086	0,200	6,1	5,4
Промпродукт 1	20,8	0,081	0,231	22,3	24
Хвосты	71,6	0,073	0,190	68,8	68
Исх. сланец	100	0,076	0,200	100,0	100
<b>Кокс</b>					
Концентрат	5,8	0,216	0,540	12,3	11,2
Промпродукт 2	6,9	0,07	0,252	4,7	6,2
Промпродукт 1	7,1	0,052	0,209	3,6	5,3
Хвосты	80,2	0,101	0,270	79,4	77,3
Исх. сланец	100	0,102	0,280	100,0	100
<b>Шлак</b>					
Концентрат	1,2	0,55	0,452	8,8	1,9
Промпродукт 2	2	0,085	0,383	2,7	2,6
Промпродукт 1	12,9	0,077	0,378	13,3	16,8
Хвосты	83,9	0,067	0,272	75,2	78,7
Исх. сланец	100	0,075	0,290	100,0	100

Опыт гравитационного обогащения руды был проведен по схеме: сланец дробился и измельчался до класса  $-0,5; -0,315$  мм и обогащался на концентрационном столе. Результаты опытов приведены в табл. 3-4. Извлечение сульфидов Байсунского месторождения по классу крупности  $-0,315+0$  мм составило 10,65%, по классу крупности  $-0,5+0$  мм – 22,12%; Актауского месторождения при крупности  $-0,5+0$  мм – 13,98%.

Результаты анализа гравитационного обогащения на концентрационном столе показывают, что извлечение сульфидов низкое. Удельный вес горючего сланца от 1,9-2,1 г/см<sup>3</sup>. Из-за незначительной разницы в удельном весе между ценным компонентом и породой разделение незначительное и проба легко смывается потоками воды<sup>5</sup> [5].

Опыты флотации изучаемых продуктов проводились с керосином и вспенивателем Т-80. Руда измельчалась до различной крупности. Результаты опытов показаны в табл. 5. Навеска исходного материала в опытах составляла 200 г.

При комплексной переработке горючих сланцев месторождений Байсун и Актау целесообразно использовать пирометаллургические и гидрометаллургические методы обогащения.

#### Результаты

По результатам опытов видно, что флотационным методом разделения органических компонентов в горючих сланцах не происходит.

По результатам данной серии опытов можно сделать вывод, что максимальное извлечение органических соединений получено при подаче собирателя 512 г/т и вспенивателя 288 г/т. Результаты опытов флотации приведены в табл. 5.

Пирометаллургические исследования проводились на лабораторной установке «реторта Фишера»<sup>6</sup>. Установка позволяет проводить обжиг сырья без доступа воздуха с улавливанием жидкой фракции путем конденсации возгонов. Каждую пробу разделили на 3 части по 50 г (класс крупности – 10 мм) и на установке проводили эксперименты при конечных

**Таблица 6**  
**Результаты пиролиза, проведенные при средних температурных режимах (350°C)**

**Кесте 6**  
**Орташа температуралық режимдерде (350°C) жүргізілген пиролиз нәтижелері**

**Table 6**  
**Pyrolysis results carried out at medium temperature conditions (350°C)**

Месторождения	Навеска, г	Выход				
		Жидкая фаза		Полукокс		Газ. фаза
		г	%	г	%	
Байсун	50	5,0	10,0	40,2	80,4	9,6
Актау	50	5,4	10,8	42,1	84,2	5,0

**Таблица 7**  
**Результаты пиролиза, проведенные при высоких температурных режимах (550-600°C)**

**Кесте 7**  
**Жоғары температура жағдайында жүргізілген пиролиз нәтижелері (550-600°C)**

**Table 7**  
**Pyrolysis results carried out at high temperature conditions (550-600°C)**

Месторождения	Навеска, г	Выход				
		Жидкая фаза		Полукокс		Газ. фаза
		г	%	г	%	
Байсун	50	7,7	15,4	35,2	70,4	14,2
Актау	50	8,6	17,2	37,9	75,8	7,0

<sup>5</sup>Carolus M., Crawford P., Mohan H., Biglarbigi K. Economics, barriers and risks of oil shale development in the United States. // USAEE. – 2008 [electronic resource]

<sup>6</sup>US Energy Information Administration. // Review of Emerging Resources U.S. Shale Gas and Shale Oil. – 2011 (July) [electronic resource]

<sup>7</sup>Kulkarny P. Woodford growing revenues by farming to oily shale. // Global Data. – 2012 (Jan.) [electronic resource]

температурах 350°C; 550-600°C; 850-900°C с выдержкой времени 10-15 мин после окончания выделения жидкой фазы пиролиза<sup>8,9</sup>. Результаты (табл. 6-8) показывают, что максимальное извлечение изучаемых элементов достигается при выщелачивании золы, несколько ниже показатели при выщелачивании полукокса.

#### Заключение

При комплексной переработке горючих сланцев месторождений Байсун и Актау определена целесообразность использования пирометаллургических и гидрометаллургических методов обогащения:

1) термическое разложение без доступа воздуха исходных горючих сланцев при температуре 550-600°C для выделения органических компонентов;

2) окислительный обжиг полукокса при температуре 850°C с целью разложения остаточных сульфидов.

Таблица 8

Результаты пиролиза, проведенные при высоких температурных режимах (850-900°C)

Кесте 8

Жоғары температура жағдайында жүргізілген пиролиз нәтижелері (850-900°C)

Table 8

Pyrolysis results carried out at high temperature conditions (850-900°C)

Месторождения	Навеска, г	Выход				
		Жидкая фаза		Полукокс		Газ. фаза
		г	%	г	%	
Байсун	50	6,2	12,4	32,7	65,4	22,2
Актау	50	7,5	15,0	32,9	65,8	19,2

<sup>8</sup>Salameh, a technical expert with the United Nations Industrial Development Organisation in Vienna. Jordan may start oil shale production by 2015. // *Gulf in the Media*. – 2012 (May 19) [electronic resource]

<sup>9</sup>Горючие сланцы: пер. с англ. – Л.: Недра, 2016. – 262 с.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лapidус А.Л., Стрижакова Ю.А. Горючие сланцы – альтернативное сырье для химии. // *Вестник Российской академии наук*. – 2004. – №9. – С. 823-829 (на русском языке)
2. Асаулов С. Нетрадиционные источники углеводородов: сланцевый пузырь или сланцевая революция? // *ROGTEC*. – 2014. – Вып. 32. – С. 52-61 (на русском и английском языках)
3. Beckwith R. Дразнящее обещание сланцевой нефти. // *Журнал нефтяных технологий* – 2015. – №64(01). – С. 30-36 (на английском языке)
4. Covell J. Экологический обзор отдельных технологий добычи сланцевой нефти. // *Материалы 28-го симпозиума по горючим сланцам*. – Голден: Горная школа штата Колорадо. – 2008. – С. 126-134 (на английском языке)
5. Cleveland C.J., O'Connor P.A. Рентабельность инвестиций в энергетику (EROI) сланцевой нефти. // *Устойчивость*. – 2011. – №3. – С. 2307-2322 (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Лapidус А.Л., Стрижакова Ю.А. Жанғыш тақтатас тар – химияға балама шикізат. // *Ресей Ғылым академиясының хабаршысы*. – 2004. – №9. – Б. 823-829 (орыс тілінде)
2. Асаулов С. Көмірсутектердің дәстүрлі емес көздері: тақтатас көпіршігі немесе тақтатас төңкерісі? // *ROGTEC*. – 2014. – Шығ. 32. – Б. 52-61 (орыс және ағылшын тілдерінде)
3. Beckwith R. Тақтатас мұнайының уәдесі. // *Мұнай технологиялары журналы*. – 2015. – №64(01). – Б. 30-36 (ағылшын тілінде).
4. Covell J. Тақтатас мұнай өндірісінің жекелеген технологияларына экологиялық шолу. // *Жанғыш тақтатас тар бойынша 28-ші симпозиум материалдары*. – Голден: Колорадо тау мектебі. – 2008. – Б. 126-134 (ағылшын тілінде).
5. Cleveland C.J., O'Connor P.A. Тақтатас мұнайының энергетикасына (EROI) инвестициялардың рентабельділігі. // *Тұрақтылық*. – 2011. – №3. – Б. 2307-2322 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Lapidus A.L., Strizhakova Yu.A. Goryuchie slancy – al'ternativnoe syr'e dlya khimii [Oil shales – alternative raw materials for chemistry]. // *Vestnik Rossijskoj akademii nauk = Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. – 2004. – №9. – P. 823-829 (in Russian)

2. *Asaulov S. Netradicionnye istochniki uglevodorodov: slancevyj puzyr' ili slancevaya revolyuciya? [Unconventional sources of hydrocarbons: a shale bubble or a shale revolution?]. // ROGTEC. – 2014. – Vol. 32. – P. 52-61 (in Russian and English)*
3. *Beckwith R. The Tantalizing Promise of Oil Shale. // Journal of Petroleum Technology. – 2015. №64(01). – P. 30-367 (in English)*
4. *Covell J. Environmental review of selected oil shale technologies. // Proceedings of 28th Oil Shale Symposium. – Golden: Colorado School of Mines, 2008. – P. 126-134 (in English)*
5. *Cleveland C.J., O'Connor P.A. Energy Return on Investment (EROI) of Oil Shale. // Sustainability. – 2011. – №3. – 2307-2322 (in English)*

#### Сведения об авторах

**Хайитов О.Г.**, д-р геол.-минерал. наук, доцент, академик Академии наук Турон, заведующий кафедрой «Горное дело» Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова (г. Ташкент, Узбекистан), [o\\_hayitov@mail.ru](mailto:o_hayitov@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-7735-5980>

**Умарова И.К.**, канд. хим. наук, доцент кафедры «Горное дело» Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова (г. Ташкент, Узбекистан), [inoyat.umarova@tdtu.uz](mailto:inoyat.umarova@tdtu.uz); <https://orcid.org/0000-0001-5190-3400>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Хайитов О.Г.**, геология-минералогия ғылымдарының докторы, доцент, Турон Ғылым Академиясының академигі, Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, «Тау-кен ісі» кафедрасының меңгерушісі (Ташкент қ., Өзбекстан)

**Умарова И.К.**, химия ғылымдарының кандидаты, Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, «Тау-кен ісі» кафедрасының доценті (Ташкент қ., Өзбекстан)

#### Information about the authors

**Khayitov O.G.**, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Academician of the Turon Academy of Sciences, Head at the Department of Mining of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov (Tashkent, Uzbekistan)

**Umarova I.K.**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor at the Department of Mining of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov (Tashkent, Uzbekistan)



## ОТКРЫТА ПОДПИСКА

КАЗПОЧТА ЕВРАЗИЯ ПРЕСС ЭВРИКА-ПРЕСС

Подписной индекс 75807

Заявка на главной странице сайта [MINMAG.KZ](http://MINMAG.KZ)

Следите за новостями!



[minmag.kz](http://minmag.kz)



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

+7 747 343 15 02

[post-dts@yandex.kz](mailto:post-dts@yandex.kz)

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





Код МРНТИ 52.01.77

O. Sdvyzhkova<sup>1</sup>, D. Babets<sup>1</sup>, V. Pilyugin<sup>2</sup>, D. Akhmetkanov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Technical University «Dnipro Polytechnic» (Dnipro, Ukraine),  
<sup>2</sup>Joint-Stock Company «DTEK» (Kyiv, Ukraine), <sup>3</sup>Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

## MATHEMATICAL MODELING ROADWAY STABILITY BEHIND A LONGWALL FACE IN WEAK ROCKS

**Abstract.** This paper is focused on substantiating the effective technological scheme that provides stability of reusable mining excavations. Traditionally, the efficiency of the mining technique is proved by in situ experience. The lack of results obtained in situ can be partially compensated by mathematical modeling of the geomechanical system, in particular, a numerical simulation presented in this paper. The finite element analysis of the stress-strain state of the rock mass around excavation with the sequential implementation of all technological stages was conducted to substantiate the parameters of the timber packwall. The simulation results show that the technically achievable increase in the stiffness of the timber packwall at the conjugation of longwall and gate road allows decreasing by 12-15% the loss of the cross-section area of the excavation and increase its ability of reuse.

**Key words:** rock mass, excavation stability, mathematical modeling, numerical simulation, stress-strain state, failure zone, rockbolts, cable bolt, excavation reuse, finite element method, timber packwall.

### Әлсіз жыныстардағы лаваның артындағы жол төсемінің тұрақтылығын математикалық модельдеу

**Аңдатпа.** Мақала қазбалық дрейфтерді қайта пайдалану кезінде олардың тұрақтылығын қамтамасыз ететін тиімді технологиялық схеманы негіздеуге арналған. Дәстүр бойынша тау-кен технологиясының тиімділігі тәжірибелік жұмыстармен расталады. Алынған нәтижелердің жетіспеушілігін геомеханикалық жүйені математикалық модельдеу, атап айтқанда, осы мақалада келтірілген сандық модельдеу арқылы ішінара өтеуге болады. Жылжымалы жолағының параметрлерін негіздеу үшін барлық технологиялық сатыларды дәйекті орындаумен жұмыс айналасындағы тау жынысының массасының кернеу-деформациялық жағдайының соңғы элементіне талдау жүргізілді. Симуляция нәтижелері көрсеткендей, қолбеу мен шығаратын жолдың түйісуінде жылжымалы жолақтың қаттылығының техникалық қол жетімділігі жолдың көлденең қимасының жоғалуын 12-15%-ға азайтуға мүмкіндік береді және оны қайта пайдалану мүмкіндігі артады.

**Түйінді сөздер:** жолдың тұрақтылығы, математикалық модельдеу, бекітпе, жолды қайта пайдалану, соңғы элементтер әдісі, жылжымалы жолақ.

### Математическое моделирование устойчивости дорожного полотна за лавой в слабых породах

**Аннотация.** Статья посвящена обоснованию эффективной технологической схемы, обеспечивающей устойчивость выемочных штреков при их повторном использовании. Традиционно эффективность технологии добычи полезных ископаемых подтверждается натурным опытом. Недостаток результатов, полученных в натуральных условиях, может быть частично компенсирован математическим моделированием геомеханической системы, в частности, численным моделированием, представленным в данной статье. Для обоснования параметров накатной полосы был проведен конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния горного массива вокруг выработки с последовательным выполнением всех технологических этапов. Результаты моделирования показывают, что технически достижимое повышение жесткости накатной полосы приспосабливает и выемочно-го штрека позволяет на 12-15% снизить потерю площади поперечного сечения штрека и повысить шансы его повторного использования.

**Ключевые слова:** устойчивость выработки, математическое моделирование, анкерное крепление, повторное использование выработки, метод конечных элементов, накатная полоса.

### Introduction

Coal is still an important resource in the energy balance of many countries. Longwall mining being the main method to extract the hard coal continues to evolve. Experience shows that roadways stability ensures the transportation and ventilation in coal faces and affects their output [1]. To decrease the exploitation cost the reuse of gateroads is applied widely. That means the maingate of the previous panel becomes the tailgate of the new panel to service the egress and ventilation circuit. The gates which provide access to the face must be supported in such a way that displacements are kept within acceptable limit throughout their operational lives. However, practically, the gate reuse is not always available under geological conditions that are characterized by low strength of enclosing rocks (with a uniaxial compressive strength of less than 30 MPa) and mining depth of 400-600 m.

A lot of research publications are focused on establishing patterns of geomechanical processes in rock mass in the zone of longwall impact [2-8]. However, the issue of quantitative estimation of the impact of support elements such as packwall (a cast strip), cable bolts, steel-polymer rockbolts, etc. on the stability of a roadway in the context of its reuse is not sufficiently researched.

An analysis of the world best practices and experience in coal mining at Western Donetsk deposit (Ukraine) shows that, in general, the same protective elements and technologies are used to maintain reused excavations. At the same time, their combination and the order of installation, as a rule, are individual for a particular region and even an enterprise.

**The goal** of this paper is to substantiate an effective technological scheme that provides the stability of reusable excavations and determine the rational support parameters.

The numerical simulation of the rock stress-strain state around an excavation with the sequential implementation of technological stages is a principal approach to achieve the goal. The following technique is proposed to ensure the stability of reusable roadway:

- at the first stage, when driving the roadway, a stable rock arch reinforced with rockbolts should be created to ensure the stability outside the zone of a longwall impact (Figure 1a);
- at the second stage, after a longwall advance, but the roadway being still beyond the longwall impact, the support system «cable bolts – active beam» is installed in the roadway roof. This operation should «fix» the liner to the intact rock mass and ensures all support elements working as a system (Figure 1b);
- at the third stage, just after coal extraction, the support structure (packwall) should be installed in the excavated space to prevent the roof collapse. In this regard, additional

*Physical and mechanical properties of rocks and coal*

*Тау жыныстары мен көмірдің физика -механикалық қасиеттері*

*Физико-механические свойства горных пород и угля*

Characteristic	Siltstone	Coal
Young's modulus, MPa	3193.0	11755.2
Poisson's ratio	0.3	0.3
Compressive strength of intact rock, MPa	25	36
Structural factor	0.5	0.6
Compressive strength reduced, MPa	12.5	18.0

attention should be focused on the parameters of this structure which should ensure minimal convergence of the roadway roof and floor and provide the possibility to reuse this excavation (Figure 1c).

**Numerical modeling process**

To identify the role of various mining supports elements we use a finite element model of the rock mass which involves only two rocks: a coal seam with a thickness of 1 m and siltstone layers in the excavation roof and floor (Table 1).

Rocks of the Western Donetsk coal deposit are highly jointed. That is why the decrease in rock strength should be considered while modeling. To define the design rock mass strength the structural factor developed in [9] is used. The initial data for simulation are the excavation depth (400 m) and unit weight (25 kN/m<sup>3</sup>). So, the initial field stress is 8 MPa. The rock mass is considered as an elastic-plastic solid and the deformation model follows the Hoek-Brown failure criterion [10]. Modeling is carried out in 2-dimension using PHASE-2 FEM-software by Rocscience (Canada) [11].

To identify the impact of each support tool on the excavation stability we simulated each stage of the proposed technique separately.

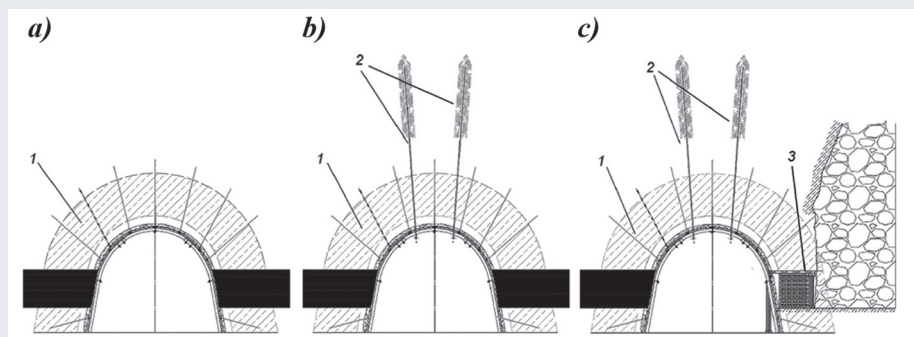
**Formation of a stable rock arch around the roadway.** To create a stable area, a rockbolts system should be installed immediately after extraction of rocks as close as possible to the excavation face. The location and number of rockbolts usually vary depending on the complexity of the geological conditions. In given research rockbolts are modeled as special type contact elements with the properties of metal rods. Figure 2

shows a change in the failure zone and the direction of the displacement vectors around excavation in three cases. Case 1 describes an unsupported excavation, Case 2 considers an installation of five rockbolts only in the roof of excavation, and Case 3 demonstrates an installation of 7 rockbolts in the excavation roof, and 2 additional rockbolts in the floor.

When analyzing the simulation results (Figure 2a), one can notice that around the unsupported excavation (Case 1) the height of the failure zone is about 2.5 m. This confirms the advisability of installing rockbolts of length at least 2.5 m. When installing rockbolts immediately after rock

extraction the expansion of the failure zone can be restrained at the range of 1.0-1.2 m (Figure 2b). Figure 2c shows the most rational (under given conditions) rockbolt system that creates a stable rock arch covering the excavation contour almost completely.

**Support system for ensuring the stability of roadway beyond longwall impact.** It is known that the longwall impact on the roadway spreads ahead from the longwall face. This impact results in increasing the convergence of a roadway contour and decrease in the excavation cross-section area. The maximum degree of rock pressure is observed when the roadway and longwall are conjugated. To ensure the stability of the roadway when the first longwall is approaching, the convergence of the roadway contour should be minimized. This is possible technologically if an active support system «cable bolts – active beam» is installed. This system consists of cable bolts of 6-8 m long that should be installed in combination with a beam of a special form. The cable bolt is installed vertically, and its upper end is in stable intact rocks. Thus, the effect of «fixing» the previously formed stable rock arch is achieved. The cable bolt is



**Figure 1. Technological stages for ensuring the stability of roadway: a – rockbolts installation; b – installation of the support system «cable bolts – active liner» before the first longwall is approached; c – the construction of packwall when the roadway is in the alignment of longwall; 1 – stable rock arch; 2 – cable bolts; 3 – packwall.**

**Сурет 1. Жол бөлігінің тұрақтылығын қамтамасыз етудің технологиялық кезеңдері: а – якорь орнату; б – бірінші ұзын қабырғаға жақындағанға дейін «кабель болттары – белсенді лайнер» тірек жүйесін орнату; в – жүріс бөлігі ұзын қабырғаға біркелкі болған кезде қорғаныс бетінің құрылысы; 1 – орнықты жартасты арка; 2 – якорлы болттар; 3 – қаптамалық қабырға.**

**Рис. 1. Технологические этапы обеспечения устойчивости проезжей части: а – установка анкеров; б – установка опорной системы «тросовые болты – активный хвостовик» перед подходом к первой лаве; в – строительство защитного забоя, когда проезжая часть находится в створе лавы; 1 – устойчивая скальная арка; 2 – анкерные болты; 3 – породная стенка.**

modeled using the «Plane Strand Cable» option in PHASE-2 software.

The installation of the active support system completes the preparation of roadway to counteract the influence of the first longwall. This also allows maintaining a stable state of the roadway after the passage of the first longwall. It will be shown below that the two-level rockbolt system provides an enough margin of stability for the roadway reuse to serve the second longwall.

**Installation of packwall to ensure the stability of the roadway.** The maximum displacements of the roadway contour are observed at the interface with the longwall. To ensure the appropriate cross-sectional area of the roadway behind the first longwall the deformation of the sidewalls and roof should be prevented or at least minimized. This is achieved through creating a special support structure near the excavation, which should satisfy the following:

- full contact with rock mass;
- uniform resistance throughout the area of interaction with the rock mass;
- absence of internal voids;
- width which is approximately equal to the excavated coal seam thickness;

The specified requirements correspond to two types of packwall support structures: polymer-mixtures packwall (BI-lining, TechHard, etc.), and the packwall made of round wood or timber. Regarding current market prices the most accessible type of the support structure is a packwall of round wood or timber that is installed directly in mined out space when conjugating the longwall

and roadway. The packwall consists of mutually perpendicular layers of the timber (round wood). The disadvantage of such a design is the high risk of fire. One of the ways to reduce fire hazards is to inject the sand-cement mixture into the gap between the bars. This allows isolating the wooden elements to a certain extent. Besides, filling the voids prevents the bars from slipping relative to each other and, thus, increases the support element rigidity.

It was emphasized above that the timely installation of the rockbolts allows restricting displacements and the failure zone around the roadway. This ensures the stability of the excavation in combination with sufficient rigidity of the packwall, both before it enters the zone of longwall influence, and when conjugating with longwall.

The finite element analysis of the rock stress-strain state was performed with the sequential implementation of all technological stages to substantiate the parameters of the packwall. The numerical modeling is conducted in stages. It means that the rock mass stress-strain state of the previous stage is used as the initial data for the current stage.

At stage 1 the roadway is modeled in intact rocks as an arch cavity and rockbolt system is installed. At the stage 2 the additional cavity that simulates the first longwall is created by changing the boundary conditions. Then at the stage 3, a packwall is simulated in the left-hand side part of the model. At next step (stage 4) the cavity that simulates the second

longwall is added.

At each stage, the characteristics of the stress-strain state of the rock mass are evaluated, as well as the size and configuration of the failure zone according to the Hoek-Brown failure criterion.

A timber packwall is modeled as a layered material with the mechanical properties of wood. The layers are separated from each other by the joint boundary that allows slipping. A joint represents an interface along which movement is possible. The approach of estimating joint stiffness assumes that a joint has an infill material with known elastic properties. The stiffness of a joint can be estimated from the thickness and modulus of the infilling material by the following equations:

$$k_n = E_0/g; \quad (1)$$

$$k_s = G_0/g, \quad (2)$$

where:

$k_n$  – joint normal stiffness;

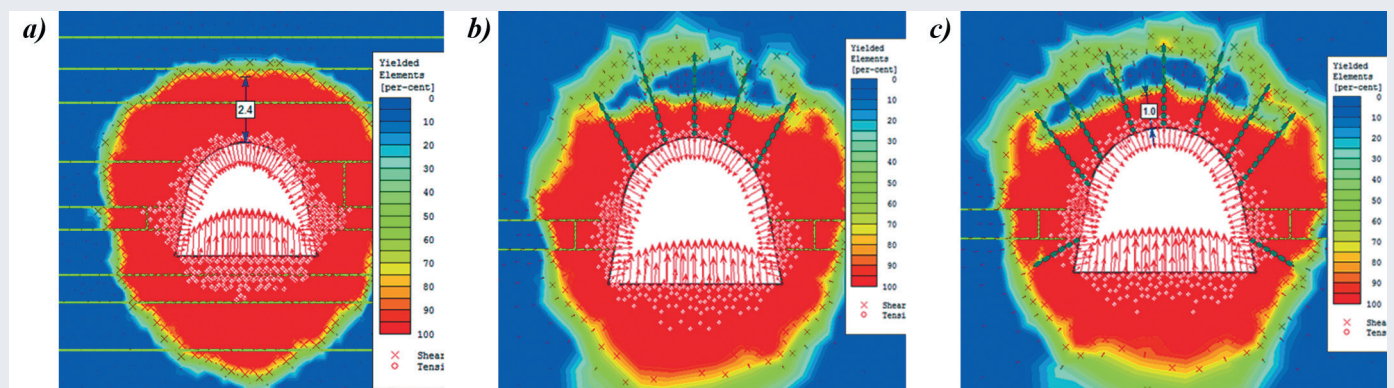
$k_s$  – joint shear stiffness;

$E_0$  – Young’s modulus of infill material;

$G_0$  – shear modulus of the infill material;  $g$  is a thickness of the gap.

To simulate a timber packwall (Figure 1) the Young’s modulus of wood ( $E_w = 10000$  MPa) is used. The Young’s modulus of the infill material (sand-cement mixture) is assumed to be  $E_0 = 100$  MPa. The thickness of the gap is modeled as 0,01 m then, according to (1) the normal stiffness of the packwall is  $k_n = 10^4$  MPa/m. Shear stiffness  $k_s$  is equal to  $10^3$  MPa/m.

Numerical modeling shows that the timber packwall infield with sand-



**Figure 2. Failure zone around excavation: a – unsupported excavation; b – rockbolts is installed in the excavation roof; c – 9 rockbolts system.**

**Сурет 2. Кесектің айналасындағы қирау аймағы: а – тірегі жоқ ойық; б – қазбаның төбесінде якорь орнатылады; в – 9 бекіткіш болттар.**

**Рис. 2. Зона разрушения вокруг выемки: а – выемка без опоры; б – анкеры установлены в кровлю выемки; в – 9 анкерных болтов.**



cement mixture increases the stability of the rock mass around the roadway. In the case of the roadway conjugating the first longwall (Figure 3a), the failure zone over the roadway expands up to 1.0-1.3 m. In this case, the rockbolt system interacts with the rock mass that is destroyed only on 20-40% (light green color according to the color scale). The same acceptable geomechanical situation is observed at the next stage (Figure 3b) when the roadway is conjugated with the second longwall.

To assess numerically the influence of reducing the packwall stiffness on the stress-strain state of rock mass around excavation an additional simulation is conducted. The timber packwall without a sand-cement mixture infilling between the wooden elements is simulated. In this case, the stiffness coefficients at the boundaries of the wooden elements contact are assumed to be zero.

As a result of slippage of the elements due voids between timbers the rock pressure increases when conjugating the roadway with first longwall. In this case the rockbolt system cannot hold the sliding mass effectively. The failure zone covers the roadway from the longwall side. In this case the 4 rockbolts and a cable bolt fully interact with the yielded rocks. When pairing with the second longwall all elements of the rockbolt system interact with the yielded rocks. This does not provide enough compensation for the rock pressure.

Maintaining the operational area of the excavation cross-section is the most valuable problem in roadway reuse. Rock displacements around excavation are the best indicators for visual observation of the rock pressure manifestation. Therefore, analysis of rock displacements around the roadway is a significant part of substantiating the packwall parameters.

The results when a timber packwall of a maximum possible stiffness is simulated are represented in Figure 4a. The maximum stiffness has been achieved due to sand-cement infilling of wooden elements. The maximum vertical convergence of roadway contour ( $\Delta h$ ) is 0.83 m that corresponds to a 20% decrease in excavation height. The horizontal

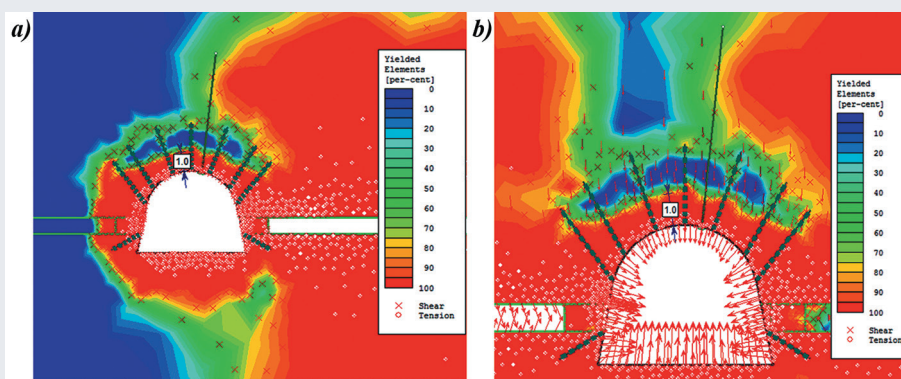
convergence ( $\Delta b$ ) is 0.77 m, i.e. the excavation width is decreased by 16%.

Roadway contour displacement in the case of timber packwall without infilling is represented in Figure 4b. The stiffness of the support element is reduced due to voids and slippage in a packwall structure which leads to an increase in displacement. The vertical convergence ( $\Delta h$ ) rises up to 1.3 m thus the height of the roadway loses 32%. Horizontal convergence is 0,93 m, i.e. the width ( $\Delta b$ ) is decreased by 21%. Hence, an increase in the stiffness of the packwall reduces the convergence of roof and floor by 12%, and the convergence of sidewalls by 5%. In general, a technological combination

of timber packwall and sand-cement mixture infilling ensures the residual roadway cross-sectional area which is 12% greater than in the case of using timber packwall without infilling.

As it was mentioned, the timber packwall is simulated as wood layers separated by a contact element of a certain stiffness that depends on thickness and properties of the infilled material. Numerical modeling resulted in dependences of the roadway convergence and stiffness of contact. The regression equation of vertical convergence is obtained in the form of a power function that increases toward smaller arguments:

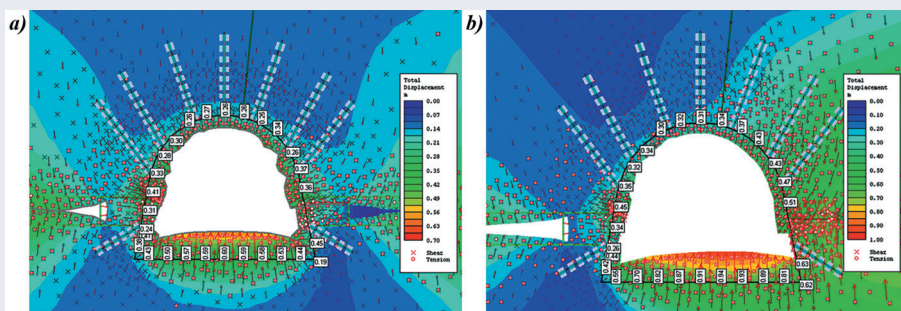
$$\Delta h/h(\%) = 53 \times k_n^{-0.1}. \quad (3)$$



**Figure 3. Failure zones around the roadway supported by timber packwall with sand-cement mixture infilling: a – after conjugating the first longwall; b – when conjugating the second longwall.**

**Сурет 3. Құм-цемент қоспасымен толтырылған ағаш қоршаумен бекітілген жүріс бөлігінің бұзылу аймақтары: a – бірінші лава түйісуінен кейін; б – екінші бетті біріктіру кезінде.**

**Рис. 3. Зоны разрушения проезжей части, поддерживаемые деревянным забором с заполнением песчано-цементной смесью: a – после сопряжения первой лавы; б – при сопряжении второй лавы.**



**Figure 4. Displacement around the roadway after conjugating with the second longwall: a – timber packwall infilled sand-cement mixture; b – wooden elements without infilling.**

**Сурет 4. Екінші беттермен жұптасқаннан кейін жүріс бөлігінің жылжуы: a – ағаш қаптамамен қапталған құм-цемент қоспасы; б – толтырылмайтын ағаш элементтер.**

**Рис. 4. Смещение проезжей части после сопряжения со вторым забоем: a – песчано-цементная смесь, засыпанная древесной набивкой; б – деревянные элементы без заполнения.**

Horizontal convergence better correlates with the stiffness of the packwall in form of the exponential function:

$$\Delta b/b(\%) = 19 \times \exp(-0,3 \times 10^{-4} \times k_n). \quad (4)$$

The coefficient of determination ( $R^2$ ) exceeds 0,95 for both dependencies (3) and (4). When analyzing the relationship (3) and (4) one can notice that increase in packwall stiffness leads to a decrease in the convergence of the roadway contour.

**In situ observations on PJSC DTEK Pavlogradugol mines.** The positive experience in the excavations support by timber packwall has been accumulated at the PJSC DTEK Pavlogradugol mines. In mine «Dneprovskaya» the 1168th roadway was successfully reused by implementing the proposed technique. Installation of rockbolt system allowed saving a cross-sectional area at a rate of 11.7 m<sup>2</sup> at a depth of 225 m. The roof of the excavation is represented by unstable clay shale with a strength ( $\sigma_c$ ) of 13.5 MPa, the shale thickness is 1.5 m, the excavation floor is sandy shale ( $\sigma_c = 24,1$  MPa,  $m = 1,5$  m). A standard metal frames «KSPU» SVP 22 was installed with a step of 0.8 m. When longwall conjugated the roadway the timber packwall (width of 1.2 m) with no infilling was constructed. After conjugating the 2nd longwall the cross-section of excavation decreased up to 8 m<sup>2</sup>, i.e.

the decrease in the cross-section is about 32%. This result is good enough for the conditions of this mine, so the residual cross-section ensures the reuse of the roadway. However, better results were obtained at the mine «Yubileinaya», which is characterized by complex mining and geological conditions: the mining depth is about 350-400 m, and inclosing rock are weak and highly jointed with small-amplitude disturbances [12]. Under these conditions, the roadway of the 601st longwall was supported by a metal frames, rockbolt system, and a timber packwall infilled with the sand-cement mixture to protect wooden elements from fire. However, the infilling with sand-cement mixture significantly increased the stability of the roadway. After conjugating the second longwall the roadway cross-section decreased only by 20-25%. Saving 75% of the roadway cross-section area under conditions of mine «Yubileinaya» is a very good result, which ensures the reuse of the excavation with minimal repair and restoration work. This in situ result shows that a proposed support technique (combination of timber packwall and injection of a sand-cement mixture) is perspective. This approach is the most acceptable from the point of view of pricing policy since the use of imported hardening mixtures significantly increases the cost of production.

## Conclusions

1. The proposed technology of the roadway reuse at longwall mining should be further improved. A rational balance between the operational stability of excavation and the financial costs of mining is needed. Traditionally, the efficiency of the mining technique is proved by in situ experience. However, the complexity of the research object does not allow obtaining sufficiently representative statistics, since impossibility of holding an experiment under the same conditions. The lack of results obtained in situ can be partially compensated for by mathematical modeling of the geomechanical system, in particular, a numerical simulation presented in this paper.

2. The simulation results showed that the technically achievable increase in the stiffness of the packwall at the conjugation of longwall and roadway allows decreasing by 12-15% the loss of the cross-section area of the excavation and increase its ability of reuse. This confirms the potential of using a timber packwall, as well as the modification of this technique by infilling its internal voids with a sand-cement mixture.

3. The successive inclusion of various support elements such as rockbolt system and cable bolts in the numerical model allowed identifying the individual impact of these elements on the excavation stability.

## REFERENCES

1. Šňupárek R., Konečný P. *Stability of roadways in coal mines alias rock mechanics in practice.* // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.* – 2010. – Vol. 2. – Issue 3. – P. 281-288 (in English)
2. Sdvyzhkova O., Patyńska R. *Effect of increasing mining rate on longwall coal mining – Western Donbass case study.* // *Studia Geotechnica et Mechanica.* – 2016. – №38. – P. 91-98 (in English)
3. Solodyankin O., Hryhoriev O., Dudka I., Mashurka S. *Criterion to select rational parameters of supports to reduce expenditures connected with construction and maintenance of development working.* // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.* – 2017. – №2. – P. 19-27 (in English)
4. Babets D.V., Sdvyzhkova O.O., Larionov M.H., Tereshchuk R.M. *Estimation of rock mass stability based on probability approach and rating systems.* // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.* – 2017. – №2. – P. 58-64 (in English)
5. Sdvyzhkova O.O., Babets D.V., Smirnov A.V. *Support loading of assembly chamber in terms of Western Donbas plough longwall.* // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.* – 2014. – №5. – P. 26-32 (in English)
6. Tereshchuk R.M., Khoziaikina N.V., Babets D.V. *Substantiation of rational roof-bolting parameters.* // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.* – 2018. – №1. – P. 19-26 (in English)
7. Małkowski P., Niedbalski Z., Majcherczyk T. *Roadway design efficiency indices for hard coal mines.* // *Acta Geodynamica et Geomaterialia.* – 2016. – №13(2). – P. 201-211 (in English)



8. Lozynskiy V., Medianyuk V., Saik P., Rysbekov K., Demydov M. Multivariate solutions for designing new levels of coal mines. // Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik. – 2020. – №35(2). – P. 23-32 (in English)
9. Babets D. Rock Mass Strength Estimation Using Structural Factor Based on Statistical Strength Theory. // Solid State Phenomena. – 2018. – №277. – P. 111-122 (in English)
10. Babets D., Sdvyzhkova O., Shashenko O., Kravchenko K., Cabana E.C. Implementation of probabilistic approach to rock mass strength estimation while excavating through fault zones. // Mining of Mineral Deposits. – 2019. – Vol. 13. – Issue 4. – P. 72-83 (in English)
11. Hoek E., Carter T.G. and Diederichs M.S. Quantification of the geological strength index chart. // Proceedings of the 47th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium. – San Francisco, 2013. – P. 1-8 (in English)
12. Prykhodchenko V., Shashenko O., Sdvyzhkova O., Prykhodchenko O., Pilyugin V. Predictability of a small-amplitude disturbance of coal seams in Western Donbas. // Scientific bulletin of National Mining University. – 2020. – №4. – P. 24-29 (in English)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Šturárek R., Konečný P. Көмір шахталарындағы жол төсемдерінің немесе тау жыныстары механикасының іс жүзінде тұрақтылығы. // Тау жыныстары механикасы және геотехникалық инженерия журналы. – 2010. – Т. 2. – Шығ. 3. – Б. 281-288 (ағылшын тілінде)
2. Sdvyzhkova O., Palyúška R. Ұзын кен орындарында көмір өндірудің өсу қарқынының әсері Батыс Донбассты зерттеу болып табылады. // Техника және механика студиясы, – 2016. – №38. – P. 91-98 (ағылшын тілінде)
3. Solodyankin O., Hryhoriev O., Dudka I., Mashurka S. Құрылысқа және дайындық жұмыстарына қызмет көрсетуге байланысты шығындарды азайту үшін тіректердің ұтымды параметрлерін таңдау критерийі. // Ұлттық мемлекеттік университеттің ғылыми хабаршысы. – 2017. – №2. – Б. 19-27 (ағылшын тілінде)
4. Babets D.V., Sdvyzhkova O.O., Larionov M.H., Tereshchuk R.M. Ықтималдық тәсіл мен рейтингтік жүйелер негізінде тау жыныстары массивінің тұрақтылығын бағалау. // Ұлттық тау-кен университеттің ғылыми хабаршысы. – 2017. – №2. – Б. 58-64 (ағылшын тілінде)
5. Sdvyzhkova O.O., Babets D.V., Smirnov A.V. Батыс Донбасс лава соқасы жағдайында монтаждау камерасын жүктеуді қолдау. // Ұлттық тау-кен университетінің ғылыми хабаршысы. – 2014. – №5. – Б. 26-32 (ағылшын тілінде)
6. Tereshchuk R.M., Khoziaikina N.V., Babets D.V. Анкердің ұтымды параметрлерін негіздеу. // Ұлттық тау-кен университетінің ғылыми хабаршысы, – 2018. – №1. – Б. 19-26 (ағылшын тілінде)
7. Małkowski P., Niedbalski Z., Majcherczyk T. Таскөмір шахталарының жүру бөлігін жобалау тиімділігінің көрсеткіштері. // Acta геодинамикасы және геоматериалдар. – 2016. – №13(2). – Б. 201-211 (ағылшын тілінде)
8. Lozynskiy V., Medianyuk V., Saik P., Rysbekov K., Demydov M. Жаңа деңгейдегі көмір шахталарын жобалауға арналған көп деңгейлі шешімдер. // Тау-кен, геологиялық, мұнай жинағы. – 2020. – №35(2). – Б. 23-32 (ағылшын тілінде)
9. Babets D. Статистикалық беріктік теориясы негізінде құрылымдық факторды қолдана отырып, массивтің беріктігін бағалау. // Қатты дене құбылыстары. – 2018. – №277. – Б. 111-122 (ағылшын тілінде)
10. Babets D., Sdvyzhkova O., Shashenko O., Kravchenko K., Cabana E.C. Бұзылу аймақтарында қазу кезіндегі тау-жыныстары массасының орнықтылығын бағалау үшін ықтималдылық тәсілін қолдану. // Пайдалы қазбалар кен орындарын әзірлеу. – 2019. – Т. 13. – Шығ. 4. – Б. 72-83 (ағылшын тілінде)
11. Hoek E., Carter T.G. and Diederichs M.S. Геологиялық беріктік диаграммасы индексін сандық бағалау. // Тау жыныстары механикасы бойынша 47-ші симпозиум материалдары/АҚШ-тағы геомеханика. – Сан Франциско, 2013. – Б. 1-8. (ағылшын тілінде)
12. Prykhodchenko V., Shashenko O., Sdvyzhkova O., Prykhodchenko O., Pilyugin V. Батыс Донбас көмір қыртыстарындағы кіші амплитудалы бұзылулардың болжамдылығы. // Ұлттық Тау-кен ісі университетінің ғылыми бюлл. – 2020. – №4. – Б. 24-29 (ағылшын тілінде)

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Šturárek R., Konečný P. Устойчивость дорожных полотен в угольных шахтах или механика горных пород на практике. // Журнал механики горных пород



- и геотехнической инженерии. – 2010. – Т. 2. – Вып. 3. – С. 281-288 (на английском языке)*
2. *Sdvyzhkova O., Palyuzhka R. Влияние увеличения темпов добычи на добычу угля в длинных забоях – тематическое исследование Западного Донбасса. // Студия техники и механики. – 2016. – №38. – С. 91-98 (на английском языке)*
  3. *Solodyankin O., Hryhoriev O., Dudka I., Mashurka S. Критерий выбора рациональных параметров опор для снижения затрат, связанных со строительством и обслуживанием подготовительных работ. // Научный вестник Национального горного университета. – 2017. – №2. – С. 19-27 (на английском языке)*
  4. *Babets D.V., Sdvyzhkova O.O., Larionov M.H., Tereshchuk R.M. Оценка устойчивости массива горных пород на основе вероятностного подхода и рейтинговых систем. // Научный вестник Национального горного университета. – 2017. – №2. – С. 58-64 (на английском языке)*
  5. *Sdvyzhkova O.O., Babets D.V., Smirnov A.V. Поддержка загрузки монтажной камеры в условиях длинных лав в Западном Донбассе. // Научный вестник Национального горного университета. – 2014. – №5. – С. 26-32 (на английском языке)*
  6. *Tereshchuk R.M., Khoziaikina N.V., Babets D.V. Обоснование рациональных параметров анкеровки. // Научный вестник Национального горного университета. – 2018. – №1. – С. 19-26 (на английском языке)*
  7. *Małkowski P., Niedbalski Z., Majcherczyk T. Показатели эффективности проектирования проезжей части каменноугольных шахт. // Акта Геодинамика и Геоматериалы, – 2016. – №13(2). – С. 201-211. (на английском языке)*
  8. *Lozynskiy V., Medianyuk V., Saik P., Rysbekov K., Demudov M. Многовариантные решения для проектирования угольных шахт нового уровня. // Горнодобывающий, геологический и нефтяной сборник. – 2020. – №35(2). – Р. 23-32 (на английском языке)*
  9. *Babets D. Оценка прочности горного массива с использованием структурного фактора на основе статистической теории прочности. // Явления твердого тела. – 2018. – №277. – С. 111-122 (на английском языке)*
  10. *Babets D., Sdvyzhkova O., Shashenko O., Kravchenko K., Sabana E.S. Применение вероятностного подхода для оценки прочности массива горных пород при выемке через зоны разломов. // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 2019. – Т. 13. – Вып. 4. – С. 72-83 (на английском языке)*
  11. *Hoek E., Carter T.G. and Diederichs M.C. Количественная оценка диаграммы индекса геологической прочности. // Материалы 47-го симпозиума по механике горных пород/геомеханике в США. – Сан Франциско, 2013. – С. 1-8 (на английском языке)*
  12. *Prykhodchenko V., Shashenko O., Sdvyzhkova O., Prykhodchenko O., Pilyugin V. Предсказуемость мало-амплитудных нарушений на угольных пластах Западного Донбасса. // Научный бюллетень НГУ. – 2020. – №4. – С. 24-29 (на английском языке)*

**Information about the authors:**

**Sdvyzhkova O.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head at the Department of Higher Mathematics of the National Technical University «Dnipro Polytechnic» (Dnipro, Ukraine), [sdvyzhkova.o.o@nmu.one](mailto:sdvyzhkova.o.o@nmu.one); <https://orcid.org/0000-0001-6322-7526>

**Babets D.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Higher Mathematics of the National Technical University «Dnipro Polytechnic» (Dnipro, Ukraine), [babets.d.v@nmu.one](mailto:babets.d.v@nmu.one); <https://orcid.org/0000-0002-5486-9268>

**Pilyugin V.**, Doctor of Technical Sciences, Technical Expert in the Private Joint-Stock Company «DTEK» (Kyiv, Ukraine), [PilyuginV1@dtek.com](mailto:PilyuginV1@dtek.com); <https://orcid.org/0000-0003-1237-9081>

**Akhmetkanov D.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department «Mining» of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), [d.akhmetkanov@satbayev.university](mailto:d.akhmetkanov@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-4824-7240>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Сдвизжкова Е.А.**, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Днепр политехникалық» Ұлттық техникалық университеті, «Жоғарғы математика» кафедрасының меңгерушісі (Днепр қ., Украина)

**Бабец Д.В.**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Днепр политехникалық» Ұлттық техникалық университеті, «Жоғарғы математика» кафедрасының профессоры (Днепр қ., Украина)

**Пилюгин В.И.**, техника ғылымдарының докторы, «ДТЭК» Жеке акционерлік қоғамының техникалық сарапшысы (Киев қ., Украина)

**Ахметканов Д.К.**, техника ғылымдарының кандидаты, Satbayev University, «Тау-кен ісі» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Сведения об авторах:**

**Сдвизжкова Е.А.**, д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой «Высшая математика» Национального технического университета «Днепропетровская политехника» (г. Днепр, Украина)

**Бабец Д.В.**, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры «Высшая математика» Национального технического университета «Днепропетровская политехника» (г. Днепр, Украина)

**Пилюгин В.И.**, д-р техн. наук, технический эксперт Частного акционерного общества «ДТЭК» (г. Киев, Украина)

**Ахметканов Д.К.**, канд. техн. наук, ассоциированный профессор кафедры «Горное дело» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Код МРНТИ 52.35.29

С.К. Баймухаметов<sup>1</sup>, А.И. Полчин<sup>2</sup>, Л.Ф. Муллағалиева<sup>1</sup>, А.Р. Рахимова<sup>1</sup><sup>1</sup>Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан),<sup>2</sup>Акционерное общество «АрселорМиттал Темиртау» (г. Темиртау, Казахстан)

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА НА ПЛАСТАХ С ВЫСОКОЙ СКОРОСТЬЮ ДЕСОРБЦИИ МЕТАНА

**Аннотация.** Статья посвящена совершенствованию существующих мероприятий по предотвращению внезапных выбросов угля и газа особо выбросоопасного пласта  $D_6$ . Определен скачкообразный рост газоносности пласта  $D_6$  с определенной глубины залегания, а также перечислены особенности его разработки. Рассмотрены недостатки ранее применяемой технологии предупреждения внезапных выбросов угля и газа. Приведены случаи самых крупных внезапных выбросов угля и газа при проведении подготовительных выработок, а также причины их возникновения на шахтах Карагандинского угольного бассейна. Даны результаты исследования мягкой пачки угля на проницаемость. Получен результат, позволяющий в несколько раз снизить природную газоносность, который показал свою эффективность.

**Ключевые слова:** угольный пласт, шахта, проведение выработок, природная газоносность, проницаемость, метановыделение, газодинамическое явление, противовыбросные мероприятия, скважина, технология.

### Метан десорбциясының жоғары жылдамдығымен қабаттарда көмір мен газдың кенеттен шығарылуын болдырмау жөніндегі іс-шараларды жобалау ерекшеліктері

**Аңдатпа.** Мақалада  $D_6$  ерекше лақтырыс қауіпті қабатындағы көмір мен газдың кенеттен шығарылуының алдын алу бойынша қолданыстағы іс-шараларды жетілдіруге арналған. Белгілі бір тереңдіктен  $D_6$  қабатының газ құрамының күрт артуы анықталып, оның даму ерекшеліктері де келтірілген. Көмір мен газдың кенеттен шығарылуының алдын алу үшін бұрын қолданылған технологияның кемшіліктері қарастырылды. Дайындық қазбаларын жүргізу кезінде көмір мен газдың ең ірі кенет шығарылу жағдайлары, сондай-ақ Карағанды көмір бассейнінің шахталарында олардың пайда болу себептері келтірілген. Көмірдің жұмсақ қорабын өткізгіштікке зерттеу нәтижелері келтірілген. Табиғи газды бірнеше есе азайтуға мүмкіндік беретін өзінің тиімділігін көрсеткен нәтиже алынды.

**Түйінді сөздер:** көмір қабаты, шахта, қазбаларды жүргізу, табиғи газдылық, өткізгіштік, метан бөлу, газдинамикалық құбылыс, шығарындыға қарсы іс-шаралар, ұңғыма, технология.

### Features of designing measures to prevent sudden emissions of coal and gas in reservoirs with a high rate of methane desorption

**Abstract.** Article is devoted to the improvement of existing measures to prevent sudden emissions of coal and gas from a particularly explosive formation  $D_6$ . The abrupt growth of the gas content of the  $D_6$  formation from a certain depth of occurrence is determined, and the features of its development are listed. The disadvantages of the previously used technology for preventing sudden emissions of coal and gas are considered. The cases of the largest sudden emissions of coal and gas during preparatory workings, as well as the causes of their occurrence in the mines of the Karaganda coal basin are given. The results of a study of a soft pack of coal on permeability are given. The result has been obtained, which has shown its effectiveness, allowing several times to reduce the natural gas content.

**Key words:** coal seam, mine, excavation, natural gas content, permeability, methane release, gas dynamic phenomenon, anti-blowout measures, well, technology.

#### Введение

На шахтах Карагандинского угольного бассейна при проведении подготовительных выработок по пласту  $D_6$  произошло 15 газодинамических явлений, что составляет 25% от всех<sup>1</sup> внезапных выбросов угля и газа (ВВУГ), произошедших с 1959 г. При этом следует отметить, что с 80-х годов прошлого столетия по настоящее время из 21 газодинамического явления<sup>2</sup> 14 (67%) возникают при подготовке и отработке пласта  $D_6$ . Пласт  $D_6$  имеет мощность 4,5-6 м; газоносность пласта – 18-21 м<sup>3</sup>/т, нижней препарированной пачки – до 35-37 м<sup>3</sup>/т; пористость – 3-4%; пластовое давление – 2,5-3,0 МПа; крепость верхней пачки – 1-1,5, нижней – до 0,6 по шкале проф. М.М. Протодеяконова; газопроницаемость  $(10-50) \times 10^{-4}$  МДарси [1].

Одной из особенностей пласта  $D_6$  является скачкообразный рост газоносности с определенной глубины залегания, причем глубина этой зоны различна для одного и того же пласта даже в пределах одного шахтного поля (рис. 1) [2].

Другой важной особенностью, характерной для пласта  $D_6$  Долинской свиты, является наличие в его нижнем слое особо выбросоопасной и препарированной пачки угля мощностью до 1,5 м, при подсечении которой происходит кратковременное обильное (до 40 м<sup>3</sup>/мин) газосодержание с последующим затуханием в течение 20 с.

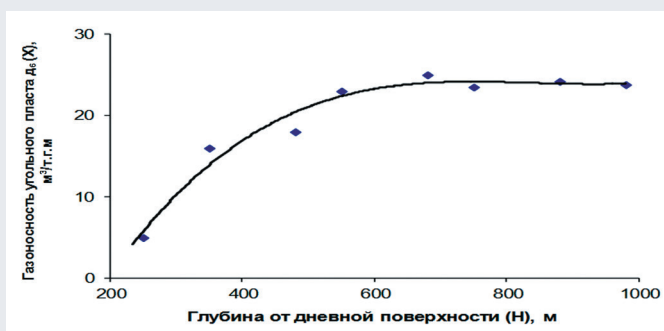


Рис. 1. Газоносность пласта  $D_6$ .  
Сурет 1. Қабаттың газдылығы  $D_6$ .  
Figure 1. Gas content of formation  $D_6$ .

<sup>1</sup>Бирюков Ю.М. Каталог внезапных выбросов угля и газа. – Калининград: КГТУ, 2009. – 158 с. (на русском языке)

<sup>2</sup>Бирюков Ю.М. Техногенная газодинамика. – Калининград: КГТУ, 2011. – 159 с. (на русском языке)

Препарированная пачка нижнего слоя пласта  $D_6$  представляет собой рыхлую массу угля, коэффициент крепости которой по шкале проф. М.М. Протодьяконова составляет 0,25-0,6. До недавнего времени отсутствовали достоверные данные о газоносности этой пачки угля. Скважины, пробуренные в нее, быстро заполняются угольным штыбом. Количество выбрасываемой угольной мелочи может достигать нескольких кубометров даже без подачи бурового снаряда. В ряде случаев после происшедших внезапных выбросов угля и газа не удавалось обнаружить характерных полостей выброшенного угля [3].

Сложность разработки особо выбросоопасного пласта  $D_6$  состоит в отсутствии защитных пластов и за-за высокой газоносности угля, что нередко приводит к загазированию горных выработок при выполнении противовыбросных мероприятий [4].

#### Методы исследования

Предыдущая технология предупреждения ВВУГ предусматривала проведение выработки по верхнему слою пласта с оставлением крепкой пачки угля мощностью не менее одного метра в почве выработки и бурения разгрузочных скважин диаметром 130 мм по верхней пачке и опережающий диаметром 200-250 мм в нижнюю пачку с глубиной 12-14 м с неснижаемым опережением не менее 7 м, при этом практически через каждые 12 м проходки (7%) при проведении текущего прогноза выбросоопасности фиксировались опасные значения (дополнительное бурение от 3 до 6 скважин). Количество загазирования при проведении противовыбросных мероприятий составляло 0,49 на 1 п. м проходки<sup>3</sup> [5-7].

Для предотвращения загазирования выработок стали первоначально бурить скважины диаметром 80 мм с последующей их разбуркой до 130-200 мм. Несмотря на такой большой объем бурения разгрузочных и опережающих скважин, время от времени происходили ВВУГ с тяжелыми последствиями.

Самый крупный ВВУГ<sup>1</sup> произошел на шахте им. Ленина, при вскрытии пласта  $D_6$  подготовительным забоем сбоечного квершлага №2 на глубине 580 м (табл. 1). Количество выброшенной горной массы составило 3250 т; объем метана – 1300000 м<sup>3</sup>; дальность отброса горной массы – 236 м; удельное газовыделение при ВВУГ – 650 м<sup>3</sup>/т (более чем в 30 раз превышающее природную газоносность пласта); крепость угля – 0,24 по шкале проф. М.М. Протодьяконова. В двух выработках произошло опрокидывание вентиляционной струи; в 58 выработках концентрация метана составляла от 2% до 100%.

Основные причины данного газодинамического явления – зона ослабления пород почвы пласта, резкое изменение его гипсометрии и отсутствие противовыбросных мероприятий (несовершенство нормативных документов). Это объясняется тем, что в процессе ВВУГ происходит приток метана из разгруженной зоны угольного пласта, прилегающих

к полости выброса, при этом полость выброса заполняется мягким углем нижнего слоя.

Для предотвращения газодинамических явлений при проведении горных выработок по пласту  $D_6$  на основании исследования механизма ВВУГ была предложена

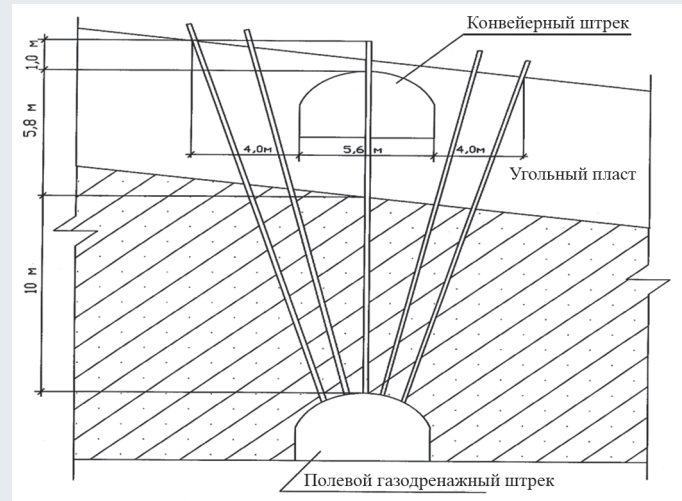


Рис. 2. Технология дегазации пласта из полевой газодренажной выработки.

Сурет 2. Қойнауқатты далалық газ разрядты қазбадан газсыздандыру технологиясы.

Figure 2. Technology of reservoir degassing with field gas drainage development.

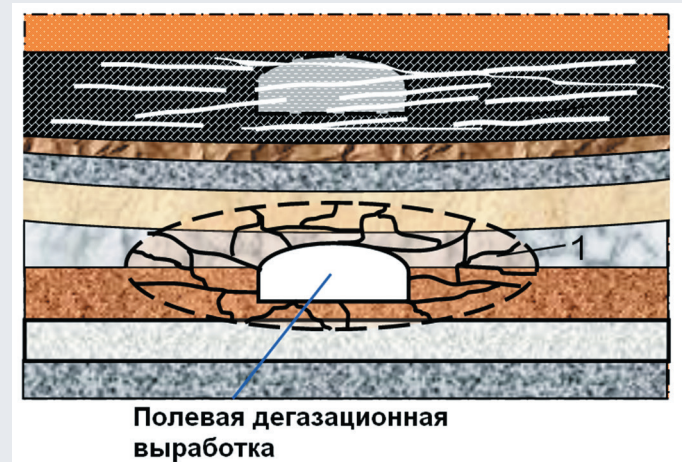


Рис. 3. Зона газопроводящих трещин.  
Сурет 3. Газ өткізгіш жарықтар аймағы.  
Figure 3. Zone of gas-conducting cracks.

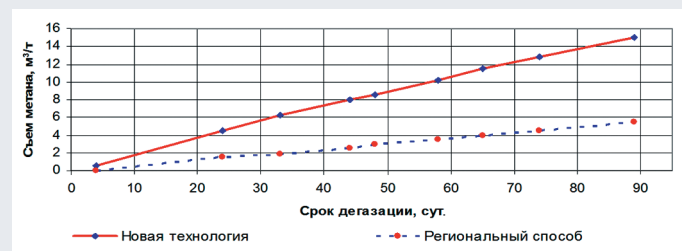


Рис. 4. Зона газопроводящих трещин.  
Сурет 4. Газ өткізгіш жарықтар аймағы.  
Figure 4. Zone of gas-conducting cracks.

<sup>3</sup>Бирюков Ю.М. Газодинамические явления в угольных шахтах. – Калининград: КГТУ. – 2011. – 159 с. (на русском языке)



Таблица 1

Средние значения параметров при внезапных выбросах угля и газа при проведении подготовительных выработок

Кесте 1

Дайындық қазбаларын жүргізу кезінде көмір мен газдың кенеттен шығарындылары кезіндегі параметрлердің орташа мәндері

Table 1

Average values of parameters for sudden emissions of coal and gas during preparatory workings

Шахта	Год ВВУГ	Глубина отработки, м	Количество выброшенной горной массы, т	Объем выделившегося метана, м <sup>3</sup>	Дальность отброса горной массы, м	Удельное газовыделение, м <sup>3</sup> /т
Шахтинская	1971	300	15	660	5,2	44
Им. Ленина	1976	410	550	36000	50	66
Им. Ленина	1978	427	61	9800	11	161
Им. Ленина (при проходке ствола)	1978	435	380	27933	5,5	73
Им. Ленина	1983	350	145	10000	18	69
Им. Ленина	1985	317	50	2040	20,2	41
Казахстанская	1989	466	110	10000	12	91
Казахстанская	1989	478	1200	250000	104	208
Им. Ленина	1995	545	640	550000	66	860
Им. Ленина	1998	580	3250	1300000	236	650
Тентекская	2008	542	1087	414085	107	381
Тентекская	2009	485	1076	74763	95	107
Казахстанская	2012	524	370	29524	36	79,8
Казахстанская	2020	636	842	161645	84	192,1
Средние значения			698	205465	60,7	215,9

и апробирована технология предварительной дегазации пласта с полевой газодренажной выработки, проводимой под пластом на расстоянии 10-12 м (рис. 2).

Первоначально, до выполнения научно-исследовательской работы по определению параметров скважин предварительной дегазации пласта с полевой выработки опытным путем для определения радиуса влияния скважин, была пробурена и загерметизирована контрольная скважина, установлен манометр для измерения давления метана. Манометр показал давление 4,5 МПа, которое не снижалось в течение двух недель. Была пробурена дополнительная скважина на расстоянии 8 м от контрольной, при этом падения давления не наблюдалось в течение недели. Затем была пробурена третья скважина на расстоянии 4 м от контрольной. При этом давление упало в течение 4 дней до 2 МПа.

На основании этих замеров был определен радиус влияния скважины и эти параметры были заложены в паспорт противовыбросных мероприятий. Для исследования проницаемости мягкого угля нижней пачки на поверхности был проведен эксперимент.

Металлическая труба диаметром 6 дюймов была заполнена влажным углем нижнего слоя и спрессована. Затем по торцам трубы поставили заглушки с отверстиями по 10 мм и подключили их к баллону

со сжатым воздухом под давлением 20 МПа. Установлено, что сжатый воздух стал проникать через мягкий уголь лишь при давлении 6,3 МПа, то есть уголь нижнего слоя практически был непроницаем.

В дальнейшем, после выполнения научно-исследовательской работы по предварительной дегазации пласта с полевых выработок его параметры рассчитываются в соответствии с «Методическими рекомендациями по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа». При этом следует учитывать, что для предотвращения несанкционированной фильтрации в полевую выработку метана и, тем более, развязывания газодинамических явлений, ее необходимо проводить на расстоянии от почвы пласта не менее размеров зоны интенсивного трещинообразования (зона 1 на рис. 3) на момент подсоединения дегазационных скважин к вакууму.

Проводником газа из пласта в полевую выработку может являться только зона 1 (так как именно в ней развиваются радиальные – газопроводящие – трещины), и поэтому даже незначительное превышение размеров этой зоны (~ 0,5 м) полностью предотвратит несанкционированную фильтрацию в нее газа.

Опыт бурения разгрузочных скважин с пересечением мягких пачек угля показал, что в отдельных

случаях пробуренная скважина заполнялась углем нижнего слоя, и она работала как герметизатор. В конце этих скважин скапливался свободный метан под большим давлением, и при приближении забоя выработки к этим местам происходил ВВУГ. Так, при бурении разведочной скважины диаметром 80 мм в забое демонтажной сбойки №6 на шахте им. Ленина при входе скважины в нижнюю пачку пласта  $D_6$  (возможно в ранее пробуренную газодренажную скважину диаметром 130 мм) произошло газодинамическое явление. Угольный массив был ослаблен пробуренными газодренажными скважинами в количестве 70 штук при обработке пласта на первом этапе.

Бурение большого количества разгрузочных скважин ведет к ослаблению прочности целлика между местом скопления свободного метана и грудью забоя.

#### Результаты

На основании изложенного предлагается следующая технология бурения разгрузочных скважин при вскрытии пласта  $D_6$  из верхнего слоя под пласт для проведения породной выработки: под пластом пробурить центральную скважину диаметром 150-180 мм длиной не менее 20 м, замерить выход штыба и объема метана при бурении скважины. Установить герметизаторы и замерить давление газа. Пробурить такие же скважины с расстоянием между ними 2 м. Ежедневно перед проходкой проверять чистоту скважин, и при необходимости

прочистать их. В каждом забое необходимо иметь приборы для определения траектории и длины пробуренных скважин.

#### Обсуждение результатов

Согласно полученным результатам, данный способ мероприятий по борьбе с ВВУГ, в сравнении с ранее применяемым способом, позволил, в зависимости от сроков дегазации, более чем в 2,5 раза снизить природную газоносность пласта (рис. 4).

Однако создать универсальную технологию, которая во всех случаях гарантировала бы предотвращение аварийных ситуаций и которой должны были бы следовать все – руководители от горного мастера до главного инженера – практически нельзя. Это невозможно, так как специфика природной среды (массива горных пород) разная не только на каждой из шахт, но и в пределах шахтного поля, а также ввиду ограниченного объема информации о напряженном состоянии, физико-механических свойствах горных пород, строении массива, местах скопления и миграции метана.

#### Заключение

Таким образом, из экспериментальных результатов следует, что применение такой технологии позволило полностью предотвратить ВВУГ при последующем проведении горных выработок по пласту  $D_6$  в зоне разгрузки от проведения полевой газодренажной выработки.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трофимов В.А. Внезапный выброс угля и газа. Вынос угля и газа в выработанное пространство. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №51. – С. 391-405 (на русском языке)
2. Мазина И.Э., Стельмахов А.А., Муллагалиева Л.Ф. Моделирование напряженно-деформированного состояния очистного забоя с технологией управления кровлей полным обрушением и закладкой выработанного пространства. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – №6-1. – С. 99-96 (на русском языке)
3. Портнов В.С., Иманбаева С.Б., Муллагалиева Л.Ф., Балниязова Г.М., Шаяхметов Р.Т. Прогноз природной метаносности при разработке угольных пластов. // Уголь. – 2020. – №11. – С. 53-58 (на русском языке)
4. Баймухаметов С.К., Муллагалиева Л.Ф. Установление параметров, используемых в качестве основы для проектирования ГРП системы. // Труды Международной научно-практической online конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №13), посвященной 30-летию Независимости Республики Казахстан. – 2021. – С. 1144-1146 (на русском языке)
5. Зыков В.С., Абрамов И.Л., Торгунаков Д.В. Модифицированный связующий для брикетирования угля. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – №6. – С. 297-318 (на русском языке)
6. Скрицкий В.А., Сурков А.В., Соболев В.В. Причины зарождения и развития газодинамических явлений в угольных шахтах. // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – №2. – С. 102-107 (на русском языке)
7. Bondarenko V., Svietskina O., Lysenko R., Baoshang Liu. Газовые гидраты метана влияют на внезапные выбросы угля и газа при подземной разработке угольных месторождений. // Украинская школа горной инженерии: Веб-конференция E3S. – 2020. – С. 01002 (на английском языке)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Трофимов В.А. Көмір мен газдың кенеттен атқылауы. Кофқа көмір мен газды өткізу. // Тау-кен ақпараттық-аналитикалық бюллетень. – 2011. – №51. – Б. 391-405 (орыс тілінде)
2. Мазина И.Е., Стелмахов А.А., Муллағалиева Л.Ф. Өңделген кеңістікті толық құлау және қайта толтыру арқылы шатырды басқару технологиясымен жұмыс бетінің кернеу-күйін модельдеу. // Тау-кен ақпараты мен аналитикалық бюллетень. – 2020. – № 6-1. – Б. 99-96 (орыс тілінде)
3. Портнов В.С., Иманбаева С.Б., Муллағалиева Л.Ф., Балниязова Г.М., Шаяхметов Р.Т. Көмір қабаттарын игерудегі табиғи метан мөлшерінің болжамы. // Көмір. – 2020. – №11. – Б. 53-58 (орыс тілінде)
4. Баймұхаметов С.Қ., Муллағалиева Л.Ф. Гидравликалық жару жүйелерін жобалаудың негізі ретінде қолданылатын параметрлерді белгілеу. // Қазақстан Республикасы Тәуелсіздігінің 30 жылдығына арналған Ғылым, білім және өндіріс интеграциясы – Ұлт жоспарын жүзеге асырудың негізі» атты Халықаралық ғылыми-практикалық online конференциясының еңбектері (№13 Сағынов оқулары). – 2021. – Б. 1144-1146 (орыс тілінде)
5. Зыков В.С., Абрамов И.Л., Торгунаков Д.В. Көмірді брикеттеу үшін модификацияланған байланыстырушы. // Тау-кен ақпараты және аналитикалық бюллетень». – 2013 – №6. – Б. 297-318 (орыс тілінде);
6. Скрицкий В.А., Сурков А.В., Соболев В.В. Көмір шахталарындағы газ-динамикалық құбылыстардың пайда болу және даму себептері. // Көмір өнеркәсібіндегі еңбек қауіпсіздігі ғылыми орталығының хабаршысы. – 2013. – №2. – Б. 102-107 (орыс тілінде)
7. Bondarenko V., Svietskina O., Lysenko R., Baochang Liu. Метан газ гидраты көмір кен орындарын жер астынан өндіру кезінде кенеттен көмір мен газдың жарылуына әсер етеді. // Украина тау-кен инженерия мектебі: Веб-конференция E3S. – 2020. – Б. 01002 (ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Trofimov V.A. Vnezapnyj vybros uglya i gaza. Vynos uglya i gaza v vyrabotannoe prostranstvo [Sudden outburst of coal and gas. Carrying out coal and gas into the goaf]. // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' = Mining information and analytical bulletin. – 2011. – №51. – P. 391-405 (in Russian);
2. Mazina I.E., Stelmakhov A.A., Mullagalieva L.F. Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya ochistnogo zaboya s texnologiej upravleniya krovlej polnym obrusheniem i zakladkoj vyrabotannogo prostranstva [Modeling of the stress-strain state of the working face with the technology of roof control by complete collapse and backfilling of the worked-out space]. // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' = Mining information and analytical bulletin. – 2020. – №6-1. – P. 99-96 (in Russian)
3. Portnov V.S., Imanbaeva S.B., Mullagalieva L.F., Balniyazova G.M., Shayakhmetov R.T. Prognoz prirodnoj metanonosnosti pri razrabotke ugol'nyx plastov [Forecast of natural methane content in the development of coal seams]. // Ugol' = Coal. – 2020. – №1. – P. 53-58 (in Russian)
4. Baymukhametov S.K., Mullagalieva L.F. Ustanovlenie parametrov, ispol'zuemyx v kachestve osnovy dlya proektirovaniya GRP sistemy [Establishing the parameters used as the basis for the design of hydraulic fracturing systems]. // Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy online konferencii «Integraciya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizacii Plana nacii» (Saginovskie chteniya №13), posvyashhennoj 30-letiyu Nezavisimosti Respubliki Kazaxstan = Proceedings of the International scientific and practical online conference «Integration of science, education and production – the basis for the implementation of the National Plan» (Saginovsky Readings №13), dedicated to the 30th anniversary of Independence of the Republic of Kazakhstan. – 2021. – P. 1144-1146 (in Russian)
5. Zykov V.S., Abramov I.L., Torgunakov D.V. Modificirovannyj svyazuyushhij dlya briketirovaniya uglya [Modified binder for coal briquetting]. // Gornyj informacionno-



*analiticheskij byulleten' = Mining information and analytical bulletin. – 2013. – №6. – P. 297-318 (in Russian)*

6. *Skritsky V.A., Surkov A.V., Sobolev V.V. Prichiny zarozhdeniya i razvitiya gazodinamicheskix yavlenij v ugol'nyx shaxtax [Reasons for the origin and development of gas-dynamic phenomena in coal mines.] // Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti = Bulletin of the scientific center for the safety of work in the coal industry. – 2013. – №2. – P. 102-107 (in Russian)*
7. *Bondarenko V., Svietskina O., Lysenko R., Baochang Liu. Methane gas hydrates influence on sudden coal and gas outbursts during underground mining of coal deposits. // Ukrainian School of Mining Engineering: E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 201. – 01002 (in English)*

#### Сведения об авторах:

**Баймухаметов С.К.**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан), [s.baimukhamet@gmail.com](mailto:s.baimukhamet@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-7130-5560>

**Полчин А.И.**, начальник отдела вентиляции и дегазации угольного департамента Акционерного общества «АрселорМиттал Темиртау» (г. Темиртау, Казахстан), [a.polchin@mail.ru](mailto:a.polchin@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6902-0470>

**Муллагалиева Л.Ф.**, докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан), [liliyamullagaliyeva1988@gmail.com](mailto:liliyamullagaliyeva1988@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-1168-4076>

**Рахимова А.Р.**, магистрант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан), [aisha.rollanovna@gmail.com](mailto:aisha.rollanovna@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-0015-825X>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Баймухаметов С.К.**, техникалық ғылыми докторы, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Полчин А.И.**, «АрселорМиттал Темиртау» Акционерлік қоғамы, Көмір департаментінің желдету және газсыздандыру бөлімінің бастығы (Темиртау қ., Қазақстан)

**Муллагалиева Л.Ф.**, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру» кафедрасының докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Рахимова А.Р.**, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру» кафедрасының магистранты (Қарағанды қ., Қазақстан)

#### Information about authors:

**Baimukhametov S.K.**, Doctor of Science, Professor at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-Profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

**Polchin A.I.**, Head of the Ventilation and Degassing Department at the Coal Department of the Joint Stock Company «ArcelorMittal Temirtau»

**Mullagaliyeva L.F.**, PhD Doctoral Student at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-Profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

**Rakhimova A.R.**, Master's Student at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-Profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

## ОТРАСЛЕВЫЕ ВЫСТАВКИ MINING&METALS CENTRAL ASIA И KAZCOMAK 2021 УСПЕШНО ВОЗОБНОВИЛИ СВОЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

*В рамках 26-ой Центрально-Азиатской международной выставки «Горное оборудование, добыча и обогащение руд и минералов» – Mining and Metals Central Asia 2021, а также 17-ой Казахстанской международной выставки «Дорожное и Промышленное Строительство, Коммунальная Техника» – Kazcomak 2021, прошедшей с 29 сентября по 1 октября в выставочном центре «Атакент», свои достижения представили 156 компаний из 17 стран мира.*



За три дня работы экспозицию посетили 2347 уникальных посетителей, что лишний раз доказывает интерес к выставкам и свидетельствует о важности офлайн-событий для дальнейшего развития партнерства в рамках ГКМ Казахстана. Согласно опросу посетителей, выставки дают возможность ознакомиться с трендами, найти полезные контакты, обменяться опытом с коллегами.

Прошенко Петр, менеджер по развитию бизнеса Фегтехро из Украины, рассказал, что выставка оказалась очень полезна и крайне необходима для развития бизнеса. «Выставка дает возможность наглядно познакомиться с новинками в области приборов и технологий ГКМ. Мы почерпнули много полезной и новой информации, привезем ее на нашу площадку», – отметил он.

Участники выставок смогли обеспечить качественное наполнение своей экспозиции, представить инновационные и практические решения в области проектирования, горной добычи, обогащения руд. Также были представлены IT-продукты

Принимая во внимание перерыв в проведении мероприятий, в 2021 году выставки приобрели особую значимость для участников: в первую очередь, предоставив всем возможность вновь лицом к лицу встретиться с потенциальными заказчиками, вживую вести партнерский диалог, а также эффективно продемонстрировать инновационные разработки и свои достижения в производстве оборудования, услуг и проектных решений в сфере ГКМ. Тот факт, что среди экспонентов присутствует более 60% зарубежных участников, подтверждает международный статус событий. В экспозиции были представлены компании из Австралии, Австрии, Великобритании, Германии, Италии, Казахстана, Канады, Китая, Кореи, России, США, Турции, Украины, Финляндии, Франции, Чехии, Южной Кореи, а также национальные группы Германии, Норвегии, Франции и коллективные стенды Российской Федерации – производители из Липецкой, Иркутской, Курганской, Курской, Челябинской, Пензенской и Тульской областей представили свою продукцию и услуги.

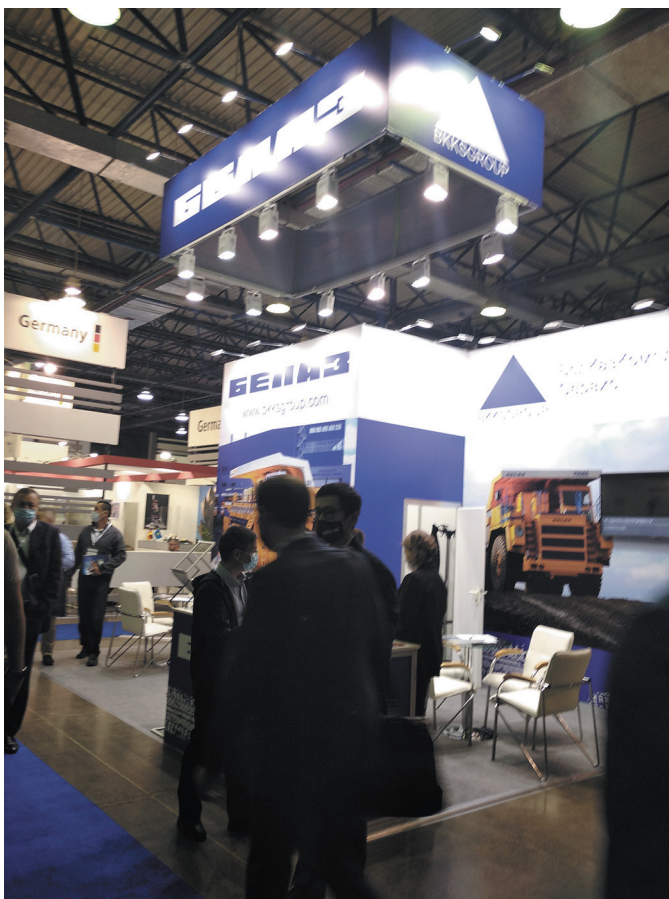
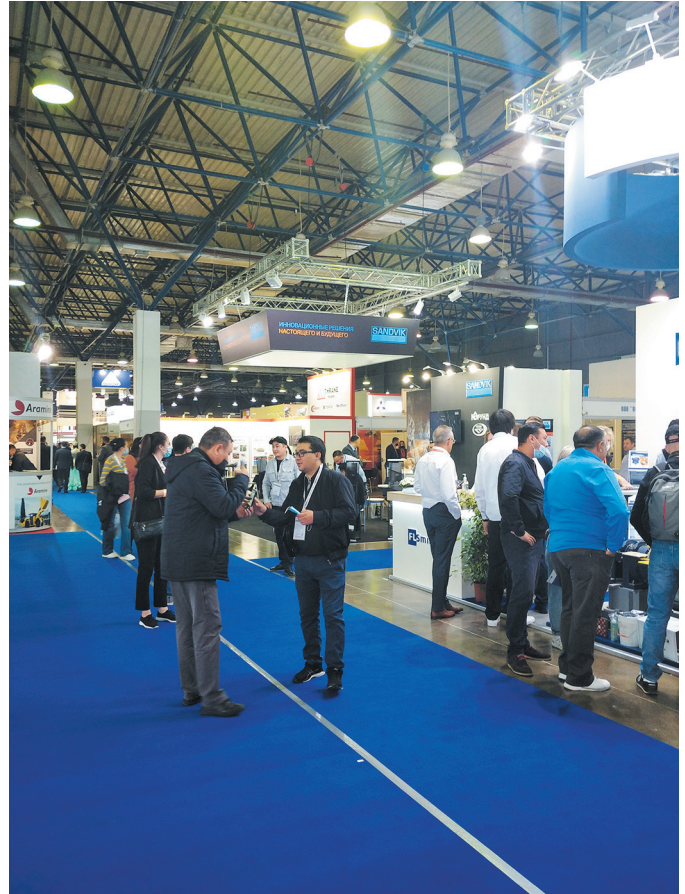




для обеспечения безопасности горных работ, цифровизации, автоматизации и многое другое.

Деловая программа выставки Mining & Metals CA затронула актуальные для ГМК вопросы. Круглые столы, презентации и тематические семинары собрали аудиторию из числа представителей крупнейших отечественных и зарубежных компаний ГМК и отраслевых ассоциаций. В рамках программы были затронуты вопросы Индустрии 4.0, включающей дальнейшую цифровизацию, внедрение интеллектуального оборудования, умной автоматизации и роботизации. Внедрение элементов Индустрии 4.0 в ГМК сектор было основной темой серии мастер-классов от Автономного кластерного фонда «ПИТ» Tech Garden. Инжиниринговая компания Oriental провела семинар, рассказывающий о решениях по обезвоживанию концентратов цветных и черных металлов, кеков гидрометаллургических производств. Семинары компаний Sever Minerals, «Норсервис», FLSmidth LLP, Element group привлекли широкое внимание аудитории, выбор тем для выступлений был полностью обусловлен текущими вызовами, стоящими перед отраслью.

ГМК сектор на выставке представлен следующим образом. Производители и дистрибьюторы оборудования, услуг, различных инженерных решений со всего мира принимают участие в выставке со стендами. Это позволяет им наглядно и подробно продемонстрировать



преимущества своего продукта и провести переговоры. А вот потребители данных услуг – горнодобывающие и перерабатывающие предприятия страны – являются посетителями мероприятия. Переходя от стенда к стенду, от экспозиции к экспозиции, они имеют возможность получить наиболее полную картину о представляемом оборудовании и услугах, пообщаться с разработчиками и производителями напрямую как по вопросам закупок и поставки, так и по вопросам сервиса и ремонта.

Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК называет горно-металлургическую промышленность Казахстана базовой отраслью страны, которая занимает первое место по удельному весу в доле ВВП. Также ГМК служит лидером по привлечению инвестиций. Безусловно, выставки Mining and Metals CA и Kazcomak выступают важным звеном в цепочке сотрудничества предприятий ГМК республики и их партнеров – ключевых поставщиков оборудования и услуг со всего мира. Выставки в очередной раз показали себя крупнейшей, авторитетной и эффективной площадкой для встреч, проведения переговоров как для лидеров, так и для новичков ГМК сектора.

Организатором событий является Казахстанская выставочная компания Itesa. Официальную поддержку выставкам оказали Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК, АГМП РК, Акимат города Алматы и дипломатические миссии стран-участниц. Партнер регистрации – компания Sever Minerals.



**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](http://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, метаданные не должен превышать 8 печатных страниц;
- статьи (за исключением обзоров), должны содержать новые научные результаты;
- статья должна соответствовать тематике (см. п. 1), научному уровню журнала;
- статья должна быть оформлена в полном соответствии с требованиями, отраженными в п. 3;
- статья может быть представлена на казахском, русском или английском языке;
- в редакцию представляется окончательный, **тщательно выверенный вариант** статьи, исключающий необходимость постоянных доработок текста на этапах издательского процесса;
- перед отправкой статьи в редакцию журнала авторам необходимо проверить текст на предмет отсутствия плагиата с помощью специальной программы (например, [www.text.ru](http://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 подрисуночном 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.

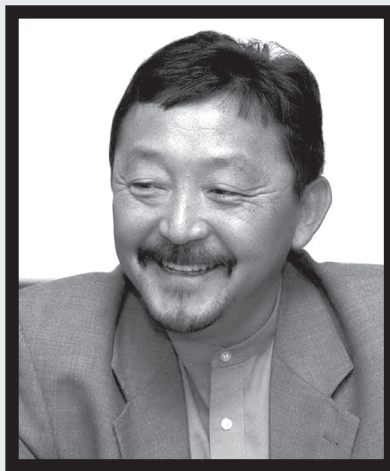
На 69-м году после тяжелой болезни ушел из жизни Руслан Борисович Юн – известный горный инженер, доктор технических наук, Лауреат премии Кабинета министров Республики Казахстан.

Р.Б. Юн родился в 1953 г. в пос. Атасу Карагандинской области. После окончания Карагандинского политехнического института в 1975 г. он начал трудовую деятельность в Жезказгане горнорабочим очистного забоя и прошел путь до председателя Правления Корпорации Казахмыс, которая при нем стала одним из крупнейших мировых производителей меди и флагманом экономики Республики Казахстан.

Выходец из рабочей среды, Руслан Борисович с его организаторским талантом и стратегическим мышлением многое сделал для улучшения условий труда под землей, безопасности горняков. Он смело внедрял в производство самые современные технологии и оборудование.

Одним из главных свершений Руслана Борисовича явилось создание в 1996 г. новой Концепции дальнейшей эффективной и безопасной разработки Жезказганского месторождения.

Наблюдавшаяся многие десятилетия тенденция истощения сырьевой базы и ухудшения геомеханического состояния на месторождении требовала отказа от поддержания выработанных пространств и перехода к их планомерному погашению обрушением налегающей толщи в ходе повторной разработки целиков. В Концепции были зафиксированы принципиальные положения, в соответствии с которыми и сейчас продолжается промышленная эксплуатация Жезказгана. Концепция на практике реализовывала заветы академика К.И. Сатпаева о максимально полном использовании природных богатств Жезказгана. Руслан Борисович был инициатором, вдохновителем и руководителем непростого процесса создания, обоснования и внедрения новой Концепции. Им изобретена технология извлечения междукамерных целиков из открытого выработанного



**Руслан Борисович Юн  
(1953-2021)**

пространства, не имеющая аналогов в мире. Руслан Борисович – автор 34 изобретений и патентов, множества публикаций по актуальным вопросам горнодобывающей промышленности. Достигнутые им научные и практические результаты защищены докторской диссертацией по технологии повторной разработки Жезказгана.

За годы правления Руслан Борисович внес неоценимый вклад в развитие Корпорации Казахмыс. В это время построены и введены в эксплуатацию 10 рудников, проведена реконструкция обогатительных фабрик и металлургических заводов, создан мощный энергетический

комплекс. В результате объем производства катодной меди вырос в 4,5 раза. За вклад в развитие страны Р.Б. Юн награжден орденами «Құрмет» и «Парасат». Решая множество производственных вопросов, Руслан Борисович последовательно проводил в жизнь активную социальную политику Корпорации Казахмыс в регионах ее присутствия, где возводились культурные, спортивные объекты, медицинские центры, санатории, детские сады, духовные учреждения.

Впоследствии Юн Р.Б. руководил компанией Алтай Полиметаллы, которая в Карагандинской области с нуля построила горно-обогатительный комбинат производительностью 4 миллиона тонн руды в год. В 2016 году Президент РК Н.А. Назарбаев участвовал в запуске производства в эксплуатацию. Впервые в истории горнорудной промышленности не только СНГ, но и мира, в карьере применена запатентованная циклично-поточная технология транспортировки горной массы в объеме 100%.

Руслан Борисович Юн запомнился коллегам как талантливый горный инженер, созидатель, организатор, новатор производства. Он внес большой вклад в развитие горной промышленности Казахстана. В сердцах всех, кто с ним работал, он навсегда останется своими добрыми делами, готовностью протянуть руку помощи, поддержать в трудной ситуации.

*Выражаем глубокие соболезнования семье, родным и близким.  
Образ Руслана Борисовича надолго сохранится в нашей памяти.*

**Корпорация Казахмыс  
Алтай Полиметаллы  
Редакция Горного журнала Казахстана**