

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 27.08.2021 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 (ПАШИННИНА),  
[Irina.Pashinina@interrin.kz](mailto:Irina.Pashinina@interrin.kz)

#### Редакционная коллегия:

**Fathi Nabashi** (Canada), Dr. techn. [Vienna], Dr.h.c.

[St. Petersburg], Dr.h.c. [National Tech Univ, Lima],

Dr.h.c. [San Marcos Univ, Lima]

**Fidelis Tawiah Suorineni**, PhD,

Professor of Mining Engineering

**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


**А.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** ТОО «Hardwareindustry» ®

**5** «Казцинк» следит за безопасностью хвостохранилищ из космоса ®

**6** Шерс Ф., Карагубенов Р., Кенжалиев А.  
HPGR Pro: Как сэкономить деньги и энергию при измельчении ®

### Минерально-сырьевые ресурсы

**10** Кряжева Т.В., Байболова Ш.Ж.  
Минеральные комплексы руд и генезис медно-колчеданных месторождений Казахстана на примере месторождения Абыз

### Геомеханика

**16** Камаров Р.К., Демин В.Ф., Барсуков С.В., Абдрахман Е.А.  
Даярлау қазбаларында жыныстардың ісінуінің білінуін зерттеу

### Крепление горных выработок

**23** Абеуов Е.А., Баизбаев М.Б., Матаев А.К., Жумабек С.Н.  
Разработка технологических решений и организация отработки целиков при панельно-столбовой системе разработки с использованием технологии анкерного крепления

### Обогащение полезных ископаемых

**30** Хамидов Р.А.  
Выбор схемы отдельной переработки пенного продукта процесса биоокисления

### Горные машины

**36** Povetkin V.V., Bukayeva A.Z., Nurmukhanova A.Z., Tatybayev M.K.  
Use of flame burners for mechanized cutting of hard rocks

**42** Зеленко А.В., Горбач А.Н., Журавков М.А., Николайчик М.А.  
Непрерывный мониторинг безопасного движения подъемных сосудов в шахтных стволах

### Геоинформатика

**48** Разуваева Т.В., Светлакова К.Р.  
Изучение геолого-гидрогеологических условий ураноносных толщ с применением 3D моделирования

**54** Требования к оформлению статей

## КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат Жакупович  
Битимбаев**  
*главный редактор*

*Дорогие читатели!*

*Уважаемые коллеги!*

Мы с вами – представители одной из самых древних профессий на Земле с тех пор, как у первобытного человека отложился в головном мозге факт, что среди необработанных камней можно найти обработанные природой, которые в руках становятся оружием и делают тебя сильнее, чем твои враги или преследуемые тобой животные. Потом он понял, что эти камни можно обрабатывать другими камнями, еще более приспособливая их для применения практически во всех случаях жизни, когда ты сталкиваешься лицом к лицу с окружающим непонятным и опасным миром.

Через десятки тысяч лет собирательству камней как и оружия, и уже для других целей – грубой обработки и выделки кожи, выкапывания пищевых корней, получения открытого огня, складывания их как стен или укреплений – пришел конец, потому что кончились камни, так как человечество росло численно и увеличивались цели употребления этих камней.

Наши предки нашли два пути решения: надо не сидеть на месте и начать свое путешествие, что привело к расселению, и надо начинать копать глубже в поисках лучших образцов нужных камней, причем, зачастую, лучшего качества и в большем, чем требовалось, объеме. Так родилась профессия горняка на первобытном уровне. В это время подоспело созревшее в умах у женщин желание украшать себя поделками из камней, случайно были открыты изумительные свойства и красота золота, серебра, драгоценных камней. Это было началом новой эпохи в жизни людей – началом 1-ой революции в объединенном мире человека, которую Клаус Шваб назвал «аграрной», потому что она соединила труд человека с использованием животных, и человек обратился к обработке земли. Эта эпоха продолжалась тысячи лет до второй половины XVIII века. Так появились на свет новые профессии, начавшие свое развитие с будущего племени горняков, за ними пришел черед металлургов, потом обогатителей. Но затем опять начали истощаться поверхностные слои, тут еще случайно люди отложили в памяти первые события, связанные с геологией, потому что первобытные, простейшие качества анатомической оценки помогли уяснить, что поиски нужных камней надо вести упорядоченно, увязывая их с природными естественными признаками присутствия нужного камня.

Эти профессии, с которыми накрепко связано развитие цивилизации во всей истории человечества, сегодня для нас, читателей «Горного журнала Казахстана», являются нашим призванием и нашей счастливой судьбой, поэтому третье воскресенье июля (в 2021 году это 18-го) и последнее воскресенье августа (в этом году оно выпадает на 29-ое) мы по традиции отмечаем как профессиональные праздники «День Металлурга» и «День Шахтера».

Никого не хочу обидеть. Наоборот, согласен с великим поэтом – «горлопаном революции» Владимиром Маяковским, что «все работы хороши – выбирай на вкус», но геологи, горняки, обогатители, металлурги – это люди, определяющие, начиная с каменного века, вехи успехов цивилизации. Место и роль горно-металлургической отрасли в становлении и расширяющемся в геометрической прогрессии развитии возможностей человека в условиях 4-ой Промышленной революции (опять же по кадастру Клауса Шваба) остается принципиально ведущим, поэтому и будущее наших профессий остается в центре внимания науки как фактор, определяющий, наряду с самим наличием запасов полезных ископаемых, технологии, открывающие двери для эффективных поисков, добычи и переработки.

Наши коллеги, которые сегодня, как и всегда, заняты обыденными делами (несмотря на кардинально изменившееся технологическое их содержание), успеха которых ждут обитатели Земли – граждане планеты, пусть воспримут эти праздничные дни – День Металлурга и День Шахтера – как дань высочайшего уважения к их труду, к их героизму и самоотверженности. У немцев профессиональный Горный журнал называется «Glückauf», что в переводе означает «Счастливо наверх» (или «Счастье наверху»). Согласен с этим утверждением и желаю всем, кто имеет отношение к профессиям людей, занятых добычей и переработкой миллиардов тонн руды ежегодно, продолжать делать эту работу так же доброту, как всегда.

**Будьте здоровы и счастливы внизу и наверху!**



## «КАЗЦИНК» СЛЕДИТ ЗА БЕЗОПАСНОСТЬЮ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ИЗ КОСМОСА

*Крупнейшая компания Восточно-Казахстанской области старается сделать максимально безопасной работу Таловского хвостохранилища в г. Риддере. Объект был образован еще в 1979 году. Сейчас здесь складываются отходы горно-обогатительного производства «Казцинк».*

Горняки уделяют особое внимание хвостохранилищу.

– Мы ведем непрерывную реконструкцию и постоянный мониторинг безопасности, – рассказывает главный инженер обогатительной фабрики Риддерского горно-обогатительного комплекса «Казцинк» **Павел Борзов**. – Для того, чтобы получить максимально достоверные сведения, мы с 2017 года осуществляем космический мониторинг. Благодаря данным из космоса, мы можем увидеть возможные просадки пляжной зоны, дамбы и немедленно принять защитные меры.

Для повышения уровня безопасности в 2018 году было принято решение об усилении конструкции дамбы. В июне 2020 года строительство дополнительного пригруза было закончено.

– Сейчас показатели устойчивости дамбы практически в два раза выше, чем требует того законодательство, – продолжает **Павел Борзов**.

– Эта работа призвана обезопасить наш город, сделать объект, что называется, «безопаснее безопасного». Мера позволит защитить сооружения от разрушений в случае сильного землетрясения с магнитудой 8 и выше.

Также «Казцинк» продолжает информационную работу среди жителей района. При помощи листовок, видеороликов, специальных плакатов гражданам разъясняются наиболее важные правила поведения при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера.



Материал предоставлен Управлением по связям с общественностью ТОО «Казцинк»

## ТОО «HARDWAREINDUSTRY»

*Уважаемые коллеги!*

*Компания ТОО «HardwareIndustry» поздравляет Вас с профессиональным праздником, который любит и празднует вся страна – Днем шахтера! Давать жизнь промышленности, нести тепло и свет людям – благородное дело, с которым вы с честью справляетесь!*

На сегодняшний день наша компания оказывает широкий спектр услуг в сфере горнодобывающей промышленности и предлагает Вам возможность сотрудничества по следующим направлениям:

### **1) Поставка оборудования**

Поставка широкого ассортимента оборудования (Европа, Россия, Китай, Корея), соответствующего Вашим требованиям и техническим спецификациям.

### **2) Поставка комплектующих**

Поставка оригиналов комплектующих деталей и запасных частей от завода-изготовителя (Европа, Россия, Китай, Корея). Также осуществляем анализ требуемых расходных материалов и подбираем аналог заводского производства (Китай).

### **3) Программное обеспечение**

Разработка методологии и программного обеспечения (ПО «Assistant») для автоматизации процессов по усреднению и повышению контроля качества выпускаемой продукции с последующим внедрением в производство (Индустрия 4.0).

### **4) Аналитика**

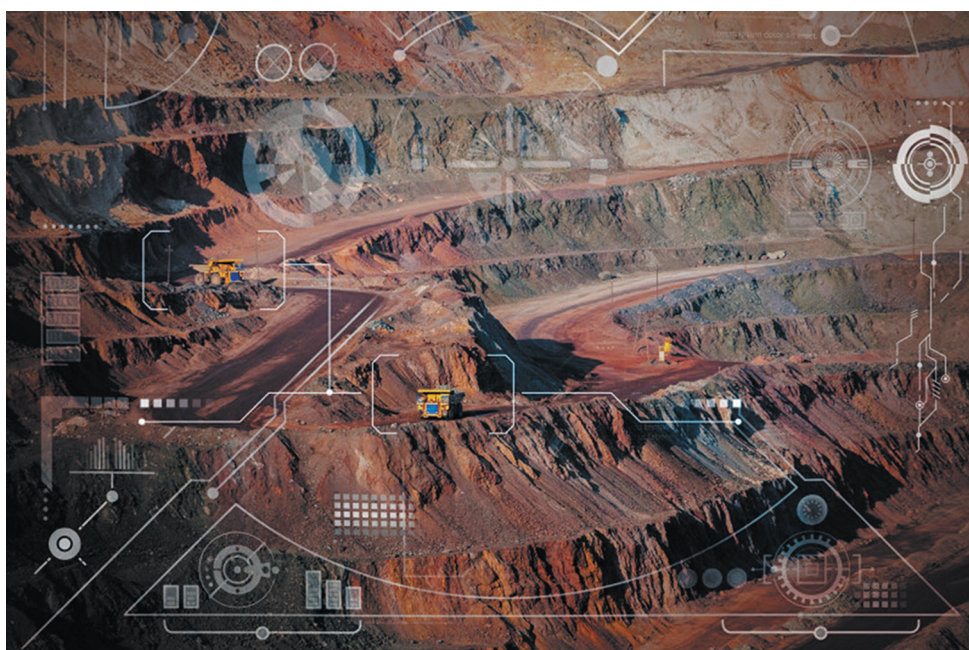
Оценка эффективности существующих мощностей оборудования и технологий предприятия, усовершенствование и автоматизация производственных процессов, проведения научно-исследовательских работ.

### **5) Брикетирование угольного сырья**

Производство угольных брикетов на территории Республики Казахстан с использованием угольного сырья марок Д, ДГ, Б в объеме более 3 000 МТ (метрических тонн) в месяц.

**С уважением, Рябинина Л.Ф.,**

*Генеральный Директор ТОО «HardwareIndustry»*



РК, г. Караганда, проспект Бухар-Жырау,  
ст. 49/6, офис 515 | +7 (7212) 496103  
<https://hwi.kz/>  
[info@hwi.kz](mailto:info@hwi.kz)



Франк Шрерс, Рустам Карагубенов, Амир Кенжалиев  
thyssenkrupp Industrial Solutions

## HPGR PRO: КАК СЭКОНОМИТЬ ДЕНЬГИ И ЭНЕРГИЮ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ

Более четырех десятилетий оборудование HPGR от thyssenkrupp, также известное под брендом POLYCOM, зарекомендовало себя более чем в 150 реализованных проектах по всему миру в горнорудной промышленности, включая алмазное и железорудное направления.

Богатый опыт и тесное взаимодействие с клиентами в самых разных уголках мира привели к разработке ряда инновационных функций, реализованных в обновленном HPGR – **HPGR Pro** – следующем поколении измельчающих валков высокого давления.

Эта компактная машина выводит процесс измельчения на новый

уровень, поскольку обеспечивает более высокую пропускную способность, еще более высокую эффективность измельчения, уменьшение производственных затрат на техническое обслуживание, а также снижение выбросов  $CO_2$ .

### Больше мощности, меньше энергии

В **HPGR Pro** зазор между валками герметизируется от мелочи при помощи вращающихся боковых пластин **RSP** (rotating side-plates) (они же и фланцы) (рис. 1.) на неподвижном измельчающем валке вместо неподвижных **щечковых пластин** **check plates** (рис. 2.) на концах валка предыдущего поколения HPGR.

В то время, как бандажные щечковые пластины обладают лишь незначительным потенциалом улучшения, использование вращающихся боковых пластин является прорывным шагом вперед в развитии технологии HPGR, поскольку они улучшают и распределяют подачу материала по всей ширине валка и особенно по краям валка. Эта новая особенность принесла несколько существенных улучшений.

*Во-первых*, пропускная способность увеличивается значительно больше, чем потребляемая мощность приводных двигателей, так что удельное энергопотребление **HPGR Pro** снижается.

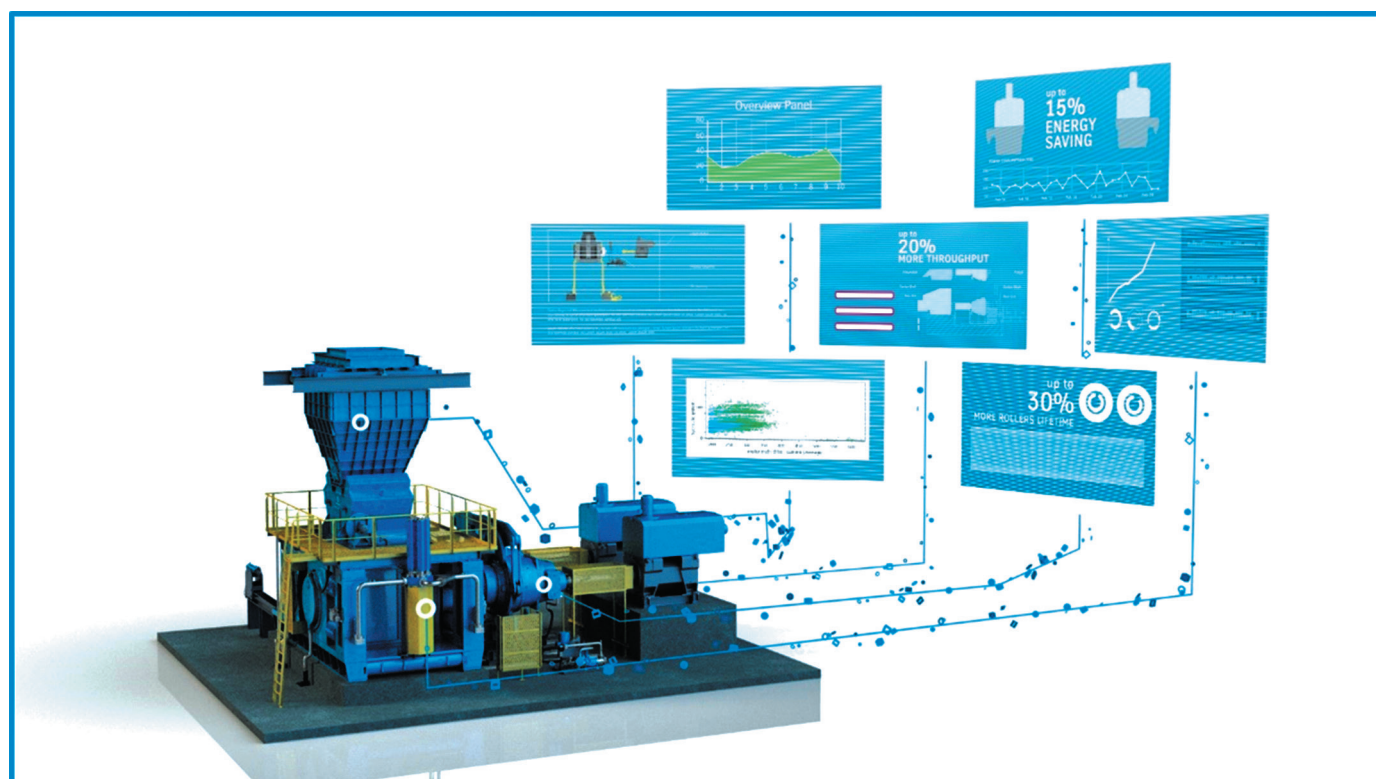


Рис. 1. HPGR Pro

Еще одно преимущество – это равномерное распределение давления по всей ширине валка. Более высокое давление измельчения на концах валков устраняет так называемый краевой эффект и улучшает процесс измельчения, в результате чего продукт получается более мелким с меньшим количеством незащитных грубых частиц. Более равномерный профиль давления также уменьшает износ в середине валков и предотвращает так называемый U-образную кривую. Последнее может не оказать большого влияния на фактический процесс измельчения, но оно действительно сокращает срок службы валков.

#### Долговечные (стойкие) валки

Вращающиеся боковые пластины RSP (фланцы) в HPGR Pro продлевают срок службы валков на 20-30%. Данный показатель может достигать и более 50%, поскольку эти пластины позволяют устанавливать износостойкие штифты из более твердого металла. Чем выше твердость штифтов, тем выше износостойкость. Максимальная степень твердости штифтов в основном определяется устойчивостью к разрушению и крупностью подаваемой руды, а также применяемым давлением для измельчения. Оптимальная износостойкость может быть достигнута, если твердость штифтов будет увеличена чуть ниже их точки разрушения. Снижение пикового давления в середине валков позволяет использовать износостойкие штифты из более твердого металла, даже если свойства измельчаемых руд остаются неизменными.

#### Одноразовые или многоразовые бандажки для защиты от износа

Еще одной уникальной особенностью HPGR Pro является то, что он предлагает клиентам выбор между одно- и многоразовыми бандажками для защиты от износа на корпусе валка.

thyssenkrupp – единственный производитель HPGR – предлагающий оба варианта. Одноразовые бандажки значительно тоньше и легче, чем многоразовые аналоги, и утилизируются после однократного использования. Они также являются

разумным решением, если мастерская для многоразовых бандажей недоступна вблизи установки HPGR.

Бандажки многократного использования толще и дороже, но их можно многократно использовать со все более тонким диаметром или повторно доработать до нового диаметра с помощью дополнительной сварки на изношенной поверхности. Однако их подготовка к эксплуатации предполагает наличие местных сервисных мастерских, оснащенных необходимым оборудованием и ноу-хау.

#### Непрерывный мониторинг

Высокая степень готовности машины возможна только при наличии подробных и постоянно обновляемых данных о нагрузке и состоянии HPGR. HPGR Pro поставляется с системой мониторинга установленных штифтов, которая обеспечивает непрерывный контроль поверхности валков и степень их износа. Эта функция гарантирует, что любой ущерб, вызванный инородным металлом или негабаритным материалом, может быть быстро обнаружен, так что причина повреждения и само повреждение могут быть

устранены без промедления и увеличения нежелательного износа.

Кроме того, измерение фактического износа валков позволяет точно прогнозировать и планировать, когда валки нуждаются в замене, или в регулировке рабочего процесса, чтобы машина могла работать до запланированной остановки.

#### Новая система защиты

Быстрая и точная сенсорная технология в собственной усовершенствованной системе защиты оборудования thyssenkrupp позволяет гораздо точнее собирать технологические и машинные данные. Система предварительно определяет критические условия эксплуатации, чтобы можно было соответствующим образом их скорректировать, а также надежно защищает компоненты HPGR Pro в течение длительного периода времени. Быстрый сбор данных, ставший возможным, благодаря усовершенствованной системе защиты машин, открывает дополнительные возможности в сочетании с потенциалом специалистов thyssenkrupp в области цифровизации. Целью операторов и сервисных специалистов thyssenkrupp

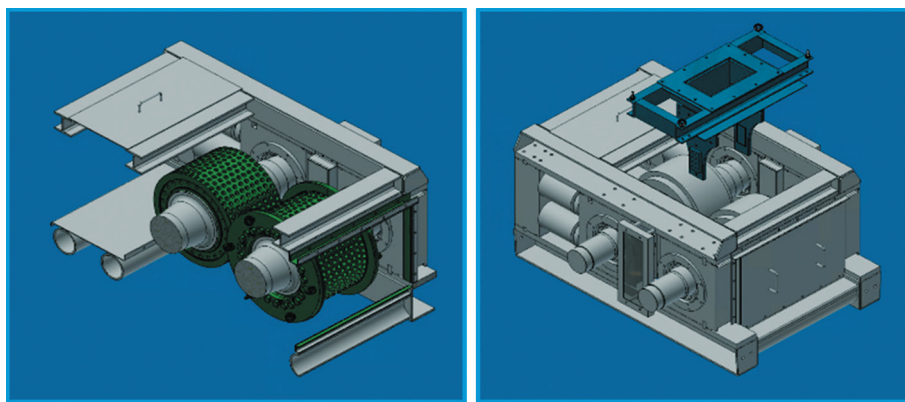


Рис. 2. Вращающиеся боковые пластины RSP/ Щековые пластины Check plates

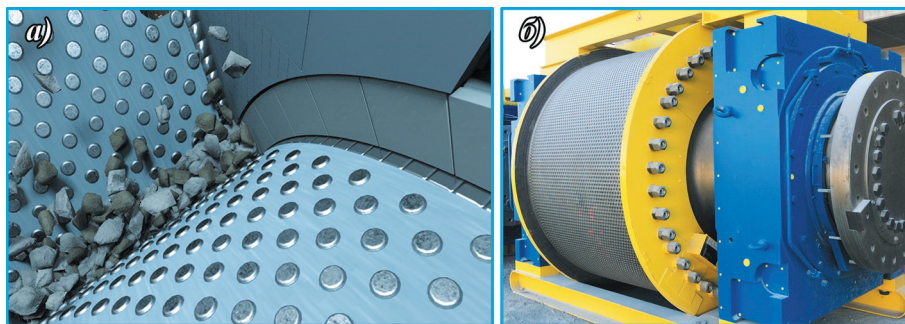


Рис. 3. Валки RSP: а – графическая модель валка; б – реальная модель валка

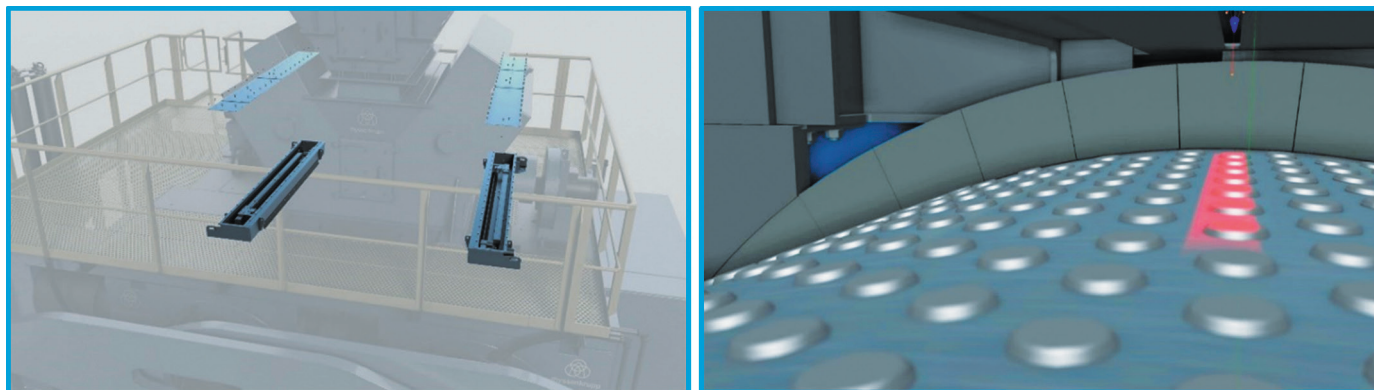


Рис. 4. Система сканирования поверхностей валков

является оптимизация технологических процессов и, как результат, обеспечение бесперебойной работы HPGR с более низкими производственными затратами.

#### Удаленная сервисная поддержка

В настоящее время ограничений, связанных с пандемией Covid-19, горнообогатительные предприятия сталкиваются со сложностью оперативного взаимодействия с экспертами thyssenkrupp по вопросам обслуживания и эксплуатации оборудования, в связи с чем качественная удаленная сервисная поддержка становится все более и более важной. К счастью, операторы заводов теперь могут полагаться на онлайн ноу-хау и оперативную помощь удаленных экспертов thyssenkrupp без необходимости выезда на места.

Современные цифровые средства позволяют техническим специалистам предоставлять удаленную сервисную поддержку, чьи знания и опыт будут доступны операторам HPGR. Таким образом, помощь в оптимизации процессов, устранении неполадок, анализе первопричин и вопросах технического обслуживания может быть оказана быстро.

#### Сокращение выбросов углекислого газа



И последнее, но не менее важное: thyssenkrupp HPGR Pro способствует сокращению выбросов  $CO_2$  на фабриках по переработке полезных ископаемых. Преимуществом HPGR Pro является то, что он позволяет значительно снизить эквивалентные выбросы  $CO_2$  в результате неиспользования энергии, связанной с расходом мелющих сред и стальной футеровки на мельницах SAG (полусамоизмельчения). Удельная энергия мельниц SAG может варьироваться от 4 кВт·ч/т до 12 кВт·ч/т на заводах по производству золота и меди, что показывает колебания производительности примерно на 50%. Однако удельная энергия для третичного дробления с помощью HPGRs составляет всего около 2,6 кВт·ч/т и обычно не изменяется более, чем на 0,3 кВт·ч/т в аналогичных приложениях.

В результате этих многочисленных инновационных улучшений новое поколение thyssenkrupp HPGR Pro может повысить производительность измельчения. Основными преимуществами, которыми смогут воспользоваться операторы HPGR, являются: увеличение пропускной способности до 20%,

еще более высокое качество продукции, значительно более низкие производственные затраты за счет экономии энергии до 15% и до 30% более длительного срока службы валков. Итог: thyssenkrupp HPGR Pro разработан для обеспечения оптимальной производительности в оптимальной рабочей точке.

#### Опыт в Казахстане

В настоящее время компания thyssenkrupp поставила более 29 единиц HPGR для алмазной промышленности и 140 – для других горнодобывающих предприятий по всему миру. В Казахстане и России в эксплуатации находятся 7 единиц HPGR.

Подход компании thyssenkrupp Industrial Solutions Kazakhstan заключается в поддержке клиентов на всех этапах проекта, начиная с сопровождения при выборе оптимальных технологий и оборудования, и заканчивая пусконаладкой, обучением, обслуживанием, поставкой запасных и быстроизнашиваемых частей.

Концепция полного сервиса thyssenkrupp Industrial Solutions Kazakhstan включает в себя регулярный осмотр и технологическое обслуживание квалифицированным персоналом, чтобы гарантировать бесперебойность производства.

*Рады предоставить подробную информацию по следующим контактам:*

**ТОО «thyssenkrupp Industrial Solutions Kazakhstan»  
(«тиссенкрupp Индастриал Солюшенс Казахстан»)**

Республика Казахстан, г. Алматы

ул. Рубинштейна, 48, 5 этаж

Тел: + 7 727 352 74 77

[mikhail.yemuranov@thyssenkrupp.com](mailto:mikhail.yemuranov@thyssenkrupp.com)





## SANDVIK MINING AND ROCK SOLUTIONS ПОЗДРАВЛЯЕТ С ДНЕМ ШАХТЕРА!

День шахтёра – один из важнейших праздников для компании Sandvik. Мы испытываем особую гордость за то, что наше оборудование и технологии делают ваш труд более комфортным и безопасным. Мы всегда готовы стать вашим партнером, предложив современные разработки и новейшую технику. Вы можете рассчитывать на всестороннюю поддержку наших экспертов и многогранный опыт. Мы желаем вам крепкого здоровья, признания, благополучия и достатка!



[ROCKTECHNOLOGY.SANDVIK/RU](http://ROCKTECHNOLOGY.SANDVIK/RU)



Код МРНТИ 38.21.17

Т.В. Кряжева, Ш.Ж. Байболова

*Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет (г. Караганда, Казахстан)*

## МИНЕРАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ РУД И ГЕНЕЗИС МЕДНО-КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЗАХСТАНА НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АБЫЗ

**Аннотация.** В статье рассматриваются минеральные комплексы руд и генезис медно-колчеданных месторождений Казахстана на примере месторождения Абыз. Вкрапленные руды не имеют четких геологических границ и определяются по результатам опробования. В распределении руд по сортам как по простиранию, так и по падению рудных тел устанавливаются некоторые вариации состава и текстур, сложное строение с постепенными переходами вкрапленных руд в сплошные и наоборот. Особенно это проявилось в основном рудном теле, где изменчивость колчеданно-полиметаллической минерализации выражена в обогащении полезными компонентами головной части рудного тела с переходом в рядовые колчеданно-полиметаллические, медно-колчеданные и другие типы на глубине и флангах.

**Ключевые слова:** колчеданные месторождения, энзиматические островные дуги, золоторудная минерализация, гидротермально-метасоматические изменения, месторождение Абыз, золото, основное рудное тело, сульфидные руды.

### Қазақстандағы кендердің минералды кешендері мен мыс-пирит кендерінің генезисі Абыз кен орнының мысалында

**Андатпа.** Бұл мақалада Абыз кен орнының мысалында Қазақстандағы кендердің минералды кешендері мен мыс-пирит кен орындарының генезисі зерттелген. Таралатын кендердің нақты геологиялық шекаралары жоқ және іріктеу нәтижелері бойынша анықталады. Кендерді сорт бойынша бөлу кезінде, сокқы бойымен де, кен денелерінің түсу бойымен де, құрамы мен текстурасындағы кейбір вариациялар, таралған кендердің біртіндеп үздіксіз кендерге ауысуы бар күрделі құрылым орнатылады. Бұл әсіресе Пирит-негізді металл минералдануының өзгергіштігі кәдімгі пирит-негізді металға, мыс-пиритке және т.б. тереңдіктер мен қапталдардағы түрлері. Кен орнындағы алтын-пирит-полиметалл минералдануы гидротермиялық өзгеріске ұшыраған және қираған жанартаулық-шөгінді жыныстардың субмеридиальды кеністігінде шектелген, олар лавалармен және құрамы орташа құрамды аралас-детритті туфтармен, полимиклитті құмтастармен және қиыршық тас құмтас.

**Түйінді сөздер:** пирит кен орындары, алтын кенінің минералдануы, гидротермиялық-метасоматикалық өзгеріс, Абыз кен орны, алтын, негізгі руда денесі, сульфидті кендер.

### Mineral complexes of ores and the genesis of copper-pyrite deposits in Kazakhstan on the example of the Abyz deposit

**Abstract.** This article examines the mineral complexes of ores and the genesis of copper-pyrite deposits in Kazakhstan on the example of the Abyz deposit. Disseminated ores do not have clear geological boundaries and are determined based on sampling results. In the distribution of ores by grade, both along the strike and along the dip of ore bodies, some variations in composition and textures, a complex structure with gradual transitions of disseminated ores into solid ores and vice versa are established. This is especially evident in the Main ore body, where the variability of the pyrite-base metal mineralization is expressed in the enrichment of useful components of the head of the ore body with the transition to ordinary pyrite-base metal, copper-pyrite and other types at the depth and flanks.

**Key words:** pyrite deposits, gold ore mineralization, hydrothermal-metasomatic alteration, Abyz deposit, gold, main ore body, sulfide ores, mineralogical analysis, ore bodies, minerals.

### Введение

Практически каждая тектоническая провинция, имеющая в своем составе в качестве важной составляющей субмаринные вулканические породы, содержит, по крайней мере, небольшие месторождения колчеданного семейства<sup>1</sup> [1-3].

Колчеданными месторождениями называются залежи сернистых (сульфидных) соединений металлов в недрах Земли, имеющие промышленное значение. К таким месторождениям приурочены руды, преимущественно сложенные сульфидами железа. Руды этих месторождений являются важным сырьевым источником меди, цинка, свинца, серы, барита, золота, серебра, редких и рассеянных элементов<sup>2</sup> [4, 5]. Колчеданные месторождения, распространенные на всех континентах, формировались с позднего архея и до настоящего времени. Представления о генезисе этих месторождений менялись по мере их изучения. Изначально существовала гидротермальная теория рудообразования колчеданных месторождений, согласно которой они рассмотрены как гидротермально-метасоматические образования, связанные с орогенными гранитоидными интрузиями и посторогенными малыми интрузиями. Некоторые

исследователи связывали образование колчеданных месторождений с гипотезой рудных магм, т. е., как следствие инъекции сульфидного расплава<sup>2</sup> [6].

### Методика исследования

Диагностика минералов производилась с помощью оптического метода. Минеральные комплексы выделены на основе детального текстурного-структурного анализа руд, изучения состава горных пород и руд с использованием классического минералогического, петрографического и минераграфического анализов и цифрового поляризационного микроскопа Альтами ПОЛАР 3.

### Результаты

Проведенные исследования показали, что руды месторождения сложены пятью минеральными комплексами (табл. 1) [7-9]:

- серноколчеданным (пиритовым);
- медноколчеданным (пирит-халькопиритовым);
- колчеданно-медно-цинковым (пирит-халькопирит-сфалеритовым);
- колчеданно-полиметаллическим (пирит-халькопирит-галенит-сфалеритовым);
- свинцово-цинковым и существенно цинковым (галенит-сфалеритовым).

<sup>1</sup>Берикболов Б.Р. Меднорудные формации Казахстана. – Алматы: Ғылым, 1999. – 196 с.

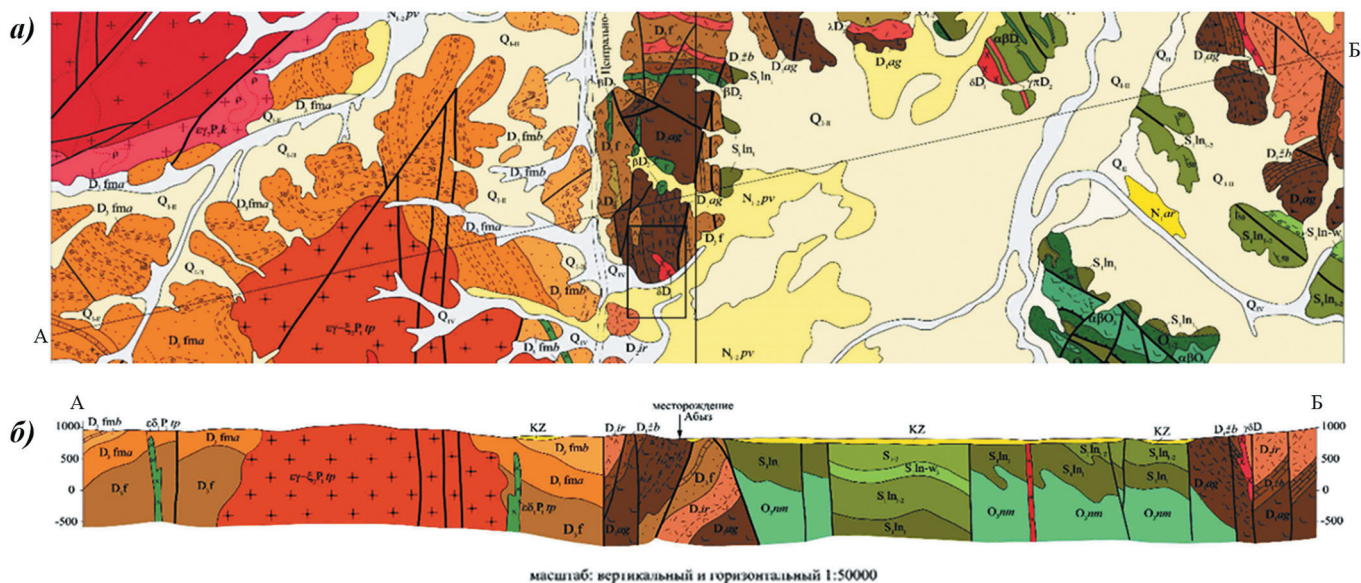
<sup>2</sup>Бекжанов Г.Р., Кошкин В.Я. и др. Геологическое строение Казахстана. – Алматы, 2000. – 396 с.

<sup>3</sup>Байбатша А.Б. Геология месторождений полезных ископаемых. – Алматы, 2008. – 322 с.

Руды медноколчеданного (пирит-халькопиритового) типа обычно приурочены к осадочно-вулканогенным толщам базальтоидных формаций или к кремнисто-терригенным образованиям. Рудные тела залегают в вулканических брекчиях и туфах, при этом размещение месторождений часто контролируется локальными вулканическими структурами. По текстурно-структурным особенностям различают массивные, слоистые и прожилково-вкрапленные руды. В их составе преобладают сульфиды железа (пирит, марказит) и халькопирит; второстепенные рудные минералы представлены сфалеритом, пирротинном, блеклыми рудами, галенитом. По химическому составу руды являются комплексными и могут содержать в промышленно извлекаемых количествах свинец, цинк, серу, теллур, золото, кадмий, индий, таллий, галлий. Процесс формирования месторождений обычно протекает в несколько этапов. Рудные тела часто обладают зональным строением, выражающимся в смене пиритовых руд пирит-халькопиритовыми от лежащего бока залежи к высечему. В халькопирите наблюдаются прожилки, выполненные пиритом. Отмечаются две разновидности пирита: мелкозернистый (0,01-0,02 мм) и крупнозернистый (0,02-0,5 мм). Последний образует прожилки или

выполняет промежутки между агрегатами первого. Содержание пирита в аншлифе составляет 35%. Сфалерит присутствует в виде ксеноморфных, гипидиоморфных образований размером от тысячных долей до 0,5 мм, находится в ассоциации с пиритом и халькопиритом. Встречаются эмульсионные выделения халькопирита в сфалерите. Содержание сфалерита 5-10%. Блеклая руда находится в ассоциации с пиритом и халькопиритом, образуя в них прожилки мощностью 0,005 мм, на ее долю приходится 1%. Галенит присутствует в количестве не более 1% и представлен мелкими (0,01 × 0,03 мм) призматическими зернами в халькопирите. Золото самородное зафиксировано в количестве 4 знака в виде включений в халькопирите, а также в ассоциации с пиритом. Форма золота изометричная, размер зерен от тонкодисперсного до 0,01 × 0,05 мм.

Колчеданно-полиметаллические (пирит-халькопирит-галенит-сфалеритовые) руды пространственно и генетически связаны с кислыми производными базальтоидного вулканизма и приурочены к вулкано-купольным и жерловым структурам, вулкано-тектоническим и межвулканическим депрессиям, зонам трещиноватости и разломам. Рудные тела имеют форму согласных пласто- и линзообразных залежей, нижние границы



1 – четвертичная система (голоцен), аллювиальные и озерные пески, галечники, супеси, суглинки, глины; **девонская система:** 2 – фаменский ярус (верхняя пачка), известковисто-кремнистые тонкослоистые алевролиты с прослоями известняков; 3 – фаменский ярус (нижняя пачка), алевролиты и песчаники сероцветные, реже красноцветные; 4 – верхний отдел (франский ярус), песчаники и алевролиты темно-серые с линзами органогенно-обломочных известняков; 5 – средний отдел (иргалинская свита), риолитовые, риодацитовые порфиры и их туфы, ингимбриты, прослой туфопесчаников; 6 – нижний отдел (айгыржалская свита), андезибазальтовые порфириты и их туфы, туфопесчаники, туфоалевролиты, риолиты и базальты; субвулканические образования: 7 – среднедевонские долериты и долеритовые порфириты; 8 – среднедевонские риолиты, трахидациты и дациты; **интрузивные образования:** 9 – топарский комплекс (вторая фаза внедрения), кварцевые сиениты, граниты субщелочные мелкозернистые.

**Рис. 1. Схематическая геологическая карта месторождения Абыз (а) и схематический геологический разрез по линии А-Б (б).**

**Сурет 1. Абыз кен орнының схемалық геологиялық картасы (а) және А-Б желісі бойынша схемалық геологиялық қима (б).**

**Figure 1. Simplified geological map of the Abyz deposit (a) and schematic geological section along the A-B line (b).**

Таблица 1

Схема последовательности минералообразования руд месторождения Абыз

Кесте 1

Абыз кен орны кендерінің минерал түзілу реттілігінің сызбасы

Table 1

The scheme of the sequence of mineral processing of ores of the Abyz deposit

Минералы	Минеральные комплексы руд				
	Серноколчеданные (пиритовые)	Свинцово-цинковые и цинковые (галенит-сфалеритовые)	Медноколчеданные (пирит-халькопиритовые)	Колчеданно-полиметаллические (пирит-халькопирит-галенит-сфалеритовые)	Колчеданно-медно-цинковые (пирит-халькопирит-сфалеритовые)
Золото	VI —————		VI —————	VI —————	IV —————
Пирит	I —————		II —————	I —————	I —————
Халькопирит	II —————	I —————	I —————	II —————	II —————
Галенит		III —————	V —————		
Блеклая руда	IV —————		IV —————	IV —————	
Сфалерит	III —————	II —————	III —————	III —————	III —————
Борнит	V —————	IV —————		Abstract. Андатпа. Аннотация. V —————	
Халькозин					
Текстура	Массивная, брекчиевая		Полосчатые, массивная	полосчатая	Полосчатые, массивные, брекчиевая
Структура	тонкозернистая		Цементоподобная, интерсерральная	гипидиоморфнозернистая	
Температура					

которых часто сложены крутопадающими апофизами и штокверковыми зонами. Главными рудными минералами являются пирит, сфалерит, галенит, реже – халькопирит, среди жильных преобладают кварц и барит.

Руды свинцово-цинкового (галенит-сфалеритового) типа локализуются в мощных толщах карбонатных пород – доломитов, известняков. Для таких типов руд характерны четкий стратиграфический и литологический контроль, отсутствие магматических комплексов, с которыми могло быть связано оруденение, согласные пластовые и линзовидные залежи многоярусного строения. Секущие жилы и трубообразные тела встречаются редко. Рудам свойственен простой минеральный состав. Главные минералы – сфалерит, галенит, пирит, кальцит, доломит, реже – барит; второстепенные – марказит, халькопирит, борнит, кварц, флюорит. Текстуры руд – полосчатые, прожилковые и послойные вкрапленные, структуры – мелкозернистые. Ценными компонентами здесь, кроме свинца и цинка, являются медь, серебро, золото.

В колчеданно-медно-цинковых рудах халькопирит образует тонкую неравномерную вкрапленность в сфалерите. В колломорфном пирите халькопирит локализуется между элементами зональной или радиально-лучистой внутренней структуры. Форма выделений халькопирита неправильная, размеры варьируют от сотых долей миллиметра до 1,5 мм. С халькопиритом, как правило, тесно ассоциируют блеклая руда и галенит. Совместно с последними, он также отмечается в поздних кварц-карбонатных прожилках. Галенит распространен локально, являясь одним из главных минералов лишь в свинцово-цинковой и полосчатой колчеданно-полиметаллической разновидностях руд. Локализуясь в зонах перекристаллизации мелкозернистого сфалерита, галенит замещает его с образованием петельчатых и реликтовых структур. Из характера взаимоотношений галенита с другими сульфидами следует, что он является наиболее поздним из них. Блеклая руда, хотя и является второстепенным рудным минералом, но распространена во всех разновидностях руд. По химическому

составу блеклые руды отвечают теннантиту (мышьяковистая разновидность) и теннантит-тетраэдриту (мышьяк-сурьмянистая разновидность). Относительно повышенное количество блеклых руд отмечено в колчеданно-медно-цинковых и колчеданно-полиметаллических разновидностях руд Восточного участка, где она образует аллотриоморфнозернистые сростания со сфалеритом, халькопиритом, галенитом и развивается между зерен пирита. Редко блеклая руда слагает относительно крупные (до 1-3 мм) самостоятельные выделения неправильной формы, в свою очередь, содержащие включения пирита, сфалерита и халькопирита.

#### Обсуждение результатов

По генетическому признаку все разновидности текстур можно подразделить на три группы:

- 1) текстуры отложения путем выполнения полостей отслоения и трещин;
- 2) текстуры, образованные путем метасоматоза;
- 3) текстуры, возникшие в результате наложения разных стадий оруденения.

Для первой группы характерны массивные текстуры, имеющие распространение во всех разновидностях сплошных руд. В серноколчеданных рудах массивная текстура обусловлена равномерным распределением кристаллически-зернистого и метаколлоидного пирита, слагающего тонкодисперсные и тонкозернистые агрегаты, пустоты в которых заполнены нерудными минералами и редкими поздними сульфидами; в медноколчеданных – сравнительно равномерным распределением халькопирита в промежутках преобладающего тонкозернистого пирита; в свинцово-цинковых – относительно равномерным распределением галенита в преобладающем тонкозернистом агрегате сфалерита.

Вторая группа представлена вкрапленными и прожилково-вкрапленными текстурами. Вкрапленная и густовкрапленная текстура характеризуется развитием во вмещающих метасоматитах вкраплений сульфидов и их сростков размером от десятых долей до 1-1,5 мм.

Выделяется также гнездово- или пятнисто-вкрапленная текстура, обусловленная наличием относительно крупных (1,5-2-5 см) обособлений

сфалеритового или халькопирит-пиритового состава. Прожилково-вкрапленная текстура пространственно совмещена с гнездово-вкрапленной и характеризуется, кроме вкрапленности, развитием сульфидных и кварц-сульфидных прожилков.

Третья группа характеризуется разнообразием текстур (полосчатые, брекчиевые, текстуры пересечения). Полосчатые текстуры характерны для колчеданно-медно-цинковых и колчеданно-полиметаллических разновидностей сплошных руд. Они обусловлены чередованием разноминеральных полос от долей сантиметра до 10 см: пирит; пирит-халькопирит; сфалерит или сфалерит-галенит (реже). Образование полосчатых текстур связано с наложением на ранние серноколчеданные и медноколчеданные руды более поздних сфалеритовых и галенит-сфалеритовых. Брекиевые текстуры развиты в серноколчеданных и медноколчеданных разновидностях руд и образованы в результате дробления агрегатов раннего пирита с последующей цементацией их перетертым материалом этого же состава или сфалеритовым агрегатом. Текстуры пересечения широко проявлены во всех разновидностях сплошных руд. Они образованы поздними прожилками в ранних рудах: в пирите – секущие прожилки халькопиритового, халькопирит-сфалеритового, халькопирит-галенит-блекло-рудного состава; в сфалерите – прожилки галенита с халькопиритом. Структуры руд весьма разнообразны:

- метаколлоидная, аллотриоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая, интерсертальная, субграфическая, пойкилитовая (структуры отложения);
- эмульсионная (структуры распада твердых растворов);
- петельчатая, реликтовая, скелетная, пересечения, периферийных каемок (структуры замещения);
- катакластическая (метаморфогенные структуры).

#### Заключение

Изучены минеральные комплексы и условия формирования медно-колчеданного месторождения Абыз. Установлено, что руды сложены пятью минеральными комплексами. Многостадийность формирования руд обуславливает разнообразие их текстурно-структурных особенностей.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мазуров А.К., Кряжева Т.В., Байболова Ш.Ж. Геологические особенности рудообразования золото-колчеданно-полиметаллического месторождения Абыз. // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2019. – С. 13-18. (на русском языке)
2. Мазуров А.К., Рудмин М.А., Байболова Ш.Ж., Кряжева Т.В. Колчеданные месторождения энзиматических островных дуг Казахстана на примере месторождения Абыз. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 231. – №4. – С. 28-37 (на русском языке)
3. Wang Y., Guang Pu, Xie Yu, Fen Xi. Характеристика и механизм обогащения золото-серебряных минералов в подводных гидротермальных сульфидах сверхмедленного распространения SWIR. // Спектроскопия и спектральный анализ. Школа морских наук. Университет Сунь Ятсена. – Гуанчжоу (Китай): Научная пресса, 2014. – Vol. 34. – №12. – С. 3327-3332 (на английском языке)
4. Симонов В.А., Ковязин С.В., Тереня Е.О., Масленников В.В. Физико-химические параметры магматических и гидротермальных процессов на Яман-Касынском массивном сульфидном месторождении, Южный Урал. // Геология рудных

- месторождений. Институт геологии и минералогии СО РАН. – Новосибирск: Майк Наука-Интерпериодика, 2006. – Т. 48. – №5. – С. 369-383 (на русском языке)
5. Мирошниченко Л.А., Жуков Н.М. Геодинамические обстановки формирования и перспективные оценки меденосных металлогенических комплексов Казахстана. // Известия НАН РК. Серия геологическая. – 2006. – №6. – С. 10-17. (на русском языке)
  6. Байболова Ш.Ж., Кряжева Т.В., Мазуров А.К. Геология и типы руд месторождения Абыз. // XXIII Международный научный симпозиум им. акад. М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск, 2019. – С. 140-142 (на русском языке)
  7. Абдуллин А.А., Каюпов А.К. Металлогения Казахстана. Рудные формации. Месторождения руд меди. – Алматы: Наука, 1978. – С. 6-18 (на русском языке)
  8. Мазуров А.К. Металлогения и оценка рудоносности металлогенических комплексов островных дуг. // Геология и охрана недр. – 2002. – Т. 3. – С. 2-10. (на русском языке)
  9. Байболова Ш.Ж. Геология и вещественный состав руд месторождения Абыз. // Международная научно-техническая интернет-конференция «Инновационное развитие ресурсосберегающих технологий добычи и переработки полезных ископаемых». – Петрошани (Румыния), 2019. – С. 63-65. (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Мазуров А.К., Кряжева Т.В., Байболова Ш.Ж. Абыз алтын-пирит-полиметалл кенінің кен түзуінің геологиялық ерекшеліктері. // Қазақстанның кен журналы. – Алматы, 2019. – Б. 13-18 (орыс тілінде)
2. Мазуров А.К., Рудмин М.А., Байболова Ш.Ж., Кряжева Т.В. Қазақстандағы анзиматикалық арка догаларының пирит кен орындары Абыз кен орнының мысалында. // Томск политехникалық университетінің жаңалықтары. Георесурсстар инжинирингі. – 2020. – Т. 231. – №4. – Б. 28-37 (орыс тілінде)
3. Wang Y., Guang Pu, Xue Yu, Fen Xi. Өте баяу таралатын SWIR-дан су асты гидротермиялық сульфидтеріндегі алтын-күміс минералдарының байытылу сипаттамасы мен механизмі. // Спектроскопия және спектрлік талдау. Теңіз ғылымдары мектебі. Сунь Ятсен университеті. – Гуанчжоу (Қытай): Ғылыми баспасөз, 2014. – Шығ. 34. – №12. – Б. 3327-3332 (ағылшын тілінде)
4. Симонов В.А., Ковязин С.В., Тереня Е.О., Масленников В.В. Яман-Қасы массивті сульфидті кен орнындағы магмалық және гидротермиялық процестердің физико-химиялық параметрлері, Оңтүстік Орал. // Кенді кен орындарының геологиясы. Геология және минералогия институты. Сібір бөлімі, Ресей ғылым академиясы. – Новосибирск: Майк Наука-Интерпериодика баспасы, 2006. – Т. 48. – №5. – Б. 369-383 (орыс тілінде)
5. Мирошниченко Л.А., Жуков Н.М. Геодинамикалық орта және Қазақстанда мыс бар металлогендік кешендердің перспективалық бағасы. // ҚР ҰҒА Известия. Геологиялық серия. – 2006. – №6. – Б. 10-17 (орыс тілінде)
6. Байболова Ш.Ж., Кряжева Т.В., Мазуров А.К. Абыз кен орнының геологиясы мен кендердің түрлері. // Академик М.А. Усов студенттер мен жас ғалымдар «Геология мен минералды ресурстарды игеру мәселелері». – Томск, 2019. – Б. 140-142 (орыс тілінде)
7. Абдуллин А.А., Каюпов А.К., Қазақстан металлогениясы. Кенді түзілімдер. Мыс кендерінің кен орындары. – Алматы: Ғылым, 1978. – Б. 6-18 (орыс тілінде)
8. Мазуров А.К. Металлогени мен рудоносности металлогенических комплексов асты қазылды. // Геология және жер қойнауын қорғау. – 2002. – Т. 3. – Б. 2-10 (орыс тілінде)
9. Байболова Ш.Ж. Абыз кені кендерінің геологиясы мен материалдық құрамы. «Пайдалы қазбаларды өндіру мен өңдеудің ресурс үнемдеу технологияларының инновациялық дамуы» Халықаралық ғылыми-техникалық интернет-конференция. – Петросани (Румыния), 2019. – Б. 63-65 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Mazurov A.K., Kryazheva T.V., Baybolova Sh.Zh. *Geologicheskie osobennosti rudoobrazovaniya zoloto-kolchedanno-polimetallicheskogo mestorozhdeniya Abyz [Geological features of ore formation of the Abyz gold-pyrite-polymetallic deposit]. // Gornyy zhurnal Kazakhstana = Mining Journal of Kazakhstan. – Almaty, 2019. – P. 13-18 (in Russian)*

2. Mazurov A.K., Rudmin M.A., Baibolova Sh.Zh., Kryazheva T.V. Kolchedannye mestorozhdeniya e'nsimaticeskix ostrovnyx dug Kazaxstana na primere mestorozhdeniya Abyz [Pyrite deposits of ensimatic island arcs in Kazakhstan on the example of the Abyz deposit]. // *Izvestiya TPU. Inzhiniring georesursov. = Proceedings of the Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering.* – 2020. – T. 231. – №4. – P. 28-37 (in Russian)
3. Wang Y., Guang Pu, Xue Yu, Fen Xi. The enrichment characteristic and mechanism of gold-silver minerals in submarine hydrothermal sulfides from the ultra-slow-spreading SWIR. // *Spectroscopy and Spectral Analysis. School of Marine Sciences. Sun Yatsen University.* – Guangzhou (China): Science Press, 2014. – Vol. 34. – №12. – P. 3327-3332 (in English)
4. Simonov V.A. Kovyazin S.V., Terenya E.O., Maslennikov V.V. Fiziko-ximicheskie parametry magmaticshekix i gidrotermal'nyx processov na Yaman-Kasynskom massivnom sul'fidnom mestorozhdenii, Yuzhnyj Ural [Physicochemical parameters of magmatic and hydrothermal processes at the Yaman-Kasy massive sulfide deposit, the southern Urals]. // *Geologiya rudnyx mestorozhdenij. Institut geologii i mineralogii SO RAN = Geology of Ore Deposits. Institute of Geology and Mineralogy of Siberian Division of Russian Academy of Sciences.* – Novosibirsk: Maik Nauka-Interperiodica, 2006. – Vol. 48. – №5. – P. 369-383 (in Russian)
5. Miroschnichenko L.A., Zhukov N.M. Geodinamicheskie obstanovki formirovaniya i perspektivnye ocenki medenosnyx metallogenicheskekix kompleksov Kazaxstana [Geodynamic conditions of formation and perspective estimates of copper-bearing metallogenic complexes of Kazakhstan]. // *Izvestiya NAN RK. Seriya geologicheskaya. = News of NAS RK. Geological series.* – 2006. – №6. – P. 10-17 (in Russian)
6. Baybolova Sh.Zh., Kryazheva T.V., Mazurov A.K. Geologiya i tipy rud mestorozhdeniya Abyz [Geology and types of ores of the Abyz deposit]. // *XXIII Mezhdunarodnyj nauchnyj simpozium im. akad. M.A. Usova studentov i molodyx uchenyx «Problemy geologii i osvoeniya nedr» = XXIII International Scientific Symposium named after academician M.A. Usov students and young scientists «Problems of geology and subsurface development».* – Tomsk, 2019. – P. 140-142 (in Russian)
7. Abdullin A.A., Kayupov A.K. Metallogeniya Kazaxstana. Rudnye formacii. Mestorozhdeniya rud medi. [Metallogeny of Kazakhstan. Ore formations. Deposits of copper ores]. – Almaty: Nauka = Science, 1978. – P. 6-18 (in Russian)
8. Mazurov A.K. Metallogeniya i ocenka rudonosnosti metallogenicheskekix kompleksov ostrovnyx dug [Metallogeny and assessment of the ore content of metallogenic complexes of island arcs]. // *Geologiya i ohrana nedr = Geology and protection of mineral resources.* – 2002. – Vol. 3. – P. 2-10 (in Russian)
9. Baibolova Sh.Zh. Geology and material composition of the ores of the Abyz deposit. «Innovative development of resource-saving technologies for mining and mineral processing» International scientific and technical internet conference. – Petroşani (Romania), 2019. – P. 63-65. (in English)

#### Сведения об авторах:

**Кряжева Т.В.**, канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан), [kryazheva\\_t@mail.ru](mailto:kryazheva_t@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-2804-020X>

**Байболова Ш.Ж.**, докторант кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан), [baibolova-sh@mail.ru](mailto:baibolova-sh@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-3163-173X>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Кряжева Т.В.**, геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Байболова Ш.Ж.**, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан)

#### Information about the authors:

**Kryazheva T.V.**, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor at the Department «Geology and Exploration of Mineral Deposits» of the Non-Profit Joint-Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

**Baibolova Sh.Zh.**, Doctoral Student at the Department «Geology and Exploration of Mineral Deposits» of the Non-Profit Joint-Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Код МРНТИ 52.13.25

Р.Қ. Қамаров, В.Ф. Демин, С.В. Барсуков, Е.А. Абдрахман

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

## ДАЯРЛАУ ҚАЗБАЛАРЫНДА ЖЫНЫСТАРДЫҢ ІСІНУІНІҢ БІЛІНУІН ЗЕРТТЕУ

**Андатпа.** Жерасты тау-кен қазбаларында жыныстардың ісінуі тау-кен қысымының әсерлері түрінің бірі деп саналады. Бұл құбылысқа ең негізгі себептердің бірі қазбалардың сулануы және соның әсерінен балшықты жыныстардың суланып жібуі. Тау-кен қазбаларын жүргізу табанда уақыт бойынша ұлғаятын серпінді-тұтқырлық деформацияны тудырады. Бұл аймақтың ішінде пластикалық аймақ пайда болады. Ол уақыт өте келе өзінің мөлшерін өзгертеді. Пластикалық аймақтың әртүрлі бөліктеріндегі жыныстардың кернеулік күйі әр түрлі болады. Бұл әртүрлі деформацияларға әкеледі. Қазбаның бүйірлер мен табан жыныстарының пластикалық және беріктік қасиеттерінің айырмашылықтарының төмендеуі кезінде деформациялық үдірістердің сипаты өзгереді. Жыныстардың ісінуіне қарсы күресу тиімді әдісін табу үшін қосымша шаралар өткізу қажет. Жұмыста, шахта жағдайларында өткізілген зерттеулер негізінде тау-кен қазбаларында табан жыныстарының ісінуіне қарсы күресу әдістері ұсынылады.

**Түйінді сөздер:** тау-кен қазбасы, қазба табаны, тау-кен қысымы, жыныстардың ісінуі, деформация, даярлау қазбасы, тау жыныстарының тұрақтылығы, қарнақ бекітпе.

### Исследования проявлений пучения пород в подготовительных выработках

**Аннотация.** Пучение пород в подземных горных выработках является одной из наиболее распространенных разновидностей проявления горного давления. Одним из условий, создающих пучение подготовительной выработки, является обводненность выработок и высокая чувствительность глинистых пород к размочению. Проведение горной выработки обуславливает в почве упруго-вязкие деформации, усиливающиеся во времени. Внутри этой зоны образуется пластическая область, которая также изменяет свои размеры во времени. Напряженное состояние пород в различных частях пластической области будет различным, что приводит к разным деформациям. При уменьшении различия прочности и пластических свойств пород почвы и боков выработки изменяется характер деформационных процессов. При выборе способа борьбы с пучением в первую очередь определяется необходимость применения дополнительных мероприятий. На основе проведенных в шахтных условиях исследований в работе предлагаются меры борьбы с пучением горных выработок.

**Ключевые слова:** горная выработка, почва выработки, горное давление, пучение пород, деформация, подготовительная выработка, устойчивость пород, крепь анкерная.

### Investigations of the rock heaving manifestations in development workings

**Abstract.** The rock heaving in underground minings is one of the most common varieties of manifestation of rock pressure. One of the conditions creating a heaving of developing roadways is watering of workings and the high sensitivity of clay rocks to soaking. Mountain production causes elastically viscous deformations in the soil, increasing over time. Inside this zone, a plastic region is formed, which also changes its dimensions over time. The intense state of rocks in various parts of the plastic region will be different, which leads to different deformations. With a decrease in the difference in the strength and plastic properties of the soil breeds and the sides of production, the nature of deformation processes changes. When choosing a method of combating heaving, first of all, the need for additional measures is determined. Based on the research conducted in the mine conditions, the paper proposes measures to combat heaving of mine workings.

**Key words:** mine working, drift floor, rock pressure, rock heaving, deformation, development working, rock heaving, rigidity of rocks, roof bolting, underground minings.

### Өзектілігі

Жерасты тау-кен қазбаларында жыныстардың ісінуі тау қысымының білінуінің кең түрлері болып саналады. Ол көмір кентіректерінің астынан жұмсақ жыныстардың сығылуы арқасында серпінсіз деформациялар аймағының пайда болуынан тұрады.

Даярлау тау-кен қазбаларында жыныстардың ісінуінің білінуінің негізгі шарттары болып мыналар саналады:

- негізгі жыныстар мен ісінуші қатпар жыныстарының механикалық көрсеткіштерінің күрт айырмашылықтары;

- кен-геологиялық және технологиялық факторлардың әсерлері.

Даярлау қазбасының жалаңаштанған жыныстарының және оған іргелес жыныстардың тұрақтылығы тау жыныстарының физика-механикалық қасиеттеріне және оларға әсер етуші кернеулерге байланысты. Олар жоғары жатқан жыныстардың қазындыларымен,

тектоникалық үдірістермен және тау-кен жұмыстарын жүргізумен ерекшеленген. Көмір шақтыларында тау қысымының білінуіне басты себеп болып көмір тақталарының табанында берік емес жыныс қатпаршаларының болуы саналады.

### Әсер ететін факторлар

Тау-кен қазбалары табандарының ісінуін құраушы жағдайлардың бірі болып қазбалардың сулануға және саздақ жыныстардың жуылуға жоғары сезімталдығы саналады. Қазбаның табаны толығымен

Кесте 1

**Бірдей тереңдікте жыныстардың ісіну жылдамдығы туралы мәлімет (В.А. Латыкин бойынша)**

Таблица 1

**Сведения о скорости пучения пород на одинаковой глубине (по В.А. Латыкину)**

Table 1

**Information on the rate of rocks heaving at the same depth (according to V.A. Latykin)**

Тақтаның өзінің табанының жыныстары	Өзінің табанының қуаты, м	Жыныстардың ісінуінің орташа жылдамдығы, мм/айына
Құмтасты тақтатаc	0,5	50-120
Сазды тақтатаc	0,5-0,6	60-80
Сазды және құмтасты тақтатаcтар	0,75	100-150
Сазды тақтатаc	1,2	100-600
Құмтасты тақтатаc	2,6	500-6

1Максимов А.П. Тау қысымы және қазбалар бекітпесі. – М.: Жер қойнауы, 1973. – 250 б. (орыс тілінде)



суға қаныққан кезде сазды тақтастардың беріктігі екі есе және одан көп азаяды. Жыныстардың беріктігі бойынша қазба табанының қарқынды ісінуіне әлсіз жыныстар қатпаршаларының қуаттылықтары әсер етеді<sup>1</sup> (кесте 1).

Жан-жақты сығылу жағдайында төбе, бүйірлер және табан жыныстарының беріктік шамашарттарының шамалы айырмашылықтарымен жыныстардың деформациясы қазбаның бүкіл периметрі бойынша жүзеге асырылады. Бұндай жағдайда қазбаның бастапқы радиусының ұлғаюымен кернеу тензорының тангенциальды тұтастырылуы артады, ал нұсқаның ығысуы өседі. Осыған байланысты табанның ісінуін қатаң екі түрге ажырату қажет: қазбаның айналасындағы жыныс шыңтастарының кернеулі-деформациялық күйі бойынша; кентіректердің астындағы жыныстардың сығымдалуы бойынша.

Тау-кен қазбаларын жүргізу табанда уақыт бойынша ұлғаятын серпімді-тұтқырлық деформацияны тудырады. Бұл аймақтың ішінде пластикалық аймақ пайда болады. Ол уақыт өте келе өзінің мөлшерін өзгертеді. Пластикалық аймақтың әртүрлі бөліктеріндегі жыныстардың кернеулік күйі әр түрлі болады. Бұл әртүрлі деформацияларға әкеледі. Қазбаның бүйірлер мен табан жыныстарының пластикалық және беріктік қасиеттерінің айырмашылықтарының төмендеуі кезінде деформациялық үдірістердің сипаты өзгереді.

Даярлау қазбалардың табан жыныстарының деформациялануы тереңдік қадабелгілері станцияларының көмегімен зерттеледі. Тазартпа жұмыстарының әсерлеріне ұшырамайтын қазбаларда (деформацияның бірінші түрі) табан жыныстары қатпаршаларының деформациялары шамалы кеңеюден тұрады. Олардың шамалары үлгілер бойынша алынған жыныстардың ( $15 \times 10^{-3}$  м)

Кесте 2

Тақталық қазбаларды қорғаудың әр түрлі әдістері кезінде критеридің  $\Omega$  шектік мәндері

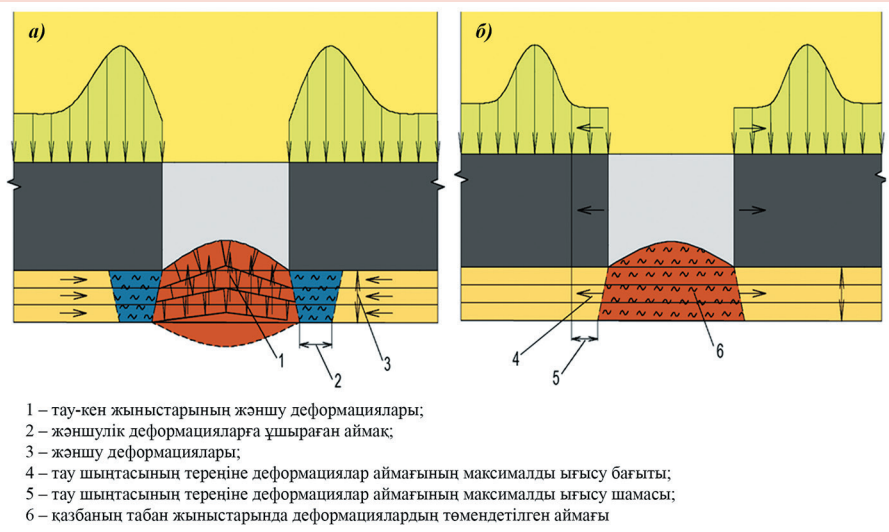
Таблица 2

Предельные значения критерия  $\Omega$  при различных способах охраны пластовых выработок

Table 2

Limit values of the  $\Omega$  criterion for various methods of seam workings protection

Тақталық қазбаларды қорғаудың тәсілдері	Ісінумен күресу бойынша шараларды жүргізудің қажеттілігі кезіндегі $\Omega$ мәні	
	жыныстардың	көмірлердің
Лава кенжарының артындағы шыңтаста жойылатын қазбаның орналасуы	0,5-тен жоғары	0,25-тен жоғары
Жасанды ғимараттардың көмегімен қайтадан пайдалануға арналған лава кенжары артындағы қазбаны сақтау	0,35-тен жоғары	0,15-тен жоғары
Кен алынған кеңістікке қазбаны орналастыру	0,65-тен жоғары	0,2-ден жоғары
Лава артындағы кен алынған кеңістікке қазбаны орналастыру	0,8-ден жоғары	–



Сурет 1. Қазбаның бүйірлерінде төмендетілген деформациялардың пайда болуымен тау-кен қазбалары табанының ісінуін болдырмаудың тәсілі.

Рис. 1. Способ предотвращения пучения почвы горной выработки с образованием в боках выработки пониженных деформаций.

Figure 1. A method of preventing rock heaving of a mine working with the formation of reduced deformation in the sides of the working.

<sup>2</sup>Тау-кен энциклопедиясы: www.mining-enc.ru. (орыс тілінде)

<sup>3</sup>Демин В.Ф., Алиев С.Б., Исабек Т.К., Мельник В.В., Долгоносков В.Н., Кушеков К.К. Жерасты тау-кен жұмыстарын жүргізу кезінде геомеханикалық үдірістерді басқару. – Қарағанды, 2012. – 278 б. (орыс тілінде)

<sup>4</sup>Вылегжанин В.Н., Егоров П.В., Мурашев В.И. Геомеханикалық үдірістердің механизміндегі тау шыңтасының құрылымдық модельдері. – Новосибирск: Ғылым, 1990. – 295 б. (орыс тілінде)

<sup>5</sup>Судариков А.Е. Жерасты ғимараттары механикасының негіздері: оқу құралы. – Қарағанды: ҚарМТУ, 2003. – 74 б. (орыс тілінде)

<sup>6</sup>Черняк И.Л., Бурчаков Ю.И. Терең шақтылардың даярлау қазбаларындағы тау қысымын басқару. – М.: Ғылым, 1984. – 304 б. (орыс тілінде)

<sup>7</sup>Широков А.П., Лидер В.А. және т.б. Қарнақты бекітпе: анықтамалық. – М.: Ғылым, 1990. – 205 б. (орыс тілінде)

<sup>8</sup>Цай Б.Н. Тау жыныстарының беріктігінің термоактивті табиғаты. – Қарағанды: ҚарМТУ, 2007. – 204 б. (орыс тілінде)

**Қазбаларды күтіп ұстау шарттарының жіктелуі**

Кесте 3

**Классификация условий поддержания выработок**

Таблица 3

**Classification of conditions for mine workings maintaining**

Table 3

Қазбаларды күтіп ұстау шарттары	Rc/ҮН
Жеңіл	3,5-тен жоғары
Орташа	1,7-3,5
Ауыр	1,7-ден төмен

салыстырмалы бойлық деформациясынан аз. Деформациялардың толығымен басылуы 150-300 тәуліктен кейін байқалады<sup>2-6</sup>.

Деформацияның екінші түрі кезінде табан нобайында (нұсқасында) жыныстардың бұзылу аймағы орналасады. Ондағы жыныстардың бұзылу коэффициенті уақыт өткен сайын ұлғаяды. Бірақта бұл ұлғаю басылу сипатына ие. Бұзылған аймақтың мөлшері 2-3 м, ал жыныстардың кеңею коэффициенті 1,02-1,03 жетеді. Әрі қарай бұзылу аймағының артында 5-6 м тереңдікке дейін жылжымалы деформациялар аймағы (серпімді-тұтқырлық деформациялар) орналасады. Бұл аймақтағы жыныстардың деформациялану сипаты да басылымды. Қатпарлардың салыстырмалы деформациясы  $(10...15) \times 10^{-3}$  м құрайды, яғни 2 есені және бұзылу аймағындағы деформациядан кем емес.

Деформацияның үшінші түрі кезінде қазбаны өтудің (жүргізудің) артында нобайға (нұсқаға) жақындау жыныстардың қатпарлары бұзылады. Жыныстардың кеңею коэффициенті 1,1 жетеді. 2-3мм тереңдікте жыныстардың бұзылысы кейбір кешеуілдікпен басталады, яғни жыныстардың ұзақ мерзімді бұзылуы байқалады. 3-6 м-ден астам тереңдікте жыныстар жылжымалы деформацияға ұшырайды.

Қазбаның ені бойынша жыныстардың ығысуын салыстырғанда, қазбаның ортасындағы табан жыныстарының деформациялану қарқындылығы бүйірлерге қарағанда біршама жоғары<sup>7,8</sup>.

Серпімді емес деформациялар аймақтарының пайда болуы кезінде ісінудің білінуі жыныс шыңтас-тарының кернеулік күйімен, яғни жер бетінен алғандағы тереңдікпен

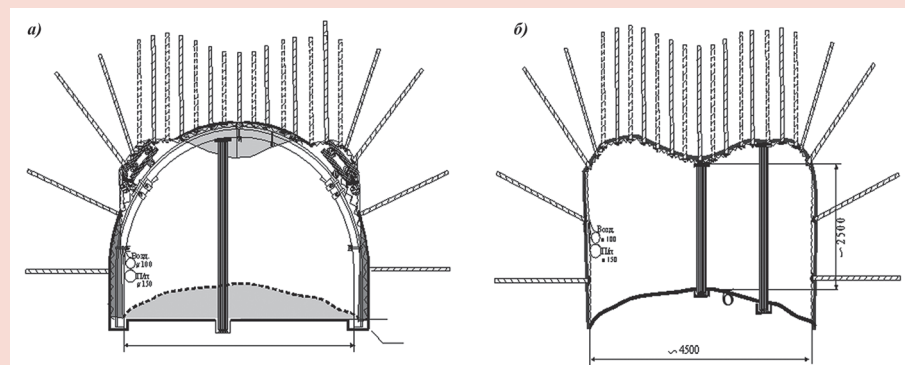
байланысты. Тау-кен жұмыстары тереңдігінің жоғарылауы арқасында тақталардың салыстырмалы саны табан жыныстарының ісінуінің білінуімен айтарлықтай артады.

Қазбаларды қоршаған жыныстарда ісіну қатпарлары болған жағдайда басты мәселе болып ісінудің көлемін анықтау, яғни қазбаның ұзындығын

немесе табанның аумағын бірлікке шаққандағы жыныстардың ісіну көлемін анықтау саналады. Ісіну көлемін осылай бағылай отыра, қазбаның табаның бекіту, сондай-ақ, бұл бекітпенің конструкциясы мен пішіні жөнінде қажетті сұрақтарды әрқашан дұрыс шешуге болады.

**Ісінуге қарсы күресудің технологиялық әдістері**

Жыныстардың ісінуі бойынша күрес тәсілін таңдау кезінде ең алдымен қосымша шараларды қолданудың қажеттілігі анықталады. Осы анықтамадан кейін қорғау әдістерін қолдану мүмкіндіктері бағаланады. Ол кен-геологиялық жағдайлармен және қажетті жұмыстарды орындауға арналған қолдағы бар тәсілдермен шартталанады. Мысалы, 1 – сурет – қазбаның



**Сурет 2. «АрселорМиттал Теміртау» КД АҚ Саран шақтысының 7 көкжиек қ, басты конвейер еңісінде табанның (а) және төбенің (б) деформациялануы.**

**Рис. 2. Деформации почвы (а) и кровли (б) в главном конвейерном уклоне к, 7 гор. шахты Саранская УД АО «АрселорМиттал Темиртау».**

**Figure 2. Deformations of the soil (а) and roof (б) in the main conveyor slope к, 7 horizon of the Saranskaya mine CD JSC «ArcelorMittal Temirtau».**



**Сурет 3. Қазбалардың ортасы бойынша (а) және қазбалардың бүйірлері бойынша (б) деформация, және оларды өлшеу (с).**

**Рис. 3. Деформации выработок по середине (а) и по бокам выработок (б) и их измерение (с).**

**Figure 3. Deformations of the workings in the middle (а) and on the sides of the workings (б), and their measurement (с).**

бүйірлерінде төмендетілген деформациялардың пайда болуымен тау-кен қазбалары табанының ісінуін болдырмаудың тәсілі.

Тау-кен қазбаларының табан жыныстарының ісінуімен күресудің барлық шаралары 4 топқа бөлінеді: қолайлы техникалық және кен-геологиялық жағдайларды пайдалану; жыныс шыңтастарын түсіру; қазбаның айналасындағы жыныстарды бекемдеу; құранды тәсілдер.

*Тау-кен қазбаларының табан жыныстарының ісінуін болдырмаудың тәсілдері*

Созылыңқы тік кернеулердің пайда болуымен қазбаның төбесі мен табанында түсіру аймағының құрылу фактілері байқалынады. Бұл аймақтар қазбаның төбесінде жыныстардың құлау күмбезінің дамуын және табанның ісінуін қоздырады. Бұл қазба бүйірлерінің сығылуын шоғырландыруға мүмкіндік туғызады.

Әлсіз су басылған жыныстар қазба табанының ісінуіне себепкер болады. Терең горизонттарда тік ығысудың ісіну үлесі 70-90% жетеді. Табан жыныстардың ісінуімен күрестер бойынша шараларды жүргізу қажеттілігін алдын-ала анықтайтын қазбаларды күтіп ұстаудың шарттарын келесі критериймен белгілеуге болады [1, 2]:

$$\Omega = 0,025H/R_c,$$

мұндағы:

$H$  – қазбаның орналасу тереңдігі, м;

$R_c$  – табан жынысының қарысуы, МПа.

Қазбаның табанында орналасқан жыныстардың және көмірдің ісінуі бойынша қазбаларды күтіп ұстау шарттарының критерийлері 2 – кестеде келтірілген [3].

Көмір тақталарының қазу тереңдігінің ұлғаюымен тау-кен қазбаларын өту және күтіп ұстау шарттары күрделене түседі. Бұған себеп тау-кен жыныстарының кернеулік күйлерінің үдеуі. Тереңдікке байланысты жыныстардың беріктік қасиеттерінің артуына қарамастан қазбаға түсетін қысым күшейеді, жыныстардың ісінуге бейімділігі білінеді, динамикалық құбылыстар пайда болады (көмір мен газдың кенеттен лақтырысы, тау соққысы). Үлкен тереңдіктерге тау-кен қазбаларының жағдайын нашарлататын және тау

қысымының біліну сипатын едәуір өзгертетін деңгейжиектер жатады.

Қазбаларды өтудің және күтіп ұстаудың шарттары бойынша бақылаулардың негізінде тереңдіктер келесі түрлерге ажыратылады: кіші (300 м-ге дейін), орташа (300-600 м) және үлкен (600 м-ден жоғары). Қазбаларды күтіп ұстау шарттарын салғастыру үшін келесі көрсеткіштерді пайдалануға болады  $R_{c/Y}H$  және  $R_{сo/Y}H$  (3 кесте).  $R_{сo}$  –  $10 \text{ см}^2$  аудан құрайтын үлгінің қысуға табан жыныстардың қарысуы, МПа;  $Y$  – жыныстың тығыздығы, МН.

2 және 3 – суреттерде Қарағанды көмір бассейнінің «Саран» шақтысының 7 гор. қ, басты конвейер еңісінде табанның және төбенің деформациялануы көрсетілген.

Қазіргі кезде көмір тақталарының қазу тереңдігінің ұлғаюымен Қарағанды көмір бассейнінде даярлау қазбаларының табан жыныстарының ісінуіне қарсы күрестің қажеттілігі тууда. Жыныстардың ісінумен күресудің негізгі әдістерінің бірі болып тау-кен қазбалары табандарын қопару саналады. Бұл әдіс айтарлықтай кемшіліктерге ие. Тау-кен қазбаларының табандарын қопару жұмыстары технологиялық тұрғыдан қарағанда күрделі және табан жыныстарының ісінуімен күресуде шығынды әдіс болып саналады. Әсіресе құны қымбат жабдықтарды қолдану кезінде. Қазбаның бүйірлеріне қарнақты

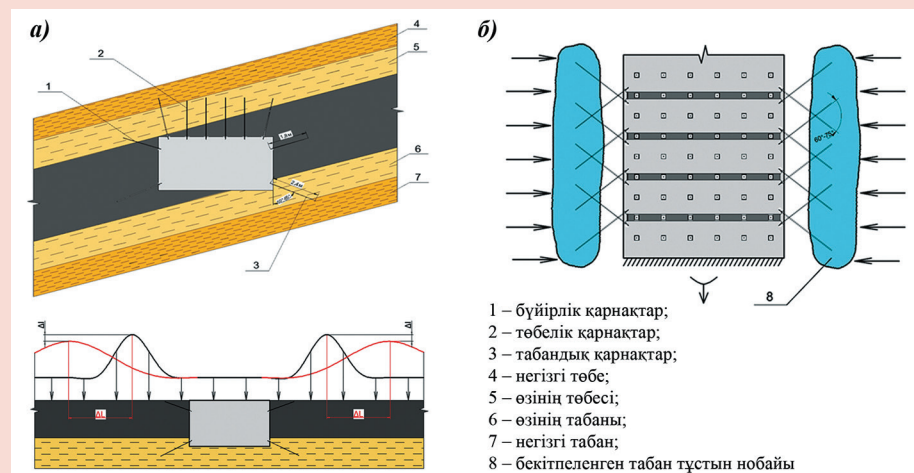
бекітпелерді орнатудың технологиясы бұл кемшіліктерді айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік жасайды.

### Табан жыныстарды бекіндірудің технологиясы

Табан жыныстарды бекіндірудің технологиясы<sup>3</sup>, тау-кен қазбасының бүйірлеріне шыны талшықтан жасалған табандық қарнақтарды орнатуды қарастырады. Қарнақтар қазбаның табанынан 0,2-0,4 м қашықтыққа орнатылады. Қарнақтар әр 0,5-0,7 м сайын бір-біріне қыса қазбаның құлама бұрышына 50-65° бұрышпен орнатылады (4 сурет).

Технологиялық нәтиже мынаны қорытындылайды: тазартпа жұмыстарының әсер ету аймағында қарнақты бекітпенің жұмыс әсерлігін қамтамасыздандырудың арқасында жөндеу жұмыстарына жұмсалынатын қосымша шығындарсыз оны пайдаланудың барлық кезеңінде қазбаның тұрақтылық күйін сақтап қалуды. Бұндай жағдайда тазартпа жұмыстарының шебін даярлау кезінде бұл қазбаны қайтадан пайдалануға мүмкіндік туғызады.

Қойылған міндет келесідей жүзеге асырылады. Тау-кен қазбаларының табан жыныстарының ісінуімен күрестің тәсілі мыналарды құрайды: қазбаны өту және оның бүйірлерінен табанға көлбеу қарнақтарды орнатуды; қазбаны өту кезінде бір мезгілде табан қатпарларының қуаттылығы және



Сурет 4. Тау-кен қазбаларының бүйірлеріне қарнақты бекітпені орнатудың технологиясы.

Рис. 4. Технология установки анкерного крепления в бока горной выработки.

Figure 4. Technology for roof bolting installing in the sides of a mine working.

бұл қатпарлар бойынша механикалық түйісудің әлсіздік дәрежесі анықталынады; қазбаның бүйірлері мен табанына қадабелгілері орнатылады және оларға жақындап қалғанда механикалық түйісудің әлсіздік дәрежесін арттыру бойынша табанның ісіну қатпарларының қуаттылығы анықталынады; қарнақтар тік бағыттала 20-30° бұрышпен орнатылады; қарнақтың ұзындығы есептік формула бойынша анықталынады; ісіну қатпарларының қуаттылығы анықталынғаннан кейін қазбаның бүйірлерінен табанға болатты-полимерлі қарнақ орнатылады (мысалы, 2,4 м ұзындықты), ал олардың тақталануға құлама бұрышы 30-45° ( $\alpha$ ); ампуланың көмегімен теспелерге қарнақтарды бекітпелегеннен кейін қарнақтардың айналасында жыныс блогі пайда болады, олар бір-бірімен бекітпеленген жыныстардың

ілінісу күштерімен байланысқа түседі, және осының арқасында бекітпелеу нобайы (нұсқасы) құрылады; қарнақтың тіректік элементтерінің икемділігін қамтамасыздандыру және бекітпенің төзімділігін арттыру үшін конустық аралық орнатылады; табан жыныстарды кернеулерден түсіруді қамтамасыз ету үшін қарнақтарды орнатуға арналған теспелер 1-1,2 м тереңдікке дейін бұрғыланады, бұл ісіну қатпарларының бүтіндігін бұзады.

Қарнақты бекітпені орнатумен байланысты өндірістік үдірістер тазартпа кенжарындағы көмірді өндірудің кедергілік факторы болып саналмайды. Өйткені қарнақтарды орнатудың жылдамдығы тазартпа кенжардың жылжамдығынан 4-5 есе озады.

#### Қорытындылар

Қазбалардың табан жыныстарының сығылуына механикалық

тойтарыс құралдарын қолдану қазба табанының күйіне тиімді әсер етеді. Қазбаның табанына күштің әсер ету деңгейінің жоғарылауымен оның сығысу шамасы төмендейді. Табанды қопарудан кейін қазба табанының тұрақты күйін қамтамасыз ету үшін қазбаның табанына салыстырмалы түрде аз күш жұмсап, қазып алынатын жыныстардың тойтарысын өтемелеу қажет.

Табанды қопару жұмыстарын жүргізуден кейін табан жыныстарының сығылуына қарсы әсерді күшейту үшін бытыраңқы жүктемелерді пайдалану тұрғысынан қарастырғанда жаңа технологиялық шешімдерді қарастыруды күшейту қажет.

Шақтылық жағдайларда жүргізілген зерттеулердің негізінде жұмыста даярлау қазбалары жыныстарының ісінуіне қарсы күрес шаралары ұсынылады.

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Грицко Г.И. Тәжірибелік-аналитикалық әдіспен ұзындықты тақталық қазбалардың айналасындағы шыңтастың кернеулік-деформациялық күйін 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. – М.: Көмір, 2014. – №2. – Б. 18-22 (орыс тілінде).

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Грицко Г.И. 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. – М.: Уголь, 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 «gornyy 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.Қ.**, 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>

**Демин В.Ф.**, техника ғылымдарының докторы, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы кен орындарын қазып өндіру» кафедрасының профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан), [vladfdemin@mail.ru](mailto:vladfdemin@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1718-856X>

**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:

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

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

**Барсуков С.В.**, докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан)

**Абдрахман Е.А.**, докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан)

#### Information about authors:

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

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

**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)



## ОТКРЫТА ПОДПИСКА

КАЗПОЧТА ЕВРАЗИЯ ПРЕСС ЭВРИКА-ПРЕСС

Подписной индекс 75807

Заявка на главной странице сайта 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



15+

деловых  
сессий

250+

участников  
выставки

5000+

профессиональных  
посетителей

30

ЛЕТ НЕЗАВИСИМОСТИ  
КАЗАХСТАН


STROY MASH  
EXPO



WOOD TECH EXPO




CHEM TECH  
KAZAKHSTAN



MINING  
EXPO



TEXTILE  
EXPO

# НЕДЕЛЯ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАЗАХСТАНА

## 22-24.09.2021

Международный выставочный центр ЭКСПО  
г. Нур-Султан, Республика Казахстан

Организаторы:



Министерство индустрии  
и инфраструктурного развития  
Республики Казахстан

**AEXKS**

Тел: +7 (7172) 64 23 23

Код МРНТИ 52.13.23

Е.А. Абеуов, А.К. Матаев, С.Н. Жумабек

<sup>1</sup>Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан)

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ОРГАНИЗАЦИЯ ОТРАБОТКИ ЦЕЛИКОВ ПРИ ПАНЕЛЬНО-СТОЛБОВОЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ

**Аннотация.** Анкерная система укрепляет породу, ограничивая движение кровли и позволяя горизонтальному напряжению удерживать кровлю на месте, не давая ей обрушиться. Если высота отслоившейся породы ниже длины анкерных болтов, поведение выработки будет удовлетворительным (при условии, что напряжения в массиве остаются неизменными). Если высота отслоившейся породы выше высоты (длины) анкеров, увеличение напряжения перед забоем вызовет обрушение кровли. Для поддержания выработки потребуются установка более длинных арматурных болтов. В выработке, укрепленной с помощью как анкерного, так и арочного крепления важно, чтобы каждый метод был достаточен сам по себе и обеспечивал необходимое крепление. Технический результат состоит в изготовлении анкерного стержня из проката арматуры винтового профиля с элементами равномерного перемешивания, которые, в свою очередь, исключают возможность появления «эффекта перчатки», увеличив несущую способность анкера.

**Ключевые слова:** анкерная крепь, разработка, сталеполимерный анкер, целик, отработка, моделирование, выработка.

**Технологиялық шешімдерді әзірлеу және анкерлік бекіту технологиясын пайдалана отырып, панельдік-бағандық әзірлеу жүйесінде кентіректерді өңдеуді ұйымдастыру**

**Аңдатпа.** Анкерлі жүйе жыныстарды бекітеді. Егер қабыршақтанған жыныстың биіктігі болттардың ұзындығынан төмен болса, онда өндіріс әрекеті қанағаттанарлық болады (массивтегі кернеулер өзгеріссіз қалады). Егер аршылған жыныстың биіктігі анкердің биіктігінен (ұзындығынан) жоғары болса, кенжар алдында кернеудің жоғарылауы шатырдың құлауына әкеледі. Өндірісті қолдау үшін ұзын арматуралық болттарды орнату қажет. Анкер мен аркалы бекітудің көмегімен нығайтылған қазаның әр әдісі өздігінен жеткілікті және қажетті (қажетті) бекітуді қамтамасыз ету маңызды. Техникалық нәтиже біркелкі араластыру элементтері бар бұрандалы профильді арматураны жорь таяқшасын жасау болып табылады, бұл өз кезегінде «қолғап әсерінің пайда болуы» мүмкіндігін болдырмайды, сонымен қатар жорьдің жүк көтергіштігін 15-20% арттырады.

**Түйінді сөздер:** анкерлік бекітпе, әзірлеу, болат полимерлік анкер, целик, өңдеу, модельдеу, әзірлеу.

**Development of technological solutions and organization of working out of targets with a panel-pillar development system using anchor fastening technology**

**Abstract.** The anchor system secures the rock, limiting the movement of the roof and allowing horizontal stress to hold the roof in place, preventing it from collapsing. If the height of the detached rock is lower than the length of the anchor bolts, the mining behavior will be satisfactory (provided that the stresses in the array remain unchanged). If the height of the detached rock is higher than the height (length) of the anchors, an increase in the stress before the face will cause the roof to collapse. To maintain the production, the installation of longer reinforcing bolts will be required. In the development, reinforced with both anchor and arch fastening, it is important that each method is sufficient in itself and provides the necessary (required) fastening. The technical result is the manufacture of an anchor rod from rolled reinforcement of a screw profile with elements of uniform mixing, which in turn will exclude the possibility of «the appearance of the glove effect» and also increase the bearing capacity of the anchor by 15-20%.

**Key words:** anchor support, development, steel-polymer anchor, pillar, development, modeling, fastening, mining, maintain the production, longer reinforcing.

**Цель статьи** – разработка технологических схем проведения горных выработок с применением анкерного крепления с учетом напряженно-состояния массива горных пород.

### Методы исследований

Решение поставленных задач осуществляется методами анализа и оценки опыта эксплуатации месторождений полезных ископаемых; цифрового моделирования процессов разрушения; анализа технологических разработок; проведения опытных работ в подземных выработках.

**Практическая ценность проекта состоит:**

- в формировании технологических схем проведения горных выработок анкерной крепью с учетом установленных закономерностей геомеханики вмещающего углепородного массива для различных условий;

- в определении технико-экономического эффекта технологических схем крепления горных выработок.

Анкерная крепь, состоящая из анкеров, устанавливаемых и закрепляемых в пробуренных в кровлю и бока (а при необходимости и в почву) выработок скважинах (шпурах), опорных элементов для анкеров в виде планок и межанкерной затяжки пород на контуре (сетчатой, решетчатой, синтетической сетки), в отличие от металлических рамных поддерживающих крепей, сразу же после установки осуществляет связывание и упрочнение массива в кровле и боках выработки, активно противодействуя развитию смещений и разрушения пород, что позволяет при значительно меньшем расходе металла обеспечить повышение устойчивости и надежности

поддержания выработок. Другим преимуществом анкерной крепи является возможность полной механизации крепления, в результате чего значительно снижается трудоемкость проходческих работ и возрастает скорость проведения выработок. В Карагандинском угольном бассейне из 60 км ежегодно проводимых выработок более 60% проводится с использованием технологии анкерного крепления [1, 2].

### Разработка технических решений по совершенствованию технологии анкерного крепления

**Канатный анкер с винтовым основанием.** Техническое решение может быть использовано при разработке пластовых месторождений полезных ископаемых, при проведении горных выработок для крепления массива вмещающих пород

с помощью анкерного крепления<sup>1</sup> [3]. Такой тип анкера предназначен для крепления кровли подготовительных выработок с прочностью углей и пород на сжатие, соответственно, не менее 10 МПа и 25 МПа, бортов выработок с прочностью углей и пород на сжатие, соответственно, не менее 6 МПа и 20 МПа при химическом способе закрепления в шпуре стержня анкера в обычном исполнении (из каната по ГОСТ 3066-80) или в усиленном (из каната по ГОСТ 13840-68). Недостатком указанной конструкции анкера является трудоемкость его установки и недостаточно высокая несущая способность, не обеспечивающая работу анкерной крепи в зонах повышенного горного давления.

Прототип – крепь анкерная – состоит из канатного стержня с цанговым замком, опорной шайбы, гайки, трубки подачи цементной смеси длиной, равной длине анкера, и трубки отвода воздуха длиной 20 см; применяется совместно с подхватами различных конструкций<sup>2</sup>.

Недостатками указанной конструкции анкера являются: трудоемкость установки и недостаточно высокая несущая способность, не обеспечивающая работу анкерной крепи в зонах повышенного горного давления, отсутствие устойчивости приконтурных слоев кровли выработки, невозможность исключения смещений и расслоение вмещающих пород, а также высокая себестоимость канатного анкера [4, 5].

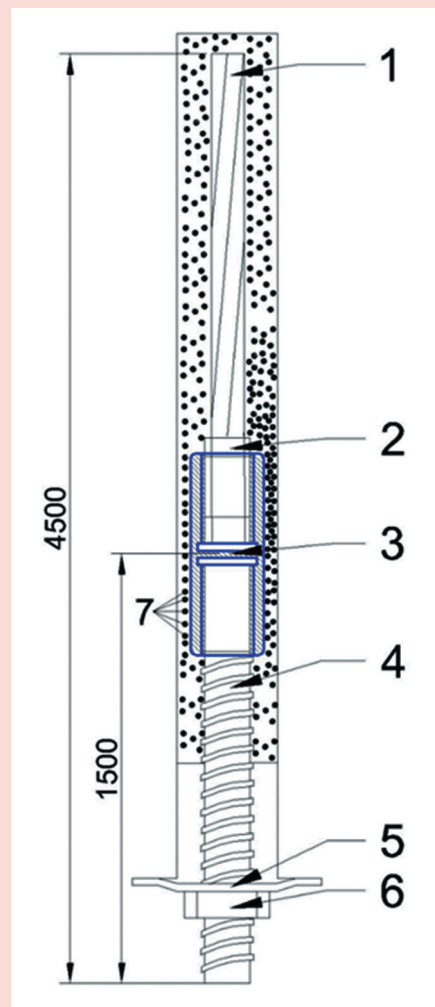
Актуальной задачей является повышение несущей способности канатного анкера, уменьшение его себестоимости, а также снижение трудоемкости процесса установки анкера. Технический результат достигается тем, что на канатном металлическом стержне с цанговым замком закрепляют резьбовую муфту, выполненную из стали с более высокими прочностными характеристиками, с отрезком арматурного проката винтового профиля.

На рис. 1 изображен канатный анкер с винтовым основанием для крепления горных выработок,

состоящий из отрезка канатного металлического стержня 1 и закрепленного на стержне цангового замка 2, соединенного резьбовой муфтой 3, выполненной из стали с более высокими прочностными характеристиками, с отрезком арматурного проката винтового профиля 4, который имеет элементы фиксации в виде прижимной пластины 5 и гайки 6. Фиксация канатного анкера с винтовым основанием в шпуре осуществляется посредством скрепляющего состава 7, вводимого в шпур ампулами при установке анкера.

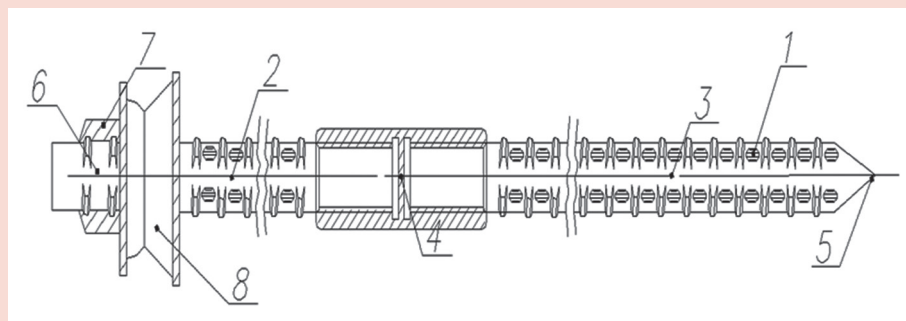
*Сталеполимерный составной анкер с элементом равномерного перемешивания.* Известен сталеполимерный анкер, состоящий из металлического стержня, химических ампул со скрепляющим раствором, устанавливаемых в пробуренный шпур, подхвата и натяжной гайки. Недостатком такой конструкции анкера является трудоемкость его установки и недостаточно высокая несущая способность, не обеспечивающая работу анкерной крепи в зонах повышенного горного давления.

Наиболее близким является сталеполимерный анкер, включающий металлический стержень, химические ампулы со скрепляющим раствором, устанавливаемые в пробуренный шпур, подхват и натяжную гайку, в которой конструкция анкера выполнена из отрезков арматурного проката винтового профиля, соединенных между собой резьбовой муфтой, выполненной из стали с более высокими прочностными



**Рис. 1. Канатный анкер с винтовым основанием.**  
**Сурет 1. Бұрандалы негізі бар арқан якорь.**  
**Figure 1. Rope anchor with a screw base.**

характеристиками по сравнению с материалом. Технический результат заключается в изготовлении

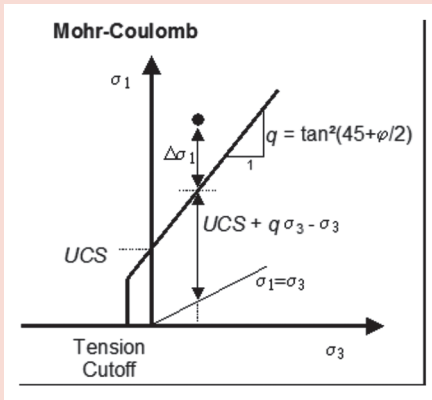


**Рис. 2. Сталеполимерный анкер с элементами равномерного перемешивания.**  
**Сурет 2. Біркелкі араластыру элементтері бар болат полимерлі якорь.**  
**Figure 2. Steel-polymer anchor with elements of uniform mixing.**

<sup>1</sup>Скипочка С.И., Усаченко Б.М., Куклин В.Ю. Элементы геомеханики углеродного массива при высоких скоростях продвижения лав. – Днепропетровск: Лира, 2006. – 248 с.

<sup>2</sup>Бенявски З. Управление горным давлением. – М.: Мир, 1990. – 254 с.





**Рис. 3. Определение прочностного критерия.**  
**Сурет 3. Беріктік өлшемін анықтау.**  
**Figure 3. Determination of the strength criterion.**

анкерного стержня из проката арматуры винтового профиля с элементом равномерного перемешивания, которые, в свою очередь, исключают возможность появления «эффекта перчатки», а также увеличат несущую способность анкера на 15-20%.

Сталеполимерный анкер, включающий металлический стержень, выполненный из отрезков арматуры винтового профиля, соединенных между собой резьбовой муфтой, химические ампулы со скрепляющим раствором, отличается тем, что стержень анкера выполнен из арматуры винтового профиля с элементом равномерного перемешивания, конец которого имеет форму лопатки<sup>3</sup> [6].

Сталеполимерный составной анкер с элементом равномерного перемешивания (рис. 2) состоит из стального стержня, арматурного проката винтового профиля с элементом равномерного перемешивания, выполненного из отрезков 2 и 3, соединенных между собой резьбовой муфтой 4. Передний (верхний) конец отрезка 2 имеет форму лопатки 5, а задний (нижний) конец отрезка 3 снабжен резьбой 6 с элементами фиксации (гайка 7, прижимная пластина 8) с элементами крепи горной выработки. Стержень анкера закрепляется в шпуре (скважине) посредством скрепляющего состава, вводимого в шпур в виде ампул при установке анкера.

Применение сталеполимерного анкера с элементом равномерного перемешивания предотвращает возникновение «эффекта перчатки», увеличивая несущую способность. Основной эффект от крепления выработок составными анкерами с элементом равномерного перемешивания состоит в том, что такая конструкция арматуры увеличивает несущую способность анкера на 15-20%. Анкер при закреплении в шпуре разрывает капсулу с синтетическим вяжущим веществом концом в форме лопатки, и сцепление между анкером и породой не подвергается «эффекту перчатки». Далее при помощи элементов равномерного перемешивания скрепляющий состав, равномерно перемешиваясь, распределяется по всей длине

анкера, что обеспечивает надежное крепление горных выработок.

**Организация отработки целиков при панельно-столбовой системе разработки с использованием технологии анкерного крепления**

Далее представлены результаты оценки эффективности проекта повторной отработки междукамерных и панельных целиков для рудных месторождений (Жезказган) из открытого выработанного пространства при управлении устойчивостью кровли в рабочих камерах тросовыми и гидрораспорными трубчатыми анкерами, что повысит эффективность отработки месторождения, залегающего в осадочных породах.

Существующие технологии отработки междукамерных и панельных

Таблица 1

**Расчетные значения рейтинговых показателей**

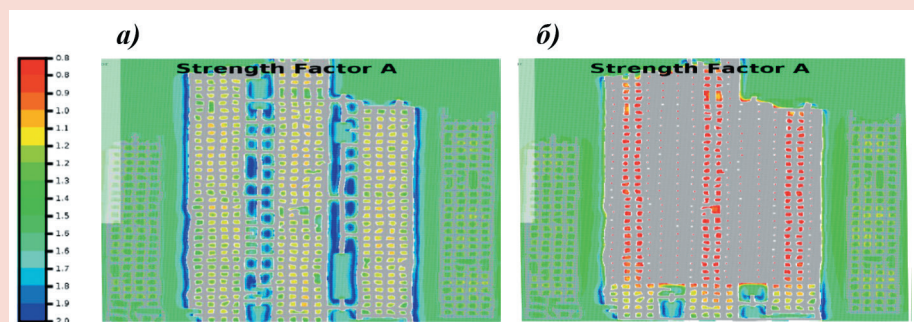
Кесте 1

**Рейтингтік көрсеткіштердің есептік мәндері**

Table 1

**Calculated values of rating indicators**

Тип пород	IRS	RQD, %	FF	инверсия	RBS	R <sub>RBS</sub>	Jc	Js	RMR
красные алевриты, аргиллиты	2,7	40-50	7-12	0,33	2,1	1	29	5	35
	7,2				5,5	2	29	5	36
	12,9				10,0	5	29	5	39
бурые песчаники	11,6				9,1	5	29	5	39
	15,7				12,1	6	29	5	40
	22				17,1	8	29	5	43
серые песчаники	11,9				9,3	5	29	5	39
	22,6				17,5	8	29	5	43
	46,8				36,4	13	29	5	47



**Рис. 4. Напряженное состояние трех панелей на начало (а) и конец (б) отработки.**

**Сурет 4. Өңдеудің басындағы (а) және аяғындағы (б) үш панельдің кернеулі жай-күйі.**

**Figure 4. The stress state of the three panels at the beginning (a) and end (b) of the working out.**

<sup>3</sup>Арыстан И.Д., Баизбаев М.Б., Абдрашев Р.М. и др. Технологии проведения и крепления горных выработок: монография. – Актөбе: АРГУ им. К. Жубанова, 2019. – 99 с.

целиков из открытого выработанного пространства при панельно-столбовой системе разработки сопровождаются высокой степенью геотехнического риска обрушения кровли. В значительной степени риски возрастают при ведении горных работ в тонкослоистых породах осадочного генезиса.

Основные причины риска – это перегруженность и недостаточная жесткость целиков на фронте погашения, а также значительные деформации кровли на момент отработки целиков. Кроме того, известные способы отработки целиков, такие как сплошная порядная отбойка междукамерных целиков из открытого выработанного пространства в границах, локализованных панельными и барьерными целиками, а также отработка целиков из полевых выработок подстилающего горизонта, недостаточно эффективны.

Опыт отработки междукамерных целиков из открытого выработанного пространства показывает, что кровля, представленная тонкослоистыми породами на пролете 9-10 м и закрепленная исключительно анкерной крепью длиной до 2,4 м, может обрушаться как в зоне отгрузки отбитого целика, так и в рабочих камерах на расстоянии двух-четырех рядов целиков от фронта отработки. В результате, из-за необходимости восстановления и ремонта кровли на нарушенных участках возрастает затратная часть проекта, а поскольку отбитая из целика руда не всегда подлежит извлечению и списывается в потери, проект становится малоэффективным.

Специфическое поведение кровли, сложенной тонкослоистыми породами осадочного генезиса, требует изыскания специальных технологий, позволяющих вести безопасную и экономически эффективную отработку целиков.

Выбор оптимальной схемы совместной отработки междукамерных и панельных целиков, для условной группы панелей с заданными геомеханическими параметрами, проводился комплексно с использованием методов численного моделирования устойчивости системы «кровля – целики» и экономического анализа проекта.

Численное моделирование устойчивости выполнено методом граничных элементов ISSM по программе, разработанной Institute of Mine Seismology.

В процессе моделирования рассматривались пять схем повторной отработки целиков из открытого выработанного пространства:

- 1) полная отработка междукамерных целиков в трех панелях и панельных целиков между ними;
- 2) отработка междукамерных целиков в трех панелях и панельных целиков между ними с оставлением целиков через каждые пять рядов;
- 3) отработка междукамерных целиков в трех панелях с оставлением локальных групп междукамерных целиков в каждой панели и отработка барьерных целиков между панелями;
- 4) отработка междукамерных целиков в трех панелях с временным поддержанием кровли трубчатыми гидрораспорными и тросовыми анкерами с оставлением сигнальных целиков и двух центральных рядов междукамерных целиков в каждой панели и отработкой барьерных целиков между панелями с оставлением сигнальных целиков и креплением кровли;
- 5) отработка междукамерных целиков двух панелей с оставлением двух центральных рядов в каждой панели и отработкой барьерного целика между этими панелями с креплением кровли по схеме 4.

Анализ устойчивости целиков выполнен по прочностному критерию  $SF$  (strength factor = stress/strength), рассчитанному по формуле (1), при этом  $SF < 0$  указывает на потерю устойчивости (рис. 3).

$$SF = (\sigma_1 - \sigma_3) / (UCS + q\sigma_3 - \sigma_3). \quad (1)$$

Для оценки устойчивости кровли использовались значения вертикальных смещений, а за граничное значение устойчивости принимались смещения более 0,05 м.

Схемы моделей представлены на рис. 4-6. В результате моделирования было установлено, что повторная отработка с временным поддержанием кровли с помощью трубчатых гидрораспорных и тросовых анкеров с оставлением в каждой панели двух центральных рядов междукамерных целиков и оставлением сигнальных

целиков по всей панели может быть принята к проектированию.

При отработке двух панелей при таком способе крепления зона влияния горных работ значительно уменьшается, что делает проект

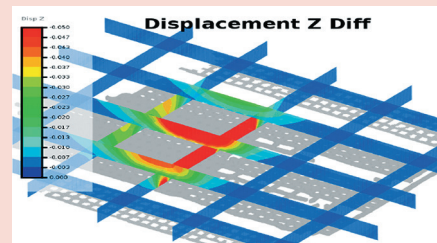


Рис. 5. Прирост вертикальных деформаций кровли.

Сурет 5. Шатырдың тік деформацияларының осуі.

Figure 5. The increase in vertical deformations of the roof.

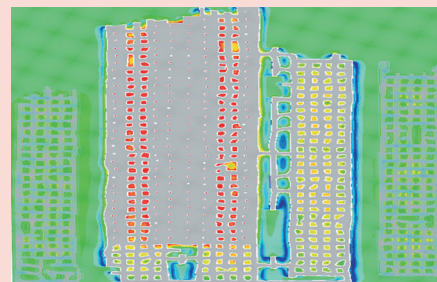


Рис. 6. Состояние двух панелей на конец отработки.

Сурет 6. Жұмыс соңында екі панельдің жағдайы.

Figure 6. The state of the two panels at the end of working out.



Рис. 7. Схема крепления кровли тросовыми анкерами в камерах погрузки руды и по трассе движения при отработке МКЦ.

Сурет 7. Кенді тиеу камераларында және МКЦ өңдеу кезінде қозғалыс трассасында шатырды тростық анкерлермен бекіту схемасы.

Figure 7. The scheme of fixing the roof with cable anchors in the ore loading chambers and along the route of movement during the development of the MCC.

более реалистичным и безопасным, при этом прирост напряжений в целиках и деформации кровли находится в пределах допустимых величин.

Для оценки экономической эффективности проекта выполнен расчет параметров крепей для горно-геологических условий осадочного месторождения комплексных руд.

Выбор параметров крепей производился по рейтингу MRMR (Mining Rock Mass Rating) с использованием методики Д. Лобшира [7] и Н. Бартона [3] в камерах погрузки отбитой из целиков руды, как в наиболее опасном участке.

Рейтинг MRMR определяется по формуле:

$$MRMR = RMR \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4, \quad (2)$$

где  $RMR$  – рейтинг горного массива;

$K_1$  – коэффициент влияния выветривания;

$K_2$  – коэффициент ориентации трещин;

$K_3$  – коэффициент влияния давления горных пород;

$K_4$  – коэффициент влияния взрывных работ.

$RMR$  определяется по формуле:

$$RMR = R_{RBS} + J_s + J_c, \quad (3)$$

где  $R_{RBS}$  – рейтинг прочности пород в горном массиве;

$J_s$  – рейтинг расстояния между трещинами;

$J_c$  – рейтинг контактных условий трещин.

Значения рейтингов, рассчитанных по данной методике, представлены в табл. 1 и 2. Как видно, рейтинг MRMR находится в диапазоне значений 11,8-31,7, которому соответствуют 5 и 4 классы устойчивости массива горных пород.

В соответствии с табл. 3 [8] обрушение пород кровли возможно при гидравлическом радиусе подработки от 5 м до 8 м.

При обработке одного МКЦ с оставлением сигнальных целиков размером 4 × 4 м гидравлический радиус подработки составит:

$$HR = S/P = ab/2(a + b) = 27 \times \\ \times 14/2 (27 + 14) = 4,7 \text{ м}, \quad (4)$$

где  $a$  – пролет кровли при оставлении сигнального целика, м;

$b$  – ширина кровли камеры, м.

При обработке двух МКЦ гидравлический радиус составит  $HR = 5,3$  м. Как видно, обрушение кровли может происходить уже при обработке одного-двух МКЦ.

Для обеспечения устойчивости кровли на момент отгрузки отбитого

Таблица 2

Расчетные значения рейтингов

Кесте 2

Рейтингтердің есептік мәндері

Table 2

Calculated values of ratings

Тип горных пород	$K_1$	$K_2$	$K_{31}$	$K_{32}$	$K_4$	MRMR <sub>60</sub>	MRMR <sub>120</sub>
красные алевролиты, аргиллиты	0,88	0,8	0,6	1,2	0,8	11,8	23,6
	0,88	0,8	0,6	1,2	0,8	12,1	24,2
	0,88	0,8	0,6	1,2	0,8	13,1	26,2
бурые песчаники	0,88	0,8	0,6	1,2	0,8	13,1	26,2
	0,88	0,8	0,6	1,2	0,8	13,5	27,0
	0,88	0,8	0,6	1,2	0,8	14,5	29,0
серые песчаники	0,88	0,8	0,6	1,2	0,8	13,1	26,2
	0,88	0,8	0,6	1,2	0,8	14,5	29,0
	0,88	0,8	0,6	1,2	0,8	15,8	31,7

Таблица 3

Рейтинг MRMR

Кесте 3

MRMR рейтингі

Table 3

MRMR Rating

Класс/Рейтинг	5/5-20	4/21-40	3/41-60	2/61-80	1/81-100
Гидравлический радиус, м	1-8	8-18	18-32	32-50	+50
Обрушаемость	очень хорошая	хорошая	средняя	плохая	очень плохая
Крепление	усиленное	среднее	среднее	локальное	–

Таблица 4

Количество и длина тросовых анкеров на сопряжениях

Кесте 4

Түйісулердегі тросық анкерлердің саны мен ұзындығы

Table 4

The number and length of cable anchors on the interfaces

Диаметры окружности анкеров, D, м	Масса пород, т	Количество анкеров, один трос в скважине, шт.	Количество анкеров, два троса в скважине, шт.	Длина троса с гладкой поверхностью, м	Длина троса с узлами расширения, м
10	511	25	12	8,0	7,0
11	679	33	16	8,5	7,5
12	882	42	21	9,0	8,0
13	1122	54	27	9,5	8,5
14	1401	67	34	10,0	9,0
15	1723	83	41	10,5	9,5

целика предлагается увеличить мощность совместно деформируемых пород посредством установки тросовых анкеров. Параметры тросовых анкеров определяются массой пород в своде обрушения

с высотой, равной ½ диаметра окружности, вписанной в условный квадрат на пересечении камер (рис. 7). В табл. 4 даны расчетные значения количества и длины анкеров для различных диаметров окружности.

**Заключение**

Представлено решение научно-практической задачи по созданию эффективной технологии анкерного крепления выработок.

Идея работы заключается в управлении напряженным состоянием массива горных пород для снижения горного давления.

Разработаны технические решения по совершенствованию технологии анкерного крепления: канатный анкер с винтовым основанием и сталеполлимерный составной

анкер с элементом равномерного перемешивания.

Рассмотрена организация отработки целиков при панельно-столбовой системе разработки с использованием технологии анкерного крепления.

Проведен опытно-промышленный эксперимент. Результаты опытно-промышленных испытаний представлены следующими выводами: анкерная крепь СЗА отвечает заявленным производителем характеристикам в части несущей

способности; позволяет практически полностью механизировать процесс крепления с использованием имеющегося бурового оборудования. Удельная продолжительность крепления в среднем составляет 4-5 мин/анкер вместе с процессом бурения шпура. Технология крепления предусматривает одновременную установку с анкером армокаркаса, который играет роль затяжки по кровле закрепляемой выработки и предотвращает опасность обрушения отслоившихся частей кровли.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Laubscher D.H. Система классификации геомеханики для оценки массива горных пород при проектировании шахт. // Журнал Южно-Африканского института горного дела и металлургии. – 1990. – Т. 90(10). – С. 257-273 (на английском языке)
2. Laubscher D.H., Jacubec J. MRMR классификация горных пород для сочлененных горных массивов. // Основы проектирования. – Брисбен, 2000. – С. 475-481 (на английском языке)
3. Barton N., Løset F., Lien R., Lunde J. Применение Q-системы в проектных решениях. – 1980. – С. 475-481. (на английском языке)
4. Дрибан В.А. Механизм деформирования массива горных пород вокруг выработок. // Проблемы горного давления. – Донецк: ДонНТУ, 2000. – №4. – С. 172-182 (на русском языке)
5. Zhu W. Анализ связанного потока газа и процесса деформации с десорбцией и эффектами Клинкенберга в угольных пластах. // Международный журнал по механике горных пород и горным наукам. – 2007. – №2 – С. 329-338 (на английском языке)
6. Арыстан И.Д., Баизбаев М.Б., Матаев А.К. и др. Выбор и обоснование технологии крепления подготовительных выработок в условиях неустойчивых массивов на примере рудника «10 лет Независимости Казахстана». // Уголь. – 2020. – №6. – С. 10-16. (на русском языке)
7. Султанов М.Г., Матаев А.К., Кауметова Д.С. и др. Выбор параметров крепи и технологии ее возведения на месторождении Восход. // Уголь. – 2020. – №10. – С. 17-22 (на русском языке)
8. Matayev A., Kainazarova A., Arystan I., Abeuov Ye., Kainazarov A., Baizbayev M., Demin V., Sultanov M. Исследование геомеханической обстановки массива горных пород в зоне влияния очистных работ на шахте «10 лет Независимости Казахстана». // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 2021. – №15(1). – С. 103-111 (на английском языке)

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**

1. Laubscher D.H. Шахталарды жобалау кезінде тау жыныстарының массивін бағалауға арналған геомеханиканы жіктеу жүйесі. // Оңтүстік Африка тау-кен металлургия институтының журналы. – 1990. – Т. 90(10). – Б. 257-273 (ағылшын тілінде)
2. Laubscher D.H., Jacubec J. Mrrm тау сілемдерінің Біріккен тау сілемдері үшін жіктелуі. // Негіздерін жобалау үшін. – Брисбен, 2000. – Б. 475-481 (ағылшын тілінде)
3. Barton N., Løset F., Lien R., Lunde J. Жобалық шешімдерде Q-жүйесін қолдану. – 1980. – Б. 475-481 (ағылшын тілінде)
4. Дрибан В.А. Тау жыныстары массивін қазбалар айналасында деформациялау механизмі. // Рок қысымының проблемалары. – Донецк: ДонНТУ, 2000. – №4. – Б. 172-182 (орыс тілінде)
5. Zhu W. Көмір қабаттарындағы Клинкенбергтің десорбциясы мен әсерімен байланысты газ ағынын және деформация процесін талдау. // Тау-кен механикасы мен тау-кен ғылымдарының Халықаралық журналы. – 2007. – №2-Ө. 329-338 (ағылшын тілінде)
6. Арыстан И.Д., Байызбаев М.Б., Матаев А.Қ. және т.б. «Қазақстан Тәуелсіздігінің 10 жылдығы» кенішінің мысалында тұрақсыз массивтер жағдайында дайындық қазбаларын бекіту технологиясын таңдау және негіздеу. // Көмір – 2020. – №6. – Б. 10-16. (орыс тілінде)

7. «Восход» кен орнында бекітпенің параметрлерін және оны салу технологиясын таңдау. // Көмір. – 2020. – №10. – Б. 17-22 (орыс тілінде)
8. Матаев А., Қайназарова А., Арыстан И., Абеуов Ю., Қайназаров А., Байзбаев М., Демин В., Сұлтанов М. «Қазақстан тәуелсіздігінің 10 жылдығы» шахтасындағы тазарту жұмыстарының әсер ету аймағындағы тау жыныстары массивінің геомеханикалық жағдайын зерттеу. // Пайдалы қазбаларды өндіру. – 2021. – №15(1). – Б. 103-111(ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Laubscher D.H. A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design. // Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. – 1990. – Vol. 90(10). – P. 257-273 (in English)
2. Laubscher D.H., Jacubec J. The MRMR Rock Mass Classification for jointed rock masses. // Foundations for Design. – Brisbane, 2000. – P. 475-481 (in English)
3. Barton N., Løset F., Lien R., Lunde J. Application of the Q-system in design decisions. – 1980. – P. 475-481 (in English)
4. Driban V.A. Mexanizm deformirovaniya massiva gornyx porod vokrug vyrabotok [The mechanism of deformation of the array of mountains around]. // Problemy gornogo davleniya = Problems of weight loss. – Donetsk: DonNTU, 2000. – №4 – P. 172-182 (in Russian)
5. Zhu W. Analysis of coupled gas flow and deformation process with desorption and Klinkenberg effects in coal processes. // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. – 2007. – №2. – P. 329-338 (in English)
6. Arystan I.D., Baizbaev M.B., Mataev A.K. and etc. Vybor i obosnovanie texnologii krepleniya podgotovitel'nyx vyrabotok v usloviyax neustojchivyx massivov na primere rudnika «10 let Nezavisimosti Kazaxstana». [Selection and maintenance of technology of Binding of preparatory works under the conditions of unstable arrays on the example of ore «10 years of independence of Kazakhstan»]. // Ugol' = Coal. – 2020. – №6. – P. 10-16 (in Russian)
7. Sultanov M.G., Mataev A.K., Kaumetova D.S. and etc. Vybor parametrov krepki i texnologii ee vozvedeniya na mestorozhdenii Vosход [Choose the parameters and technologies of its revival at the Vosход Ugol place]. // Ugol' = Coal. – 2020. – №10. – P. 17-22 (in Russian)
8. Matayev A., Kainazarova A., Arystan I., Abeuov Ye., Kainazarov A., Baizbayev M., Demin V., Sultanov M. Research into rock mass geomechanical situation in the zone of stope operations influence of ore «10 years of independence of Kazakhstan». // Mining of Mineral Deposits. – 2021. – №15(1). – P. 103-111 (in English)

## Сведения об авторах:

**Абеуов Е.А.**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан), [erkebulan69@mail.ru](mailto:erkebulan69@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-6420-565X>

**Матаев А.К.**, PhD докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан), [mataev.azamat@mail.ru](mailto:mataev.azamat@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9033-8002>

**Жұмабек С.Н.**, магистрант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан), [zhumabek.sapar@mail.ru](mailto:zhumabek.sapar@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5110-9557>

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Абеуов Е.А.**, техника ғылымдарының кандидаты, Қарағанды техникалық университетінің Коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Матаев А.К.**, Қарағанды техникалық университетінің Коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» PhD докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Жұмабек С.Н.**, «Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» бөлімінің магистранты (Қарағанды, Қазақстан)

## Information about the authors:

**Abeuov Ye.A.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

**Mataev A.K.**, PhD Doctoral Student at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

**Zhumabek S.N.**, Master's Student at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Код МРНТИ 53.37.33

Р.А. Хамидов

Навоийский государственный горный институт (г. Навои, Узбекистан)

## ВЫБОР СХЕМЫ ОТДЕЛЬНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПЕННОГО ПРОДУКТА ПРОЦЕССА БИООКИСЛЕНИЯ

**Аннотация.** При переработке золотосульфидных концентратов хорошо зарекомендовал себя метод бактериального окисления. Однако он имеет побочное явление – пенообразование в процессе биоокисления. Для решения проблемы были предприняты многочисленные попытки химического и механического воздействия на образующуюся пену. Но, хотя эти методы и решили проблему с пеногашением, они оказали негативное влияние на качественные показатели процесса биоокисления и последующего цианирования биокека. Исследования показали, что вывод и отдельная переработка пенного продукта является более эффективным решением проблемы пенообразования. В данной статье представлены результаты по выбору более оптимальной и эффективной технологической схемы переработки пенного продукта в отдельном цикле.

**Ключевые слова:** бактериальное окисление, пенообразование, пенный продукт, интенсивное цианирование, обжиг, извлечение, хвосты цианирования.

### Биоқышқылдану процесінің көбікті өнімін жеке қайта өңдеу схемасын таңдау

**Андатпа.** Алтын сульфидті концентраттарды өңдеу кезінде бактериялық тотығу әдісі өзін дәлелдеді. Алайда, оның жанама құбылысы бар – биототығу процесінде көбіктену. Бұл мәселені шешу үшін пайда болған көбікке химиялық және механикалық әсер етудің көптеген әрекеттері жасалды. Бірақ бұл әдістер көбіктену мәселесін шешсе де, олар био-қышқылдану процесінің және биокектің кейінгі цианизациясының сапалық көрсеткіштеріне теріс әсер етті. Зерттеулер көрсеткендей, көбік өнімін шығару және бөлек өңдеу көбіктену мәселесін шешудің тиімді әдісі болып табылады. Бұл мақалада көбік өнімін жеке циклде өңдеудің неғұрлым оңтайлы және тиімді технологиялық схемасын таңдау нәтижелері келтірілген.

**Түйінді сөздер:** бактериялық тотығу, көбіктену, көбік өнімі, интенсивті цианизация, қуыру, экстракция, цианидтау құйрығы.

### Selection of the scheme for separate processing of the foam product of the biooxidation process

**Abstract.** When processing gold sulfide concentrates, the method of bacterial oxidation has proven itself well. However, it has a side effect – foaming during the biooxidation process. To solve the problem, numerous attempts have been made to chemically and mechanically influence the resulting foam. But, although these methods solved the problem with defoaming, they had a negative impact on the quality indicators of the biooxidation process and subsequent cyanidation of biocake. Research has shown that withdrawing and recycling the foam product separately is a more effective solution to the foam problem. This article presents the results of choosing a more optimal and efficient technological scheme for processing a foam product in a separate cycle.

**Key words:** bacterial oxidation, gold sulfide concentrates, foaming, foam product, qualitative indicators, intense cyanidation, roasting, extraction, cyanidation tails, biooxidation process.

### Введение

Хорошо известно широкое применение золота в жизнедеятельности человека и потребность в нем из года в год только растет. Однако, необходимо отметить неумолимое истощение запасов золота, легко поддающегося переработке, тогда как в переработку вовлекаются все более сложные по составу трудноперерабатываемые упорные руды [1, 2]. В связи с этим в течение последних десятилетий исследования ученых направлены на усовершенствование существующих схем и разработку новых технологий, обеспечивающих максимально полное вскрытие упорного золота перед процессом сорбционного цианирования.

Сегодня переработка упорных золотосульфидных руд и концентратов в мировой практике осуществляется с применением методов предварительного обжига, автоклавного или бактериального окисления с последующим цианированием [3]. Известность также получили такие методы<sup>1</sup> вскрытия

упорного золота, как сверхтонкое измельчение, микроволновое облучение, магнитно-импульсная обработка и другие [4, 5].

Стоит подчеркнуть, что при переработке золотосодержащих сульфидных концентратов широкое применение и стремительное развитие получил метод бактериального окисления [3, 6, 7]. Данный метод предварительного вскрытия применяется во многих странах, таких как ЮАР, Гана, Зимбабве, Австралия, Казахстан, Узбекистан, США, Бразилия, Канада, Россия, Перу, Китай и другие [8]. Вместе с тем, как и у прочих методов вскрытия упорного золота, у технологии бактериального окисления также имеются и недостатки, среди которых пристального внимания заслуживает обильное пенообразование в реакторах биоокисления [9].

Периодическое пенообразование является проблемой для большинства установок биоокисления. Повышение уровня пены снижает полезный рабочий объем реакторов, что приводит к снижению времени

процесса и повышению остаточной серы в продукте биоокисления.

Усиление пенообразования обуславливает выведение металла из процесса в пенный продукт и накопление его в поддоне реакторов биоокисления. Возвращение продукта с поддона в процесс биоокисления приводит к увеличению потока пульпы через реакторы, дополнительно уменьшая тем самым время биоокисления и вызывая повышенный вынос культуры бактерий из реакторов, что также приводит к увеличению остаточной сульфидной серы.

С целью изучения характеристик пенного продукта и его состава из реакторов биоокисления были отобраны образцы пены, которые были подвергнуты химическому и рентгеноструктурному анализу. Результаты исследований, представленные в работе [10], позволили сделать вывод о целесообразности выделения пены реакторов биоокисления в отдельный продукт, который подлежит дальнейшей переработке.

<sup>1</sup>Ellis S. Ultra Fine Grinding – A Practical Alternative to Oxidative Treatment of Refractory Gold Ores. / <https://www.isamill.com>. – 2003. – 21 p.

Таблица 1

## Результаты интенсивного сорбционного цианирования

Кесте 1

## Қарқынды сорбциялық циандау нәтижелері

Table 1

## Results of intensive sorption cyanidation

Наименование пробы	Содержание элементов в пробах					Au в тв. хв., у.е.	Au в жидкой фазе, мг/л	Извлечение Au, %
	Au, у.е.	$S_{\text{общ}}$ , %	$S_S$ , %	$C_{\text{общ}}$ , %	$C_{\text{орг}}$ , %			
Пена биореакторов	230,2	15,76	10,01	17,14	16,44	51,7	Отс (<0,01)	77,54

Таблица 2

## Результаты обжига хвостов интенсивного цианирования

Кесте 2

## Қарқынды циандаудың құйрықтарын күйдіру нәтижелері

Table 2

## Results of firing of tailings of intensive cyanidation

Наименование проб	Содержание элементов до обжига					Содержание элементов после обжига					Выход огарка, %
	Au, у.е.	$S_{\text{общ}}$ , %	$S_S$ , %	$C_{\text{общ}}$ , %	$C_{\text{орг}}$ , %	Au, у.е.	$S_{\text{общ}}$ , %	$S_S$ , %	$C_{\text{общ}}$ , %	$C_{\text{орг}}$ , %	
Хвосты сорбционного цианирования пенного продукта	51,7	15,76	10,09	17,14	16,44	75,7	5,55	0,08	0,2	0,04	67,8

В работе [11] в качестве метода предварительной обработки перед цианированием предлагается окислительный обжиг. Данное предложение было объяснено повышенным содержанием серы и углерода, которые в условиях окислительного обжига легко удаляются с продуктами сгорания.

Таким образом, было предложено выводить пену из реакторов биоокисления в отдельный продукт и перерабатывать ее в отдельном цикле. Данное исследование направлено на определение оптимальной технологической схемы при переработке пенного продукта процесса биоокисления с применением окислительного обжига.

#### Методика проведения исследования

Для решения поставленной задачи из биореакторов была отобрана проба пены в достаточном количестве для проведения экспериментов, которая была подвергнута отмывке по схеме противоточной декантации. Высушенную пробу известного химического состава разделили на две одинаковые части для проведения дальнейших экспериментов.

Эксперимент состоял из двух опытов. В первом опыте (рис. 1а) исходную пробу подвергли интенсивному цианированию, так как повышенное содержание  $S_S$  и  $C_{\text{орг}}$  в пульпе пены принуждали к применению более жестких условий цианирования. Тем не менее, высокое содержание золота в пенном продукте не позволяет добиться сбросных

хвостов интенсивного цианирования за одну операцию, поэтому было предусмотрено проведение обжига хвостов интенсивного цианирования для удаления  $S_S$  и  $C_{\text{орг}}$  и последующего направления обожженного продукта на сорбционное цианирование в заводских условиях.

Схема второго опыта (рис. 1б) отличается от схемы первого тем,

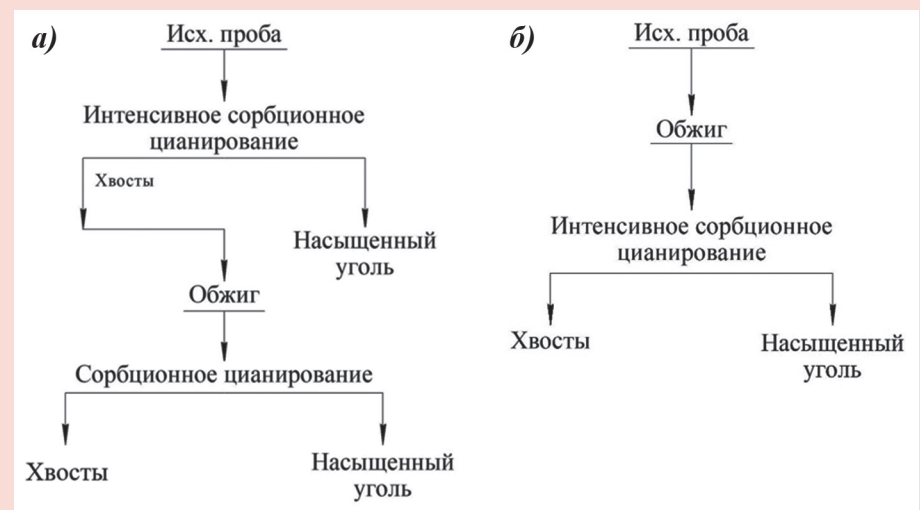


Рис. 1. Схемы экспериментов: а – первый опыт; б – второй опыт.

Сурет 1. Эксперименттер схемасы: а – бірінші тәжірибе; б – екінші тәжірибе.

Figure 1. The scheme of experiments: a – the first experiment; b – the second experiment.

Таблица 3

## Результаты сорбционного цианирования огарка

Кесте 3

## Тұқылдарды сорбциялық циандау нәтижелері

Table 3

## Results of sorption cyanidation of the stub

Наименование пробы	Содержание элементов в пробах					Au в тв. хв., у.е.	Au в жидкой фазе, мг/л	Извлечение Au, %
	Au, у.е.	S <sub>общ</sub> , %	S <sub>S</sub> , %	C <sub>общ</sub> , %	C <sub>орз</sub> , %			
Огарок хвостов сорбционного цианирования	75,7	5,55	0,08	0,2	0,04	10,47	Отс (<0,01)	86,17

Таблица 4

## Результаты обжига пенного продукта биореакторов

Кесте 4

## Биореакторлардың көбікті өнімін күйдіру нәтижелері

Table 4

## Results of firing of the foam product of bioreactors

Наименование проб	Содержание элементов до обжига					Содержание элементов после обжига					Выход огарка, %
	Au, у.е.	S <sub>общ</sub> , %	S <sub>S</sub> , %	C <sub>общ</sub> , %	C <sub>орз</sub> , %	Au, у.е.	S <sub>общ</sub> , %	S <sub>S</sub> , %	C <sub>общ</sub> , %	C <sub>орз</sub> , %	
Пена биореакторов	230,2	15,76	10,09	17,14	16,44	339,5	4,7	0,06	0,2	0,03	67,4

Таблица 5

## Результаты интенсивного сорбционного цианирования огарка

Кесте 5

## Тұқылдарды қарқынды сорбциялық циандау нәтижелері

Table 5

## Results of intensive sorption cyanidation of the stub

Наименование пробы	Содержание элементов в пробах					Au в тв. хв., у.е.	Au в жидкой фазе, мг/л	Извлечение Au, %
	Au, у.е.	S <sub>общ</sub> , %	S <sub>S</sub> , %	C <sub>общ</sub> , %	C <sub>орз</sub> , %			
Огарок пенного продукта	339,5	4,7	0,06	0,2	0,03	23,19	Отс (<0,01)	93,17

что в начале исходную пробу подвергали окислительному обжигу, а уже потом – интенсивному цианированию обожженного продукта. В схеме второго опыта сокращается количество операций за счет того, что второй стадии сорбционного цианирования не производится. При этом потери золота при обжиге пылевывосом можно избежать, применяя современные аппараты грануляции.

#### Результаты исследований и их обсуждение

**Опыт 1.** Согласно схеме (рис. 1а), заранее подготовленную пробу известного состава подвергали интенсивному сорбционному цианированию. Результаты цианирования представлены в табл. 1.

Полученные результаты показывают, что извлечение ценного

компонента при интенсивном сорбционном цианировании составляет 77,54%. Хотя процесс цианирования протекал в жестких условиях, более высоких результатов по извлечению золота не удалось получить в связи с повышенным содержанием сульфидной серы и органического углерода (последний является природным сорбентом), содержание которых составляет 10,01% и 16,44% соответственно.

Дальнейшего увеличения извлечения ценного компонента из пенного продукта удастся достичь за счет применения обжига хвостов интенсивного цианирования. В ходе обжига сера и углерод сгорают и выводятся из пенного продукта. Это позволяет избежать негативного влияния вышеуказанных элементов

при дальнейшем сорбционном цианировании. Результаты по обжигу и сорбционному цианированию огарка представлены в табл. 2 и 3.

Судя по результатам, окислительный обжиг хвостов интенсивного сорбционного цианирования позволил снизить содержание сульфидной серы и органического углерода до 0,08% и 0,04% соответственно. Это способствовало доизвлечению золота в последующем сорбционном цианировании, где извлечение ценного компонента составило 86,17%. По данной схеме сквозное извлечение ценного компонента с учетом потери массы при обжиге составило 96,9%.

**Опыт 2.** Согласно схеме (рис. 1б), исходная проба того же состава, что и в предыдущем опыте, подвергается окислительному обжигу,



а уже потом – интенсивному цианированию. Результаты исследований приведены в табл. 4 и 5.

Полученные результаты говорят о том, что по данной схеме также возможно достичь достаточно высокого показателя извлечения, равного 93,17%. Так же, как и в предыдущем опыте, окислительным обжигом были достигнуты высокие значения десульфуризации и декарбонизации, которые привели к значительной потере в массе – 32,6%, что повлекло за собой повышение содержания ценного компонента в огарке.

#### **Заключение**

Применение окислительного обжига в сочетании с интенсивным

сорбционным цианированием в обоих случаях способствовало получению довольно высоких показателей извлечения ценного компонента. Тем не менее, в первом опыте этот показатель выше, чем во втором – 96,9% против 93,17%. Однако, при выборе оптимальной технологической схемы переработки пенного продукта процесса биоокисления стоит придерживаться технико-экономических соображений: хотя в первом случае извлечение золота выше, этому способствовала дополнительная операция сорбционного цианирования, которая во второй схеме не предусмотрена. Как результат, очередная стадия сорбционного

цианирования ведет к дополнительным материальным расходам и увеличивает продолжительность всего процесса переработки. С другой стороны, при столь высоком содержании ценного компонента в исходном продукте – 230,2 у.е., даже незначительная разница в степени извлечения ведет к значимой потере золота в хвосты. При выборе оптимальной схемы переработки необходимо провести дополнительно технико-экономические расчеты.

Необходимо отметить, что в обоих опытах в хвостах остается довольно высокое содержание золота, что предопределяет проведение дополнительных исследований по его доизвлечению.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Li W.J., Song Y.S., Chen Y., Cai L.L., Zhou G.Y. Исследование обогащения и выщелачивания руды с несколькими носителями золота и упорной руды с низким содержанием золота. // Серия конференций IOP: Материаловедение и инженерия. – Сингапур, 2017. – Т. 231. – С. 12169 (на английском языке)
2. Guo X., Xin Y., Wang H., Tian Q. Минералогические характеристики и предварительная обработка для извлечения сурьмы озоном из упорных золотосодержащих концентратов, содержащих сурьму. // Сделки Общества цветных металлов Китая. – 2017. – №27. – С. 1888-1895 (на английском языке)
3. Asamoah R.K., Skinner W., Addai-Mensah J. Поведение механохимически активированных биоокисленных тугоплавких флотационных золотых концентратов при выщелачивании. // Порошковая технология. – 2018. – №331. – С. 258-269 (на английском языке)
4. Celep O., Altinkaya P., Yazici E.Y., Devenci H. Влияние ультратонкого измельчения на цианидное выщелачивание медно-пиритного золотого концентрата. // 15-й Международный симпозиум по переработке полезных ископаемых. – Стамбул (Турция), 2016. – С. 202-216 (на английском языке)
5. Xiaoliang Zhang, Chunbao Sun, Yi Xing, Jue Kou, Min Su. Поведение пирита при термическом разложении в микроволновом поле и возможность выщелачивания золота с образованием элементарной серы при разложении золотосодержащих сульфидов. // Гидрометаллургия. – 2018. – Т. 180. – С. 210-220 (на английском языке)
6. Fomchenko N.V., Kondrat'eva T.F., Muravyov M.I. Новая концепция биогидрометаллургической технологии извлечения золота из упорных сульфидных концентратов. // Гидрометаллургия. – 2016. – №164. – С. 78-82 (на английском языке)
7. Mubarok M., Winarko R., Chaerun S., Rizki I., Ichlas Z. Повышение извлечения золота из упорных золотых руд путем биоокисления с использованием миксотрофных бактерий, окисляющих железо-серу/серу. // Гидрометаллургия. – 2017. – №168. – С. 69-75 (на английском языке)
8. Санакулов К., Эргашев У.А., Хамидов Р.А. Современные способы переработки упорных золотосодержащих руд. // Горный вестник Узбекистана. – 2020. – №4. – С. 45-49 (на русском языке)
9. Санакулов К.С., Эргашев У.А., Гафуров К.У. Флотационное обогащение при бактериальном окислении сульфидных золотосодержащих минералов. // Горный журнал. – М., 2017. – №1 (специальный выпуск). – С. 58-63 (на русском языке)
10. Khatidov R., Narzullayev Zh., Kuznetsov E. Исследование применения обжарки при переработке пенного продукта в процессе бактериального окисления флотационного концентрата в отдельном цикле. // Сеть конференций E3S. – 2021. – Т. 278. – С. 01018 (на английском языке)

11. Хамидов Р.А., Нарзуллаев Ж.Н. Исследования по отдельной переработке пенного продукта в процессе бактериального окисления с применением обжига. // X Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции и инновации в науке и производстве». – Кузбасс, 2021. – С. 176-1-176-4 (на русском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Li W.J., Song Y.S., Chen Y., Cai L.L., Zhou G.Y. Бірнеше алтын тасымалдаушысы бар кенді байыту және шаймалау және алтынның аз мөлшері бар тұрақты кенді зерттеу. // IOP Конференция сериясы: Материалтану және инженерия. – Сингапур, 2017. – Т. 231. – Б. 12169 (ағылшын тілінде)
2. Guo X., Xin Y., Wang H., Tian Q. Құрамында сурьма бар алтын бар тұрақты концентраттардан озонмен сурьма алу үшін минералогиялық сипаттамалар және алдын ала өңдеу. // Қытай түсті металдар қоғамының мәмілелері. – 2017. – №27. – Б. 1888-1895 (ағылшын тілінде)
3. Asamoah R.K., Skinner W., Addai-Mensah J. Сілтілеу кезіндегі механохимиялық белсендірілген биоқышқылды баяу балқитын флотациялық алтын концентраттардың әрекеті. // Ұнтақ технологиясы. – 2018. – №331. – Б. 258-269 (ағылшын тілінде)
4. Celcer O., Altınkaya P., Yazıcı E.Y., Devenci H. Мыс-пирит алтын концентратын цианидті шаймалауға ультра жұқа ұсақтаудың әсері. // 15-ші Халықаралық пайдалы қазбаларды өңдеу симпозиумы. – Стамбул (Түркия), 2016. – Б. 202-216 (ағылшын тілінде)
5. Xiaoliang Zhang, Chunbao Sun, Yi Xing, Jue Kou, Min Su. Микротолқынды өрістегі термиялық ыдырау кезіндегі пириттің әрекеті және құрамында алтын бар сульфидтердің ыдырауы кезінде қарапайым күкірт алу үшін алтынды шаймалау мүмкіндігі. // Гидрометаллургия. – 2018. – Т. 180. – Б. 210-220 (ағылшын тілінде)
6. Fotchenko N.V., Kondrat'eva T.F., Muravyov M.I. Тұрақты сульфидті концентраттардан алтын алудың биогидрометаллургиялық технологиясының жаңа тұжырымдамасы. // Гидрометаллургия. – 2016. – №164. – Б. 78-82 (ағылшын тілінде)
7. Mubarok M., Winarko R., Chaerun S., Rizki I., Ichlas Z. Алтын өндіруді арттыру миксотрофты кендерді пайдалана отырып, био-қышқылдандыру жолымен берік алтын кендерінен темір-күкірт/күкірт тотықтыратын бактериялар. // Гидрометаллургия. – 2017. – №168. – Б. 69-75 (ағылшын тілінде)
8. Санакулов К., Эргашев У.А., Хамидов Р.А. Құрамында алтын бар кендер. // Өзбекстанның тау жаршысы. – 2020. – №4. – Б. 45-49 (орыс тілінде)
9. Санакулов К.С., Эргашев У.А., Гафуров К.У. Флотациялық байыту сульфидті алтын бар минералдардың бактериялық тотығуымен. // Тау журнал. – М., 2017. – №1 (арнайы шығарылым). – Б. 58-63 (орыс тілінде)
10. Khamidov R., Narzullayev Zh., Kuznetsov E. Флотациялық концентраттың бактериялық тотығу процесінің көбікті өнімін жеке циклде өңдеу кезінде қуыруды қолдануды зерттеу. // E3S конференциялар желісі. – 2021. – Т. 278. – Б. 01018 (ағылшын тілінде)
11. Хамидов Р.А., Нарзуллаев Ж.Н. күйдіруді қолдана отырып, бактериялық тотығу процесінің көбік өнімін жеке өңдеу бойынша зерттеулер. // X Халықаралық ғылыми-практикалық конференция «Ғылым мен өндірістегі заманауи үрдістер мен инновациялар». – Кузбасс, 2021. – Б. 176-1-176-4 (орыс тілінде)

#### REFERENCES

1. Li W.J., Song Y.S., Chen Y., Cai L.L., Zhou G.Y. Beneficiation and leaching study of a muti-Au carrier and low grade refractory gold ore. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Singapore, 2017. – Vol. 231. – P. 12169. (in English)
2. Guo X., Xin Y., Wang H., Tian Q. Mineralogical characterization and pretreatment for antimony extraction by ozone of antimony-bearing refractory gold concentrates. // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2017. – №27. – P. 1888-1895 (in English)
3. Asamoah R.K., Skinner W., Addai-Mensah J. Leaching behaviour of mechano-chemically activated bio-oxidised refractory flotation gold concentrates. // Powder Technology. – 2018. – №331. – P. 258-269 (in English)

4. Celep O., Altinkaya P., Yazici E.Y., Deveci H. Effect of ultrafine-grinding on cyanide leaching of copper bearing pyritic gold concentrate. // 15th International Mineral Processing Symposium. – Istanbul (Turkey), 2016. – P. 202-216 (in English)
5. Xiaoliang Zhang, Chunbao Sun, Yi Xing, Jue Kou, Min Su. Thermal decomposition behavior of pyrite in a microwave field and feasibility of gold leaching with generated elemental sulfur from the decomposition of gold-bearing sulfides. // Hydrometallurgy. – 2018. – Vol. 180. – P. 210-220 (in English)
6. Fomchenko N.V., Kondrat'eva T.F., Muravyov M.I. A new concept of the biohydrometallurgical technology for gold recovery from refractory sulfide concentrates. // Hydrometallurgy. – 2016. – №164. – P. 78-82 (in English)
7. Mubarak M., Winarko R., Chaerun S., Rizki I., Ichlas Z. Improving gold recovery from refractory gold ores through biooxidation using iron-sulfur-oxidizing/sulfur-oxidizing mixotrophic bacteria. // Hydrometallurgy. – 2017. – 168. – P. 69-75 (in English)
8. Sanakulov K., Ergashev U.A., Khamidov R.A. Sovremennye sposoby pererabotki upornyx zolotosoderzhashhix rud [Modern methods of processing resistant gold-bearing ores]. // Gornyj vestnik Uzbekistana = Mining Bulletin of Uzbekistan. – 2020. – №4. – P. 45-49 (in Russian)
9. Sanakulov K.S., Ergashev U.A., Gafurov K.U. Flotacionnoe obogashhenie pri bakterial'nom okislenii sul'fidnyx zolotosoderzhashhix mineralov [Flotation enrichment during bacterial oxidation of sulfide gold-containing minerals]. // Gornyj zhurnal = Mining Journal. – Moscow, 2017. – №1 (special issue) – P. 58-63 (in Russian)
10. Khamidov R., Narzullayev Zh., Kuznetsov E. Research of the Application of Roasting in the Processing of the Foamy Product of the Process of Bacterial Oxidation of Flotation Concentrate in a Separate Cycle/ // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 278. – P. 01018 (in English)
11. Khamidov R. A., Narzullaev Zh. N. Issledovaniya po otdel'noj pererabotke pennogo produkta processa bakterial'nogo okisleniya s primeneniem obzhiga [Research on the separate processing of the foam product of the bacterial oxidation process using firing]. // X Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Sovremennye tendencii i innovacii v nauke i proizvodstve» = X International scientific and practical Conference «Modern trends and innovations in science and production». – Kuzbass, 2021. – №1 (special issue). – P. 176-1-176-4 (in Russian)

**Сведения об авторах:**

**Хамидов Р.А.**, докторант, старший преподаватель кафедры «Металлургия» Навоийского государственного горного института (г. Навои, Узбекистан), [hamidov-88@mail.ru](mailto:hamidov-88@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-8998-6571>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Хамидов Р.А.**, докторант, Науаи мемлекеттік тау-кен институты «Металлургия» кафедрасының аға оқытушысы (Науаи қ., Өзбекстан)

**Information about the authors:**

**Khamidov R. A.**, Doctoral Student, Senior Lecturer at the Department of Metallurgy of the Navoi State Mining Institute (Navoi, Uzbekistan)

Код МРНТИ 52.01.83

V.V. Povetkin<sup>1</sup>, A.Z. Bukayeva<sup>2</sup>, A.Z. Nurmukhanova<sup>1</sup>, M.K. Tatybayev<sup>3</sup><sup>1</sup>Non-profit Joint-Stock Company «Al-Farabi Kazakh National University» (Almaty, Kazakhstan),<sup>2</sup>Yessenov University (Aktau, Kazakhstan),<sup>3</sup>Non-profit Joint-stock Company «Kazakh National Agrarian University» (Almaty, Kazakhstan)

## USE OF FLAME BURNERS FOR MECHANIZED CUTTING OF HARD ROCKS

**Abstract.** In article the modern condition of manufacturing of facing and industrial products from the granite extracted on Kazakhstan deposits of a stone is resulted. Development of stone industries is connected with introduction of new technologies and equipment. Considered the introduction of thermal tools for cutting slot workings and block stone quarrying with specialized thermal units and powerful working bodies for effective cutting and processing of granite blocks. Designs of thermal cutting tools on the basis of which the working body of the stone-cutting machine of new design is developed are resulted. The substantiation of the thermodynamic working body based on the organization of a new method of burning the fuel mixture in shock waves initiated in the combustion chamber is given.

**Key words:** rock, gasoline-air burners, kerosene-oxygen burners, thermal tools, fuel components, gasoline, kerosene, air, detonation combustion, modern condition.

### Использование факельных горелок для механизированной резки твердых пород

**Аннотация.** В статье приведено современное состояние изготовления облицовочных и промышленных изделий из гранита, добываемого на казахстанских месторождениях камня. Развитие каменной промышленности связано с внедрением новых технологий и оборудования. Рассмотрено внедрение термических инструментов для резки щелевых выработок и добычи блочного камня со специализированными тепловыми установками и мощными рабочими органами для эффективной резки и обработки гранитных блоков. Показаны конструкции инструментов термической резки, на основе которых разработан рабочий орган камнерезного станка новой конструкции. Приведено обоснование термодинамического рабочего органа, основанного на организации нового способа сжигания топливной смеси в ударных волнах, инициируемых в камере сгорания.

**Ключевые слова:** горная порода, бензиновоздушные горелки, керосиново-кислородные горелки, термический инструмент, компоненты топлива, бензин, керосин, воздух, детонационное горение, современное состояние.

### Қатты жыныстарды механикалық кесу үшін алау жанарғыларын пайдалану

**Аңдатпа.** Мақалада қазақстандық тас кен орындарында өндірілетін граниттен қаптау және өнеркәсіптік бұйымдарды дайындаудың қазіргі жағдайы келтірілген. Тас өнеркәсібінің дамуы жаңа технологиялар мен жабдықтардың енгізілуімен байланысты. Гранит блоктарын тиімді кесу және өңдеу үшін арнайы жылу қондырғылары мен қуатты жұмыс органдары бар шұңқырлы қазбаларды кесуге және блок тастарын өндіруге арналған жылу құралдарын енгізу қарастырылған. Термиялық кесу құралдарының дизайны келтірілген, оның негізінде жаңа дизайндағы тас кесу машинасының жұмыс органы жасалды. Жану камерасында басталған соққы толқындарында отын қоспасын жағудың жаңа әдісін ұйымдастыруға негізделген термодинамикалық жұмыс органының негіздемесі келтірілген.

**Түйін сөздер:** тау-кен жынысы, бензиновоздушные қыздырғыштар, керосин-оттегі қыздырғыштары, термиялық құралы, компоненттері, отын, бензин, керосин, ауа, детонациялық жану, қазіргі жай-күйі.

### Introduction

The Republic of Kazakhstan has large reserves of a building stone from granite of various structure and various colors, suitable for manufacture of facing and industrial products. They are unique bluish-greenish color amazonite granites of Maigul deposit, red granites of Kurday and Akbakay deposits, granodiorites of Kayrakty deposit, but their extraction and processing, because of low technical level of branch lags behind in 3-4 times in comparison with Italy, Belgium, the USA and England. Demand of the national economy of the commonwealth of countries in articles made of natural stone of strong rocks is satisfied only by 10...15%, and demand for export – by 5-10%.

Significant progress in technology of extraction and processing of strong rocks from granites has been reached after occurrence of a fire-jet (thermal) way of destruction of rocks developed in the Kazakh polytechnical institute,

the Moscow mining institute, the Kharkov aviation institute and other institutes.

The introduction of thermal cutters for cutting and shearing cracks in granite pits radically changed the technology of mining granite, it allowed in 2...2,5 times to increase the yield of block stone and significantly improve its quality.

The basis and the initial data for development is the data on operation of manual thermal tools for cutting the slots in open pits, which is very low in consequence of the manual way. For example, in Almaty quarry Chinese thermal cutters are used.

Consequently, the increase in productivity due to the mechanization of the process of cutting slotted excavations will significantly increase productivity, protect workers and the environment from the harmful effects of noise of gas jets, i.e. the development of new konstruktivnyy thermal tools and machines to conduct slotted excavations.

### Materials and Methods

However, there are a number of unresolved problems in the practice of designing mechanized thermal units, namely: studying the mechanism of destruction of rocks at different methods of orientation of gas jets and physical and mechanical properties of the rocks being destroyed; determining rational technological parameters of cutting and design parameters of thermal units; developing effective working bodies of thermal units that implement new methods of burning fuel mixture; ensuring normal sanitary and hygienic working conditions of the workers, is the action plan.

### Results

We have developed new types of thermal cutter for breaking rocks processing and cutting granite blocks, implementing in its design the method of combustion of fuel components in powerful jump seals (shock waves), generated in the thermodynamic nozzle, allowing by ejection of atmospheric air into the burning zone

(jump seals), to increase the thermal power of the torch directing to the fracture surface; creation of a machine for cutting slotted excavations with a powerful thermodynamic working body, allows increasing the destructive power of the thermal tool due to mechanized uniform feeding of the burner gas jet into the fracture zone, and remote control of the working process of cutting slotted excavations will increase productivity, protect the working and the environment from the harmful effects of burner noise.

### Discussion

The flame-jet method of fracturing provides cutting and processing of rocks at the modern level with high speeds. Thus, the cutting capacity of oxygen-kerosene torches<sup>1-4</sup> reaches 1,3 m<sup>3</sup> of cutting area per hour, and gas-air torches – 0,8 m<sup>2</sup>/h.

Before the commissioning of thermal cutters designed to cut slots directly in rock masses, cutting and cutting trenches was carried out by drilling and blasting with the use of high explosives (ammonite)<sup>4,5</sup>. During the explosions there were significant losses of stone due to fracturing, leading to a violation of the strength and blockiness of the main massif.

In order to eliminate the drawbacks inherent in the drilling and blasting method of cutting and cutting trenches at Yantsevsky (Ukraine) and Maikulsky (Republic of Kazakhstan) granite quarries the following technology of block mining using thermal cutting is applied. Slit and cut trenches in a file are cut through by two vertical slots on depth of bedding (to the bottom of a ledge). Thermal cutting machines allow to cut the slots with the depth up to 4,5-5,0 m and with the width of 0,15-0,20 m. Granite from the inter-slot space is extracted in the form of blocks by explosion of powder charges. Then its subsequent cutting into blanks is made [1].

Implementation of block extraction technology with the use of thermal

cutting at the leading stone-working enterprises of Ukraine and the Republic of Kazakhstan has shown that rocks of the majority of deposits are well destroyed by air gas-jet thermal tools with acceptable speed for practice. Average cutting capacity<sup>2, 3, 6</sup> is 0.65 m<sup>2</sup> of slot per hour.

Experimental-industrial cutting of rocks of Maikulsky quarry of amazonite granites (the Republic of Kazakhstan) by gasoline-air thermal cutters TRV-5 of KazPTI construction has provided productivity of cutting by one burner 0,5 m<sup>2</sup>/h [1].

Wide introduction of products from a natural stone, has demanded sharp increase in extraction of blocks on open-cast stone-working enterprises.

The transition of enterprises to a new technology of mining blocks with the use of fire-jet cutting in an array provides [2-4]:

- reduction of losses of business stone by increasing the yield of blocks in 1,2...2 times;
- elimination of manual work for trench cleaning after blasting operations;

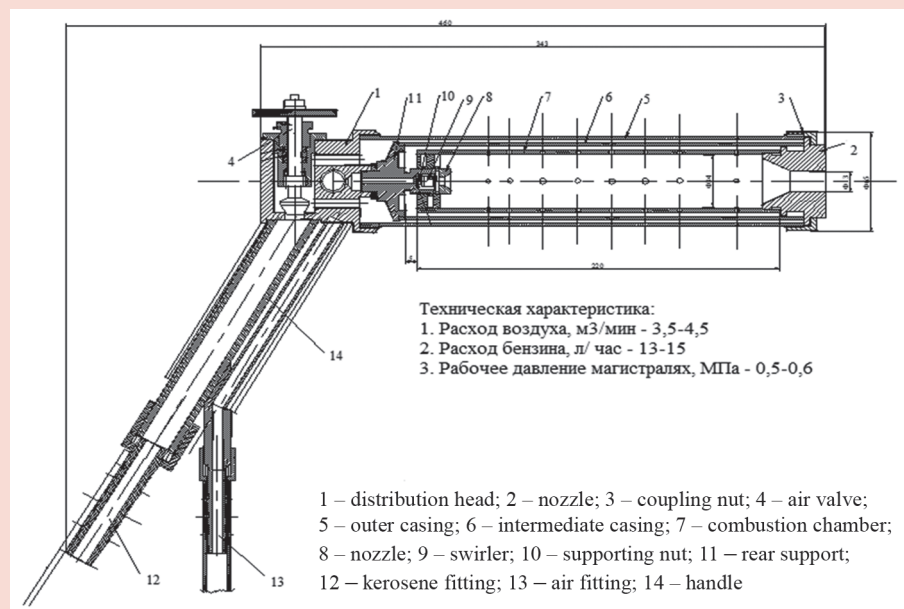
▪ reducing defects in products due to reduction of closed cracks from blasting;

▪ improvement of field development system and production culture.

The main instrument for flame-jet fracturing can be considered the certificate of authorship №160019 issued to A.V. Brichkin and A.N. Genbach in 1964, with the claim of the invention made as follows:

A device for thermal cutting and treatment of rocks, including a reactive jet burner, and fuel and gas lines with control devices, characterized in that, for the purpose of forming a pulsating directed flow of heated gas, providing a smooth surface of a given shape when processing, for example, building stone, the jet burner of the device is provided with a Laval nozzle with a shortened diffuser part.

According to the certificate of authorship №1813164 issued on 30.04.93 by the authors S.N. Pelykh, S.N. Akulov, N.P. Butt, a device for thermal destruction of rocks, including a body, a flame tube installed coaxially inside the body, a distributing head



**Figure 1. TRV-12M thermal cutter.**

**Рис. 1. Терморезак ТРВ-12М.**

**Сурет 1. Терморезак ТРВ-12М.**

<sup>1</sup>Rakishov B.R., Babin Y.N., Sherstyuk B.F., Bobovich V.S. *Technique and technology of granite blocks mining.* – M.: Nedra, 1989. – 197 p. (in Russian)

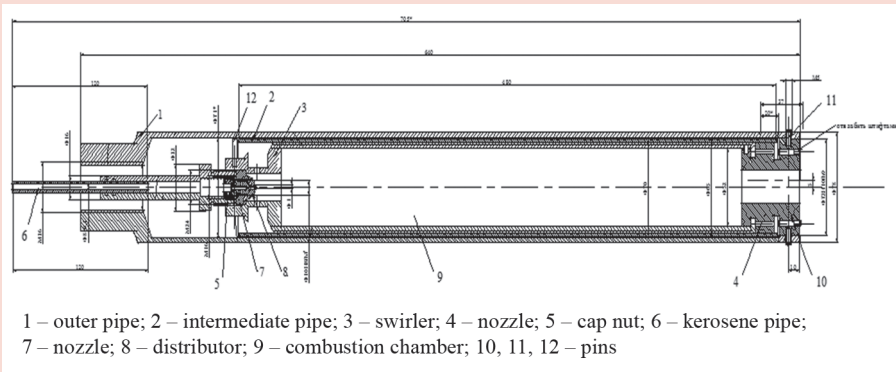
<sup>2</sup>Goldaev I.P. *Creation, Research and implementation of gas jet tools for thermal fracture of rocks.* / Abstract of the dis. for the degree of Doctor of Technical Sciences. – M.: IGD named Skochinsky, 1965. – 43 p. (in Russian)

<sup>3</sup>Goncharov S.A., Dmitriev A.P. *thermodynamic processes in rocks.* – M., 1990. – 360 p. (in Russian)

<sup>4</sup>Rakhimov B.R., Shifrin E.L., Fazilov S.S. *Improvement of mining technology of facing stone.* – Tashkent, 1983. – 214 p. (in Russian)

<sup>5</sup>Kucheryaviy F.I., Krysin R.S., Burkov Y.P. *Improvement of technology of granite quarries development.* – Kyiv: Technique, 1966. Technique 267 p. (in Russian)

<sup>6</sup>Shaparev S.V. *Determination of Technological parameters of rock fracture process with different properties during thermal processing.* / Dissertation of Candidate of Technical Sciences. – Alma-Ata, 1987. – 18 p. (in Russian)



1 – outer pipe; 2 – intermediate pipe; 3 – swirler; 4 – nozzle; 5 – cap nut; 6 – kerosene pipe; 7 – nozzle; 8 – distributor; 9 – combustion chamber; 10, 11, 12 – pins

**Figure 2. General view of the working body of the machine for cutting slotted excavations and surface treatment.**

**Рис. 2. Общий вид рабочего органа станка для нарезания щелевых выработок и обработки поверхности.**

**Сурет 2. Саңылау қазбаларын кесуге және бетін өндеуге арналған станоктың жұмыс органының жалпы түрі.**

with a cavity for supplying oxidant, nozzle apparatus with a cavity for its cooling and with a nozzle for the flow of combustion products from the inner cavity of the combustion chamber, placed between the body and the flame tube and forming with the latter the circular channels of the deflector formed by the flame tube, the nozzle apparatus and the distribution head of the combustion chamber.

According to the certificate of authorship 1209855 from 07.02.1986. (authors V.V. Povetkin, S.M. Seytbatalov, M.G. Tleuov) claimed device for thermal destruction of solid media is different in that in order to improve the reliability of starting the device by automatically providing the supply of fuel instead of starting, the device is provided with a thermal switch and a thermal sensor with a liquid sensor, made in the form of a spiral wound on a nozzle, and the thermal sensor is mechanically connected with the thermal switch, and the latter is electrically connected with the solenoid block-contact coil, with a mixing chamber placed in a cluster.

Invention №1017504 issued on 15.05.1983 by the authors E.K. Yastrebov, B.K. Stiron, B.F. Sherstyukov on the fire-jet burner, which is distinguished by the fact that to increase the efficiency of fuel combustion and destruction of rock materials, the combustion chamber is made with a perforated wall, and the inclined channels are connected to the

annular cavity, and the ratio of areas of the total cross-section of the channels and the critical section of the nozzle is 0,2-0,3; and the axes of the channels intersect with the nozzle axis outside its shear at a distance equal to 3-6 the critical section of nozzle diameter.

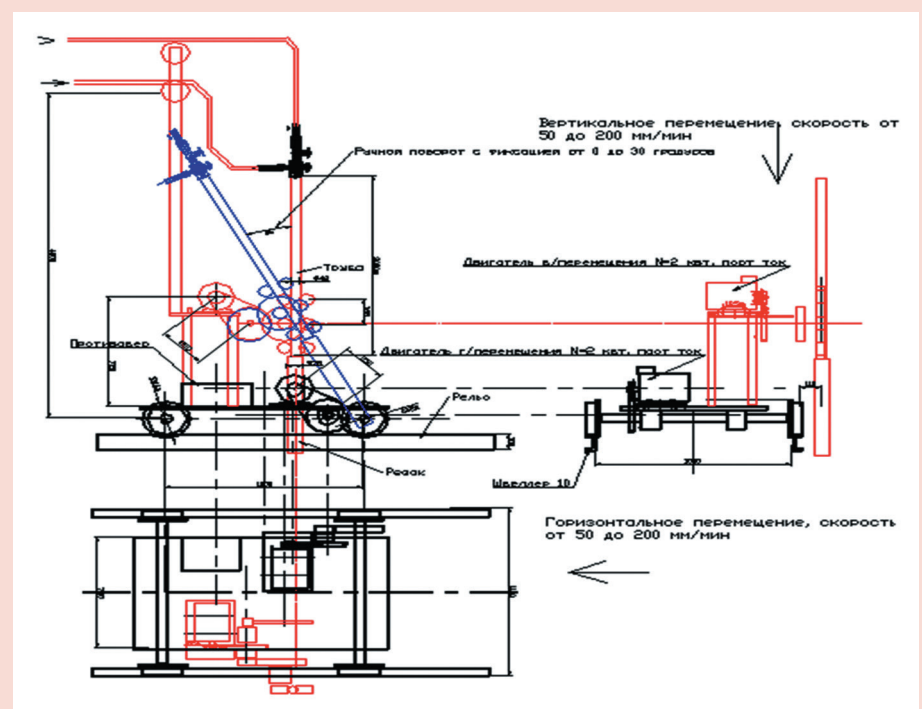
For laboratory tests in KazNITU named after K.I. Satpayev several constructions of thermal tools for testing design and mode parameters

were developed. Figure 1 shows the design of the laboratory handheld thermal tool.

The gas-air burners and their supply system are simple in design and maintenance. Instead of complicated fuel, oxidizer and cooling water supply systems, as is the case with kerosene-oxygen burners, an air compressor, a fuel tank and a thermal cutter are used.

In order to eliminate this disadvantage, a new design of thermal tool has been developed. Its efficiency and productivity have been increased by using all the air supplied in the process of fuel oxidation. According to the proposed scheme, air is first supplied to cool the nozzle through the gap between the main and intermediate (additional) casings, and then cools the combustion chamber. By cooling the nozzle and the combustion chamber, the air is additionally heated and then participates in the combustion process, increasing the thermophysical parameters of the flame.

The assembly drawing of the design of the working body of the new machine design is shown in Figure 2.



**Figure 3. Constructive diagram of the machine for conducting slotted excavations with thermodynamic working body.**

**Рис. 3. Конструктивная схема машины для проведения щелевых выработок с термодинамическим рабочим органом.**

**Сурет 3. Термодинамикалық жұмыс органы бар саңылау қазбаларын жүргізуге арналған машинаның құрылымдық схемасы.**

The working body of the new design of the machine for cutting slot workings in the rock massif during block stone mining consists of a thermal cutter, connecting pipes, a burner and a sprayer [3, 4].

This thermal cutter is more powerful in comparison with the existing constructions and provides productivity up to 5-6 m<sup>2</sup>/hour of cutting the slot in the granite massif. However, the consumption of fuel components (diesel fuel – up to 50 liters per hour and 20-25 m<sup>3</sup>/minute) requires a more powerful power station – air compressor and a pumping unit for fuel supply. In figure 3 the constructive scheme of a new

design of the machine for carrying out slot workings at extraction of granite blocks in open cast mines is presented.

The proposed design of the machine consists of a transport cart on the rail, equipped with a powerful thermodynamic working body, running on diesel oil. The oxidizing agent is air supplied by a compressor.

The slot cutting machine is equipped with electric drives for the horizontal movement of the cart and the horizontal and vertical feed of the working body at speeds ranging from 0,5 m/s to 5 m/s.

#### Conclusions:

1) The analysis of modern achievements in the field of

designing machines to conduct slot excavations in the extraction of block stone from strong rocks, using small-sized rocket burners.

2) The justification of the thermodynamic working body, based on the organization of a new method of burning the fuel mixture in the shock waves initiated in the combustion chamber.

3) In accordance with the results of the analysis of the state of mining granite blocks in the conditions of the quarry, the scheme of the design of the machine for slot excavation with a powerful thermodynamic working body is selected and its kinematic characteristics are defined.

#### REFERENCES

1. Goldaev I. P., Polevichuk E.P., Popov N.N., Fursov A.P. *Vozdushno-gazostrujnyj termouдар dlya obrabotki gornyx porod [Air gas-jet thermo-hammer for rock processing]. // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny = Construction and road vehicles. – M., 1965. – №6. – P. 32-36 (in Russian)*
2. Brichkin A.E., Babin Y.N., Okunkov E.K., Seytbatalov S.M. *Benzinovozdushnyj termorezak TRV-28/40-2 [Petrol-air thermal cutter TRV-28/40-2]. // Sbornik materialov Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta nauchno-texnicheskoj informacii i e'konomiki promyshlennosti stroitel'nyx materialov = Collected materials of All-Union Research Institute of Scientific and Technical Information and Economics of the Construction Materials Industry. – Kiev, 1971. – P. 25-29 (in Russian)*
3. Goldaev I.P., Polovichek E.P., Popov N.N., Fursov A.P., Zherdev G.S. *Opyt primeneniya termorezakov TRV-1 dlya rezki granita v massive [Experience of Applying Thermal Cutters TRV-1 for Cutting Granite in Massif.] // Sbornik materialov Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta nauchno-texnicheskoj informacii i e'konomiki promyshlennosti stroitel'nyx materialov = Collection of All-Union Research Institute of Scientific and Technical Information and Economics of the Construction Materials Industry. – Kiev, 1971. – P. 29-33 (in Russian)*
4. Nurymov Ye., Bukayeva A., Zhauyt A., Povetkin V., Askarov Ye. *Issledovanie termicheskix kamnerезных instrumentov [Study of thermal stonecutting tools]. // Zhurnal vibroinzhenernyx procedur = Journal of Vibroengineering Procedia, Vol. 8, 2016. – P. 22-27. (in Russian)*
5. Bukayeva A., Povetkin V., Kerimzhanova M., Tatybayev M. *Vysokoskorostnye instrumenty dlya termicheskogo napyleniya, ispol'zuetnye v texnologicheskix processax i proizvodstvax [High velocity thermal spraying tools used in technological processes and productions]. // Zhurnal vibroinzhenernyx procedur Journal of Vibroengineering Procedia. – 2016. – Vol. 10. – P. 474-479 (in Russian)*

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Голдаев И.П., Полевичек Е.П., Попов Н.Н., Фурсов А.П. *Воздушно-газоструйный термоудар для обработки горных пород. // Строительные и дорожные машины. – М., 1965. – №6. – С. 32-36 (на русском языке)*
2. Бричкин А.Е., Бабин Ю.Н., Окуньков Е.К., Сейтбаталов С.М. *Бензиновоздушный терморезак ТРВ-28/40-2. // Сборник материалов ВНИИЭСМ. – Киев, 1971. – С. 25-29. (на русском языке)*
3. Голдаев И.П., Половичек Е.П., Попов Н.Н., Фурсов А.П., Жердев Г.С. *Опыт применения терморезаков ТРВ-1 для резки гранита в массиве. // Сборник ВНИИЭСМ. – Киев, 1971. – С. 29-33 (на русском языке)*
4. Нурымов Е., Букаева А., Жауыт А., Поветкин В., Аскарлов Е. *Исследование термических камнерезных инструментов. // Журнал виброинженерных процедур. – 2016. – Т. 8. – С. 22-27 (на русском языке)*

5. Букаева А., Поветкин В., Керимжанова М., Татыбаев М. *Высокоскоростные инструменты для термического напыления, используемые в технологических процессах и производствах. // Журнал виброинженерных процедур. – 2016. – Т. 10. – С. 474-479 (на русском языке)*

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**

1. Голдаев И.П., Полевичек Е.П., Попов Н.Н., Фурсов А.П. *Тау жыныстарын өңдеуге арналған ауа-газ ағынды жылу соққысы. // – М., 1965. – №6. – Б. 32-36 (орыс тілінде)*
2. Бричкин А.Е., Бабин Ю.Н., Окуньков Е.К., Сейтбаталов С.М. *ТРВ-28/40-2 бензин-ауа терморезі. // ВНИИЭСМ материалдар жинағы. – Киев, 1971. – Б. 25-29 (орыс тілінде)*
3. Голдаев И.П., Половичек Е.П., Попов Н.Н., Фурсов А.П., Жердев Г.С. *Массивте гранитті кесу үшін ТРВ-1 терморезактарын қолдану тәжірибесі. // ВНИИЭСМ материалдар жинағы. – Киев, 1971. – Б. 29-33(орыс тілінде)*
4. Нурымов Е., Букаева А., Жауыт А., Поветкин В., Аскарлов Е. *Жылу тас кесу құралдарын зерттеу. // Виброинженерлік процедуралар журналы. – 2016. – Т. 8. – С. 22-27 (орыс тілінде)*
5. Букаева А., Поветкин В., Керимжанова М., Татыбаев М. *Технологиялық процесстер мен өндірістерде қолданылатын жоғары жылдамдықты жылу бүрку құралдары. // Виброинженерлік процедуралар журналы. – 2016. – Т. 10. – Б. 474-479 (орыс тілінде)*

**Information about the authors:**

**Vitaly V. Povetkin**, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Thermal Physics and Technical Physics of the Non-profit Joint-Stock Company «Al-Farabi Kazakh National University» (Almaty, Kazakhstan), [vv1940\\_povetkin@mail.com](mailto:vv1940_povetkin@mail.com); <https://orcid.org/0000-0002-3872-3488>

**Amina Z. Bukayeva**, PhD, Senior Lecturer at the Department of Mechanical Engineering of the Yessenov University (Aktau, Kazakhstan), [amina\\_bukaeva@mail.ru](mailto:amina_bukaeva@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0956-1552>

**Alfiya Z. Nurmukhanova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Thermal Physics and Technical Physics of the Non-profit Joint-Stock Company «Al-Farabi Kazakh National University» (Almaty, Kazakhstan), [alfiya.nurmukhanova@gmail.com](mailto:alfiya.nurmukhanova@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-0289-3610>

**Mukhtarbek K. Tatybayev**, PhD, Associate Professor at the Department «Technology and food safety» of the Non-profit Joint-Stock Company «Kazakh National Agrarian University» (Almaty, Kazakhstan), [mukhtar\\_t.k@mail.ru](mailto:mukhtar_t.k@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9980-1040>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Поветкин В.В.**, техника ғылымдарының докторы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің «Жылу физикасы және техникалық физика» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Букаева А.З.**, PhD, Yessenov University «Машина жасау» кафедрасының аға оқытушысы (Ақтау қ., Қазақстан)

**Нурмуханова А.З.**, техника ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің «Жылу физикасы және техникалық физика» кафедрасының доценті (Алматы қ., Қазақстан)

**Татыбаев М.К.**, PhD, Қазақ ұлттық аграрлық университеті, «Тағам өнімдерінің технологиясы және қауіпсіздігі» кафедрасының доценті (Алматы қ., Қазақстан)

**Сведения об авторах:**

**Поветкин В.В.**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Теплофизика и техническая физика» Казахского национального университета им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

**Букаева А.З.**, PhD, старший преподаватель кафедры «Машиностроение» Yessenov University (г. Ақтау, Казахстан)

**Нурмуханова А.З.**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплофизика и техническая физика» Казахского национального университета им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

**Татыбаев М.К.**, PhD, ассоциированный профессор кафедры «Технология и безопасность пищевых продуктов» Казахского национального аграрного университета (г. Алматы, Казахстан)



Международная  
конференция и выставка

# УГОЛЬ РОССИЯ И СНГ

16-17 НОЯБРЯ 2021, МОСКВА

Организатор:

VOSTOCK CAPITAL

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

## КЛЮЧЕВЫЕ МОМЕНТЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

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

### 15+ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

по производству угля и строительству объектов угольной инфраструктуры

### 40+ ДОКЛАДЧИКОВ И УЧАСТНИКОВ ДИСКУССИЙ:

представители проектов, регуляторные органы, ведущие эксперты отрасли

### БУДУЩЕЕ ИНДУСТРИИ УГОЛЬНОЙ

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

**ПРИМЕРЫ ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК И ЛУЧШИХ ТЕХНОЛОГИЙ** для повышения производственной эффективности

### СТАТУС КРУПНЕЙШИХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ

**ПРОЕКТОВ** – модернизация производства и развитие инфраструктурных проектов

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

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

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

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

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

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА** технических, технологических и сервисных решений от лидеров отрасли



COALOFRUSSIA.COM

среди  
ПОСТОЯННЫХ  
участников:



Код МРНТИ 52.13.27:52.01.77

А.В. Зеленко<sup>1</sup>, А.Н. Горбач<sup>1</sup>, М.А. Журавков<sup>2</sup>, М.А. Николайчик<sup>2</sup><sup>1</sup>Общество с ограниченной ответственностью «ПассатИнновации» (г. Солигорск, Беларусь),<sup>2</sup>Белорусский государственный университет (г. Минск, Беларусь)

## НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ БЕЗОПАСНОГО ДВИЖЕНИЯ ПОДЪЕМНЫХ СОСУДОВ В ШАХТНЫХ СТВОЛАХ

**Аннотация.** В статье рассматривается современная технология оценки состояния шахтного подъема с использованием непрерывного мониторинга движения подъемных сосудов шахтных стволов. Описаны функциональные возможности разработанной аппаратуры мониторинга, опыт обследования скиповых стволов горнодобывающих предприятий. Приведены результаты применения системы мониторинга плавности движения SLUCH на горнодобывающих предприятиях Республики Беларусь и Российской Федерации. Описана механико-математическая модель динамики скипа. Определены величины силового взаимодействия скипа с проводниками по данным, поступающим с системы мониторинга плавности движения. Освещены возможности диагностики состояния проводников при помощи разработанной аналитической модели с использованием данных, поступающих с датчиков системы SLUCH.

**Ключевые слова:** мониторинг движения подъемного сосуда, армировка шахтного ствола, динамическое взаимодействие, безударное движение, система мониторинга SLUCH, механико-математическое моделирование, силовое взаимодействие, импульсное воздействие.

### Шахталық оқпандардың көтергіш сауыттарының қауіпсіз қозғалысының үздіксіз мониторингі

**Андатпа.** Мақалада шахта оқпандарының көтергіш ыдыстарының қозғалысын үздіксіз бақылауды қолдана отырып, шахтаның көтерілуін бағалаудың заманауи технологиясы қарастырылған. Өзірленген мониторинг аппаратурасының функционалдық мүмкіндіктері, тау-кен өндіруші кәсіпорындардың скиптік оқпандарын зерттеу тәжірибесі сипатталған. Беларусь Республикасы мен Ресей Федерациясының тау-кен кәсіпорындарында SLUCH қозғалысының бірқалыпты мониторингі жүйесін қолдану нәтижелері келтірілген. Скип динамикасының механикалық-математикалық моделі сипатталған. Скиптің бірқалыпты қозғалыс мониторингі жүйесінен келіп түсетін деректер бойынша өткізгіштермен күштік өзара іс-қимыл шамалары айқындалды. SLUCH жүйесінің сенсорларынан келетін деректерді қолдана отырып, дамыған аналитикалық модель көмегімен өткізгіштердің күйін диагностикалау мүмкіндіктері көрсетілген.

**Түйінді сөздер:** көтеру ыдысының қозғалысын бақылау, шахта оқпанын арматуралау, динамикалық өзара әрекеттесу, соққысыз қозғалыс, SLUCH мониторинг жүйесі, механикалық-математикалық модельдеу, күштік өзара әрекеттесу, импульстік әсер ету.

### Continuous monitoring of safe movement of lifting vessels of shaft barks

**Abstract.** The article discusses modern technology for assessing the status of mine hoisting using continuous monitoring of the movement of conveyances of mine shafts. The functional capabilities of the developed monitoring equipment are given, the experience of examining skip shaft of mining enterprises is described. The motion smoothness monitoring system SLUCH application at the Republic of Belarus and Russian Federation mining companies results are presented. A mechanical and mathematical model of skip dynamics is described. The skip with guides force interaction values were determined according to the data received from the motion smoothness monitoring system. The possibilities of conductors diagnosing state using the analytical model developed and SLUCH system sensors data are highlighted.

**Key words:** monitoring the movement of a lifting vessel, reinforcing a shaft, dynamic interaction, monitoring the movement of a conveyance, reinforcing a shaft, dynamic interaction, shockless movement, SLUCH system, mechanical and mathematical modeling, force interaction, impulse action.

### Введение

Задача обеспечения безопасной эксплуатации шахтного подъема была и остается в числе наиболее приоритетных для горнодобывающего предприятия. Конструкции шахтного ствола, подверженные коррозионному и механическому износу, постоянному воздействию влаги и агрессивной среды, испытывающие воздействия от смещения горных пород, динамических воздействий подъемных сосудов при их движении по стволу, требуют постоянного контроля их состояния. Регламентным мероприятием по оценке состояния ствола является ежедневный осмотр персоналом предприятия крепи и армировки ствола, представляющий собой, главным образом, визуальную оценку конструкций. При современном уровне развития техники такой формат для оценки состояния опасных производственных объектов, конечно, неприемлем. Процедура визуального

осмотра не предполагает использования аттестованных средств измерения для сбора данных, обследование выполняется на пониженной скорости (скорость осмотра ствола должна быть не более 1 м/с), невозможно обеспечить непрерывный контроль параметров по всем направлениям, что в совокупности не позволяет доверительно относиться к надежности данной процедуры. Поэтому актуальным представляется использование специального оборудования для организации непрерывного мониторинга движения подъемного сосуда и его взаимодействия с конструкциями ствола. Помимо аппаратурных измерений важным моментом является обработка полученных данных для определения параметров взаимодействия скипа с проводниками. Актуальной задачей является и математическое моделирование процесса движения подъемного сосуда и его взаимодействия с элементами ствола.

Достаточно большое число работ посвящено данной проблеме [1-6].

**Целью настоящей статьи** является представление возможностей и опыта применения системы SLUCH мониторинга плавности движения подъемного сосуда, а также описание механико-математической модели динамики подъемного сосуда, позволяющей по данным, поступающим с акселерометров системы SLUCH, определять величины силового взаимодействия подъемного сосуда с проводниками.

### О системе мониторинга SLUCH

Уровень современных технических средств позволяет создать систему непрерывного мониторинга безопасного движения подъемных сосудов, в которой будут реализованы алгоритмы контроля (сравнение измеренных данных о величинах динамического воздействия подъемных сосудов на армировку ствола с заданными установками и предоставление персоналу информации

о качестве движения подъемного сосуда) и защиты (идентификация признаков выхода подъемного сосуда из направляющих проводников и отключение подъемной машины).

К системам подобного типа относятся и аппаратура SLUCH – многофункциональная техническая система, позволяющая обеспечить:

- непрерывный сбор данных о характере движения подъемных сосудов по направляющим проводникам шахтного ствола: измерение величины и направления линейных ускорений подъемных сосудов, характеризующих величину силового воздействия подъемного сосуда на направляющие проводники во время его движения по стволу;

- вычисление по данным абсолютного энкодера местоположения подъемного сосуда в стволе;

- обработку полученных результатов с привязкой значений ускорений к местоположению подъемного сосуда в стволе с построением соответствующих графиков и диаграмм;

- создание базы данных для проведения анализа результатов мониторинга, формирования графических отчетов;

- определение мест, обязательных для последующего детального обследования персоналом при выполнении ремонтно-ревизионных работ;

- расчет массы поднимаемой породы (опция);

- вывод на пульт машиниста предупреждающих и аварийных сообщений о превышении заданных порогов динамического воздействия подъемных сосудов на жесткие направляющие ствола;

- двустороннюю переговорную связь между персоналом, находящимся на подъемном сосуда, и машинистом подъемной установки (опция);

- подачу с подъемного сосуда машинисту ходовых команд и сигналов на аварийную остановку подъемной установки или блокировку движения (опция);

- непрерывное ведение протокола работы аппаратуры с архивированием событий с возможностью просмотра событий на клиентской станции;

- выдачу контакта для цепи управления аварийного торможения

при недопустимо высоких значениях ускорений подъемных сосудов при движении по стволу;

- выдачу контакта для цепи управления аварийного торможения подъемной машины при идентификации датчиками, установленными на подъемном сосуда, первичных признаков аварии (выхода подъемного сосуда из направляющих) в режиме реального времени;

- передачу измеренных значений на вычислительный комплекс на поверхности в режиме реального времени при движении подъемных сосудов по стволу;

- передачу дополнительных сигналов по запросу заказчика.

### Опыт применения системы

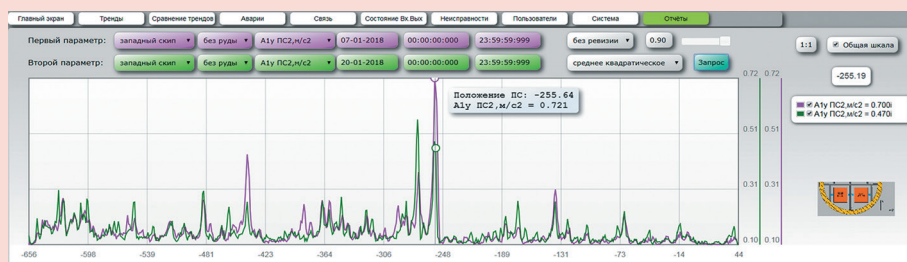
Система SLUCH предоставляет специалистам горнодобывающего предприятия необходимую информацию для эффективного проведения ревизионных работ в стволе. Анализ данных, поступивших в базу аппаратуры, помогает выявить места, требующие детального визуального осмотра. Тем самым, *аппаратура не заменяет человека, а является в его руках инструментом для обеспечения персоналом безопасной эксплуатации опасного производственного объекта.*

В качестве примера на рис. 1 приведен «скриншот» сформированного отчета для инженерно-технического персонала о движении подъемного сосуда при эксплуатации аппаратуры на скиповом подъеме одного из рудоуправлений ОАО «Беларуськалий».

Тщательный ревизионный осмотр техническим персоналом мест с указанными на графиках «критическими точками» максимальных ускорений подтвердил наличие дефектов в местах контакта башмаков с гранями направляющих проводников.

На рис. 2 приведены графики, характеризующие движение скипа до и после замены роликовых направляющих. Замена роликов привела к значительному снижению динамических нагрузок.

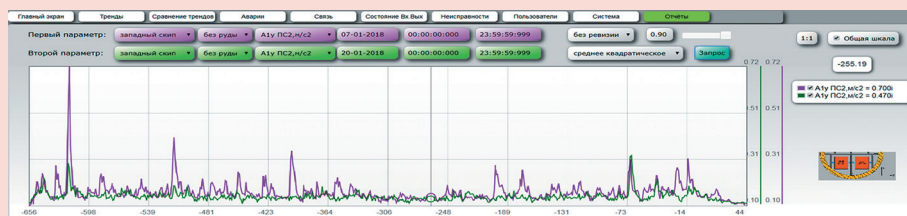
На базе мобильного стенда из состава системы SLUCH были проведены экспресс-обследования скиповых стволов нескольких горнодобывающих предприятий Российской Федерации и Республики Беларусь. Данные по некоторым из них приведены на рис. 3 и 4. Стенд представлял собой два комплекта оборудования. Первый комплект устанавливался на подъемный сосуд, второй – на подшивную площадку.



**Рис. 1. График, описывающий движение скипа, сформированный по результатам обработки данных системы SLUCH.**

**Сурет 1. SLUCH жүйесінен деректерді өңдеу нәтижелері бойынша құрылған, секіру қозғалысын сипаттайтын график.**

**Figure 1. A graph formed according to the SLUCH system data processing results describing the skip motion.**



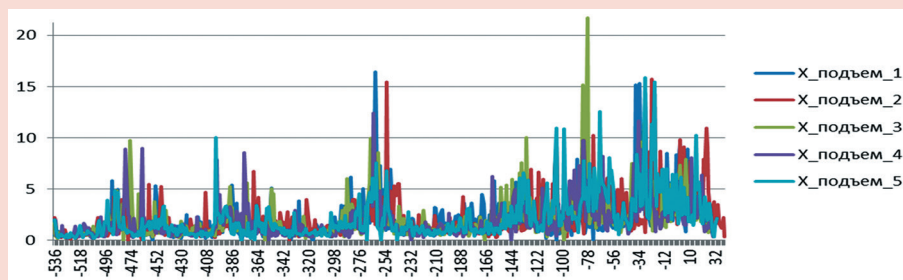
**Рис. 2. Графики до и после замены роликовых направляющих.**

**Сурет 2. Роликті бағыттағыштарды ауыстырғанға дейін және кейін графиктер.**

**Figure 2. Graphs before and after roller guides replacing.**

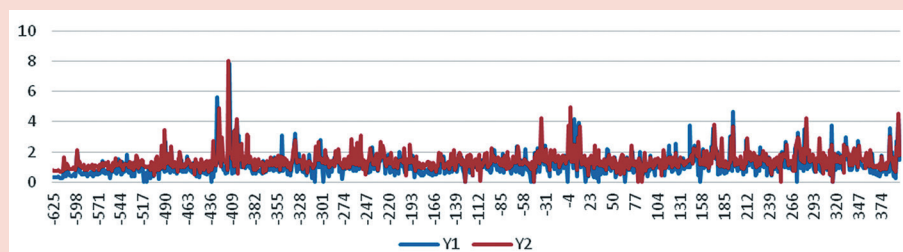
Время подготовки и выполнения собственно обследования составило 4 ч. В ходе обследования решались две задачи: проверка работы беспроводного канала связи и сбор данных с аппаратуры. Обработанные данные представлялись в виде графика качества движения подъемного сосуда, где ось абсцисс – отметки местоположения подъемного сосуда в стволе (в метрах относительно уровня мирового океана), ось ординат – измеренные линейные горизонтальные боковые и лобовые ускорения скипа, в  $\text{м/с}^2$ . Набор данных осуществлялся в штатном рабочем режиме подъемной установки в течение 4–6 циклов спуск/подъем.

На рис. 3 представлены совмещенные графики боковых горизонтальных ускорений, измеренные акселерометрами, установленными на подъемном сосуде, при проведении обследования скипового ствола шахты АО «Воркутауголь». Характер поведения графиков показывает наличие динамических нагрузок достаточно высокого уровня, которые могут стать причиной ускоренного износа проводников, снижения ниже допустимого уровня запасов прочности проводников и расстрелов, узлов их крепления.



**Рис. 3. Данные со скипового ствола шахты АО «Воркутауголь».**  
Сурет 3. «Воркутауголь» АҚ шахтасының скиф шахтасынан алынған мәліметтер.

**Figure 3. Data from skip shaft of JSC «Vorkutaugol» mine.**



**Рис. 4. Данные со скипового ствола рудника АК «Алроса».**  
Сурет 4. «Алроса» АҚ шахтасының скиф шахтасынан алынған мәліметтер.

**Figure 4. Data from skip shaft of JSC «Alrosa» mine.**

На рис. 4 приведены графики лобовых горизонтальных ускорений, измеренные двумя акселерометрами, установленными на одном ярусе скипа при обследовании скипового ствола рудника АК «Алроса». Система SLUCH позволила оценить качество движения подъемного сосуда, длина хода которого составила 1030 м. При этом движение скипа можно характеризовать как безударное, с единичным участком, требующим детального обследования персоналом для выявления причины значительного динамического воздействия.

Приведенный опыт применения системы SLUCH показывает, что информативность инструментального контроля несопоставима с процедурой визуального осмотра при проведении ревизии ствола. Применение существующих методов оценки состояния шахтного ствола с учетом данных аппаратуры мониторинга позволяет создать систему непрерывного мониторинга безопасного движения подъемных сосудов, которая обеспечивает сбор данных в автоматическом режиме при рабочей скорости движения сосуда в стволе (порядка 7–14 м/с). Отметим, что в правилах безопасности при разработке месторождений

полезных ископаемых подземным способом других стран такой вид инструментального контроля уже введен (п. 108 «Правил безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» РФ). В настоящее время внесение данного вида инструментального контроля в «Правила по обеспечению промышленной безопасности при разработке подземным способом соляных месторождений Республики Беларусь» находится на этапе согласования.

#### **Разработка механико-математической модели движения скипа с использованием данных системы мониторинга плавности движения SLUCH**

Показания акселерометров, получаемые с помощью системы мониторинга плавности движения, позволяют определять места потенциальных нарушений геометрии проводников и прочих дефектов армировки. Однако, оценка лишь по графикам горизонтальных ускорений не позволяет получить полную картину механического взаимодействия подъемного сосуда с проводниками. Поэтому существует необходимость разработки механико-математической модели движения скипа, которая предоставила бы возможность в реальном времени по показаниям датчиков системы мониторинга определять величины усилий, возникающих в зоне контакта подъемного сосуда с проводниками, что позволит делать заключения о характере напряженно-деформированного состояния проводников и возможности возникновения пластических (необратимых) деформаций в них, что может являться основанием даже для замены звена проводника.

Рассмотрим задачу построения математической модели движения подъемного сосуда (скипа) под действием внешних и внутренних силовых нагрузок: силы тяжести, действующей на скип с грузом в точке  $C$  (центр масс); сил  $\vec{F}_0, \vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4$ , действующих соответственно в точках  $M_0, M_1, M_2, M_3, M_4$ .  $M_0$  – точка подвеса;  $M_1(x_1, 0, z_1), M_2(-x_1, 0, z_1), M_3(x_3, 0, z_3), M_4(-x_3, 0, z_3)$  – положение точек контакта;  $M_5(x_5, y_5, z_5)$ ,

$M_6(x_6, y_6, z_6)$  – положение акселерометров системы мониторинга;  $W_i$  – ускорения по показаниям акселерометров. Искомыми в данном случае являются величины сил  $\bar{F}_{0p}, \bar{F}_{1p}, \bar{F}_{2p}, \bar{F}_{3p}, \bar{F}_{4p}$ , контактного взаимодействия скипа с направляющими.

Скип, как абсолютно твердое тело, относительно системы координат, перемещающейся поступательно вертикально со скоростью  $v(t)$ , имеет 5 степеней свободы и его относительное движение под действием сил  $\bar{F}_i(\bar{F}_{ix}, \bar{F}_{iy}, 0)$ ,  $i = \overline{1,4}$ , приложенных в точках  $M_i$ ,  $i = \overline{1,4}$ , можно описать уравнениями теорем о движении центра масс скипа и изменении кинетического момента скипа<sup>1</sup>:

$$M \times \bar{W}_c = \sum_{i=1}^4 \bar{F}_i, \quad (1)$$

$$d\bar{K}_c/dt = \sum_{i=1}^4 \bar{C}M_i \times \bar{F}_i, \quad (2)$$

здесь  $\bar{K}_c = (I_x \dot{\phi}_x, I_y \dot{\phi}_y, I_z \dot{\phi}_z)$  – кинетический момент скипа;

$\bar{C}M_i = (x_i, 0, z_i)$ ,  $i = \overline{1,4}$  – радиус-векторы, соединяющие центр масс скипа с точками контакта;

$\phi_x, \phi_y, \phi_z$  – угловые скорости скипа относительно осей координат.

Скорость  $\bar{V}$  любой точки  $M$  скипа относительно неподвижной системы координат<sup>2</sup> можно приближенно найти по формуле:

$$\begin{aligned} \bar{V} &= \bar{V}_c + \bar{\omega} \times \bar{C}M = \\ &= \bar{V}_c + (\dot{\phi}_x, \dot{\phi}_y, \dot{\phi}_z) \times \bar{C}M. \end{aligned} \quad (3)$$

Продифференцируем равенство (3) по времени, после чего запишем его для точек  $M_5, M_6$ :

$$\begin{aligned} \bar{W}_5 &= \bar{W}_c + \bar{\varepsilon} \times \bar{C}M_5 = \\ &= \bar{W}_c + (\ddot{\phi}_x, \ddot{\phi}_y, \ddot{\phi}_z) \times \bar{C}M_5. \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \bar{W}_6 &= \bar{W}_c + \bar{\varepsilon} \times \bar{C}M_6 = \\ &= \bar{W}_c + (\ddot{\phi}_x, \ddot{\phi}_y, \ddot{\phi}_z) \times \bar{C}M_6. \end{aligned} \quad (5)$$

Вычитая равенство (4) из равенства (5) получаем:

$$\begin{aligned} \bar{W}_6 - \bar{W}_5 &= \bar{\varepsilon} \times \bar{M}_5 M_6 = \\ &= (\ddot{\phi}_x, \ddot{\phi}_y, \ddot{\phi}_z) \times \bar{M}_5 M_6. \end{aligned} \quad (6)$$

Спроектируем отношение (4-6) на оси координат:

$$\begin{aligned} W_{x5} &= W_{xc} + \ddot{\phi}_y \times z_5 - \ddot{\phi}_z \times y_5; \\ W_{y5} &= W_{yc} + \ddot{\phi}_z \times x_5 - \ddot{\phi}_x \times z_5; \\ W_{x6} - W_{x5} &= \ddot{\phi}_y(z_6 - z_5) - \ddot{\phi}_z(y_6 - y_5); \quad (7) \\ W_{y6} - W_{y5} &= \ddot{\phi}_z(x_6 - x_5) - \ddot{\phi}_x(z_6 - z_5); \\ W_{z6} - W_{z5} &= \ddot{\phi}_x(y_6 - y_5) - \ddot{\phi}_y(x_6 - x_5). \end{aligned}$$

Поскольку  $(\bar{W}_6 - \bar{W}_5) \perp \bar{M}_5 M_6$ , то:  
 $W_{z6} - W_{z5} = [(W_{x6} - W_{x5})(x_6 - x_5) + (W_{y6} - W_{y5})(y_6 - y_5)] / (z_5 - z_6)$ .

Выразим теперь величины  $\ddot{X}_c, \ddot{Y}_c, \ddot{\phi}_x, \ddot{\phi}_y, \ddot{\phi}_z$  из (1-2) в проекциях на оси неподвижной системы координат и подставим их в формулы (7). Полученные выражения можно рассматривать как систему линейных уравнений относительно величин  $d_i(t)$ ,  $i = \overline{1,5}$ .

$$\begin{aligned} d_1 &= F_{1x} + F_{2x}, \quad d_2 = F_{3x} + F_{4x}, \\ d_3 &= F_{1y} + F_{2y}, \quad d_4 = F_{3y} + F_{4y}, \\ d_5 &= F_{1y} + F_{3y} - F_{2y} - F_{4y}. \end{aligned}$$

После решения системы уравнений находим главный вектор  $\bar{F}_c$  и главный момент  $\bar{M}_c$  сил, с которыми проводники действуют на скип, и их модули:  $\bar{F}_c = (d_1 + d_2, d_3 + d_4, 0)$ ,  $\bar{M}_c = (-z_1 \times d_3 + z_3 \times d_4, z_1 \times d_1 + z_3 \times d_2, x_1 \times d_5)$ .

Чтобы нивелировать резкие изменения ускорений  $\bar{W}_6$  и  $\bar{W}_5$  перейдем от главного вектора  $\bar{F}_c$  и главного момента сил  $\bar{M}_c$  к импульсам  $SF_c(t)$  и  $SM_c(t)$  путем интегрирования за некоторое время  $\tau$ , которое можно подобрать по графикам ускорений точек  $M_5, M_6$ .

На рис. 5 приведен график импульса за один подъем в зависимости от времени в соответствии с данными ускорений, поступающих с системы мониторинга плавности движения SLUCH, установленной

на одном из стволов рудника ОАО «Беларуськалий».

По результатам, показанным на рис. 5, можно явно выделить участки подъема с повышенной нагрузкой на проводники. При этом использование графика импульсов позволяет качественно оценить силовое взаимодействие скипа с армировкой. Переход обратно к усилиям  $d_i$  дает возможность оценивать напряженно-деформированное состояние проводников при взаимодействии с направляющими роликами движущегося скипа [7], что, как уже сказано, может быть использовано для определения величин пластических деформаций в проводниках, вызванных разовым всплеском усилий, а также возникшим за счет многоциклового нагружения со стороны скипа.

Подробная механико-математическая модель динамики движения скипа с возможностью использования в качестве входных данных как значений ускорений, так и профилировки проводников, учитывающая влияние головного и хвостового канатов на вертикальные колебания скипа представлена в работе [8].

**Заключение**

В статье приведен общий обзор функциональных возможностей системы мониторинга плавности движения SLUCH. Описан процесс установки на скип и дальнейшей наладки

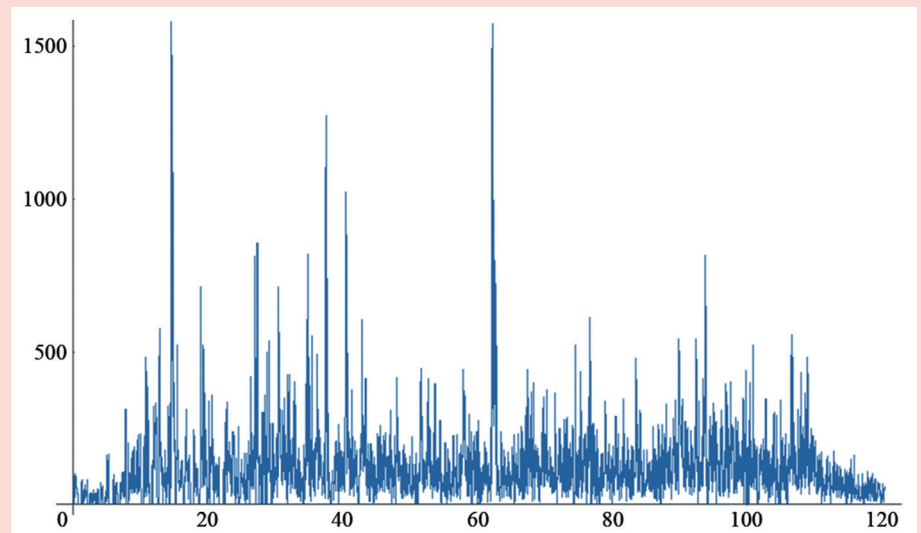


Рис. 5. График импульса  $SF_c(t)$  при  $\tau = 0,04$ .  
 Сурет 5.  $SF_c(t)$  импульс графігі  $\tau = 0,04$ .  
 Figure 5. Impulse graph  $SF_c(t)$  at  $\tau = 0,04$ .

<sup>1</sup>Вярвьильская О. Н, Медведев Д.Г, Савенков В.А, Савчук В.П. Теоретическая механика: учебное пособие. – Минск: БГУ, 2006. – 102 с.  
<sup>2</sup>Яблонский А.А, Никифорова В.М. Курс теоретической механики. – М.: Высш. шк., 1966. – Ч. 1. – 355 с.

оборудования системы для обследования подъема. Показаны интерфейс разработанной системы SLUCH, а также результаты обследований скиповых подъемов горнодобывающих предприятий Республики Беларусь и Российской Федерации.

Описан процесс построения аналитической механико-математической модели движения скипа с учетом данных, поступающих с акселерометров системы мониторинга плавности

движения SLUCH. С целью уменьшения случайных эффектов выполнен интегральный переход от силового к импульсному воздействию.

Система мониторинга плавности движения SLUCH позволяет реализовать инструментальную инспекцию характера движения подъемного сосуда, превентивное выявление дефектов и первичных признаков аварии. Внесение требований по оснащению подобной системой

шахтного подъема в «Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геологоразведочные работы», утвержденные приказом Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30 декабря 2014 №352, значительно повысит уровень безопасной эксплуатации шахтного подъема и позволит увеличить производительность предприятия.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kuznetsov N.K., Eliseev S.V., Perelygina A.Yu. Снижение динамических нагрузок в шахтных подъемных установках. // Физический журнал: Серия конференций. – 2018. – №944. – С. 1-9 (на английском языке)
2. Samusia V.I., Piina I.S., Piina S.S. Компьютерное моделирование и исследование динамики системы «сосуд – арматура» в стволах с нарушенной геометрией. // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое машиностроение и горнодобывающая промышленность. – 2016. – №15(20). – С. 277-285 (на английском языке)
3. Renuan Wu, Zhencai Zhu, Guohua Cao. Вычислительное гидродинамическое моделирование канатных транспортных средств в двух типичных типах компоновок шахт. // PLoS ONE. – 2015. – №10(2). – С. 1-12 (на английском языке)
4. Renuan Wu, Zhencai Zhu, Guoan Chen, Guohua Cao, Wei Li. Моделирование поперечных колебаний канатного транспортного средства на основе взаимодействия жидкости и структуры. // Журнал виброинженерии. – 2014. – №16(3). – С. 1555-1563 (на английском языке)
5. Wolny S., Matachowski F. Анализ нагрузок и напряжений в конструктивных элементах подъемных установок в шахтах. // Инженерные операции. – 2010. – №58(3-4). – С. 153-174 (на английском языке)
6. Jovan Vladic, Miodir Jovanovic, Radomir Dokic, Milan Kljajin, Mirko Karaksic. Теоретический и экспериментальный анализ динамических характеристик шахтного элеватора. // Технический вестник. – 2015. – №22(4). – С. 1011-1020 (на английском языке)
7. Журавков М.А., Николайчик М.А., Маевский П.С. Контактная задача взаимодействия направляющего ролика с шахтным проводником. // Механика машин, механизмов и материалов. – 2021. – №3(56). – С. 82-88 (на русском языке)
8. Zhuravkov M.A., Savchuk V.P., Nikolaitchik M.A. Аналитическая модель движения скипа с учетом влияния напора и балансировочных канатов. // Вестник БГУ. Математика и информатика. – 2021. – №2:00–00. – С. 94-102 (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Kuznetsov N.K., Eliseev S.V., Perelygina A.Yu. Шахталық көтергіш қондырғылардағы динамикалық жүктемелердің төмендеуі. // Физикалық журнал: конференциялар сериясы. – 2018. – №944. – Б. 1-9 (ағылшын тілінде)
2. Samusia V.I., Piina I.S., Piina S.S. (2016). Геометриясы бұзылған оқпандардағы «ыдыс – арматура» жүйесінің динамикасын компьютерлік модельдеу және зерттеу. // ПНИПУ хабаршысы. Геология. Мұнай-газ машина жасау және тау-кен өндіру өнеркәсібі. – 2016. – №15(20). – Б. 277-285. (ағылшын тілінде)
3. Renuan Wu, Zhencai Zhu, Guohua Cao. Шахта орналасуының екі типтік түріндегі кабельдік көліктерді есептеу гидродинамикалық модельдеу. // PLoS ONE. – 2015. – №10(2). – Б. 1-12 (ағылшын тілінде)
4. Renuan Wu, Zhencai Zhu, Guoan Chen, Guohua Cao, Wei Li. Сұйықтық пен құрылымның өзара әрекеттесуі негізінде кабельдік көліктің көлденең тербелістерін модельдеу. Виброинженерия журналы. – 2014. – №16(3). – Б. 1555-1563 (ағылшын тілінде)
5. Wolny S., Matachowski F. Шахталардағы Көтергіш қондырғылардың құрылымдық элементтеріндегі жүктемелер мен кернеулерді талдау. // Инженерлік операциялар. – 2010. – №58(3-4). – Б. 153-174. (ағылшын тілінде)
6. Jovan Vladic, Miodir Jovanovic, Radomir Dokic, Milan Kljajin, Mirko Karaksic. Шахталық элеватордың динамикалық сипаттамаларын теориялық және

эксперименттік талдау. *Техникалық хабаршы.* – 2015. – №22(4).  
– Б. 1011-1020. (ағылшын тілінде)

7. Журавков М.А., Николайчик М.А., Маевский П.С. Бағыттаушы роликтің шахталық өткізгішпен өзара әрекеттесуінің байланыс міндеті. // *Машиналар, механизмдер және материалдар механикасы.* – 2021. – №3(56). – Б. 82-88 (орыс тілінде)
8. Zhuravkov M.A., Savchuk V.P., Nikolaitchik M.A. Қысым мен тепе-теңдік арқандарының әсерін ескере отырып, скип қозғалысының аналитикалық моделі. // *Беларусь мемлекеттік университетінің хабаршысы. Математика және информатика.* – 2021. – №2:00–00. – Б. 94-102 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Kuznetsov N.K., Eliseev S.V., Perelygina A.Yu. Reduction of Dynamic Loads in Mine Lifting Installations. // *Journal of Physics: Conference Series.* – 2018. – №944. – P. 1-9 (in English)
2. Samusia V.I., Iliina I.S., Iliina S.S. (2016). Computer modeling and investigation of dynamics of system «vessel-reinforcement \_ in shafts with broken geometry. // *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining.* – 2016. – №15(20). – P. 277-285 (in English)
3. Renyuan Wu, Zhencai Zhu, Guohua Cao. Computational Fluid Dynamics Modeling of Rope-Guided Conveyances in Two Typical Kinds of Shaft Layouts. *PLoS ONE.* – 2015. – №10(2). – P. 1-12 (in English)
4. Renyuan Wu, Zhencai Zhu, Guoan Chen, Guohua Cao, Wei Li. Simulation of the lateral oscillation of rope-guided conveyance based on fluid-structure interaction. // *Journal of Vibroengineering.* – 2014. – №16(3). – P. 1555-1563 (in English)
5. Wolny S., Matachowski F. (2010). Analysis of loads and stresses in structural elements of hoisting installations in mines. *Engineering Transactions.* – 2010. – №58(3-4). – P. 153-174. (in English)
6. Jovan Vladic, Miomir Jovanovic, Radomir Dokic, Milan Kljajin, Mirko Karaksic. Theoretical And Experimental Analysis of Mine Elevator Dynamic Characteristics. // *Technical Gazette.* – 2015. – №22(4). – P. 1011-1020. (in English)
7. Zhuravkov M.A., Nikolaychik M.A., Mayevsky P.S. Kontaktnaya zadacha vzaimodejstviya napravlyayushhego rolika s shaxtnym provodnikom. [The contact problem of the interaction of the guide roller with the mine conductor]. // *Mexanika mashin, mexanizmov i materialov = Mechanics of machines, mechanisms and materials.* – 2021. – №3(56). – P. 82-88. (in Russian)
8. Zhuravkov M.A., Savchuk V.P., Nikolaitchik M.A. Analytical model of skip motion taking into account influence of head and balancing ropes. // *Journal of the Belarusian State University. Mathematics and Informatics.* – 2021. – №2:00–00. – P. 94-102. (in English)

#### Сведения об авторах:

**Зеленко А.В.**, директор Общества с ограниченной ответственностью «ПассатИнновации» (г. Солигорск, Беларусь), [azelenko@passat-group.by](mailto:azelenko@passat-group.by); <https://orcid.org/0000-0003-4717-8511>

**Горбач А.Н.**, начальник сектора разработки Общества с ограниченной ответственностью «ПассатИнновации» (г. Солигорск, Беларусь), [a.gorbach@passat-group.by](mailto:a.gorbach@passat-group.by); <https://orcid.org/0000-0001-8082-3936>

**Журавков М.А.**, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики Белорусского государственного университета (г. Минск, Беларусь), [Zhuravkov@bsu.by](mailto:Zhuravkov@bsu.by); <https://orcid.org/0000-0002-7420-5821>

**Николайчик М.А.**, магистр физ.-мат. наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией прикладной механики Белорусского государственного университета (г. Минск, Беларусь), [NikolaitchikMA@bsu.by](mailto:NikolaitchikMA@bsu.by); <https://orcid.org/0000-0003-3733-1615>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Зеленко А.В.**, «ПассатИнновации» жауапкершілігі шектеулі қоғамының директоры (Солигорск қ., Беларусь)

**Горбач А.Н.**, «ПассатИнновации» жауапкершілігі шектеулі қоғамының әзірлеу секторының бастығы (Солигорск қ., Беларусь)

**Журавков М.А.**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь мемлекеттік университетінің теориялық және қолданбалы механика кафедрасының меңгерушісі (Минск қ., Беларусь)

**Николайчик М.А.**, физика-математика ғылымдарының магистрі, Беларусь мемлекеттік университетінің қолданбалы механика ғылыми-зерттеу зертханасының меңгерушісі (Минск қ., Беларусь)

#### Information about the authors:

**Zelenko A.V.**, Director of the Limited Liability Company «Passatinnovation» (Soligorsk, Belarus)

**Gorbach A.N.**, Head of the Development Sector of the Limited Liability Company «Passatinnovation» (Soligorsk, Belarus)

**Zhuravkov M.A.**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Theoretical and Applied Mechanics of the Belarusian State University (Minsk, Belarus)

**Nikolaychik M.A.**, Master of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Research Laboratory of Applied Mechanics of the Belarusian State University (Minsk, Belarus)

Код МРНТИ 38.61.05

Т.В. Разуваева<sup>1</sup>, К.Р. Светлакова<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Товарищество с ограниченной ответственностью «Институт высоких технологий» (г. Алматы, Казахстан),  
<sup>2</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

## ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УРАНОНОСНЫХ ТОЛЩ С ПРИМЕНЕНИЕМ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Аннотация.** Решение комплекса задач по максимально эффективному извлечению разрабатываемых минерально-сырьевых ресурсов является ключевой prerogative природопользования предприятий горнодобывающей отрасли. Основная цель современной разработки месторождений полезных ископаемых состоит в наиболее полной отработке извлекаемых запасов при максимальной экономической рентабельности. Полнота и качество освоения запасов полезных ископаемых является ключевым резервом повышения экономической эффективности горных предприятий. Статья посвящена оптимизации процесса подземного скважинного выщелачивания посредством компьютерного моделирования производственных и добычных процессов. Специально разработанный для этих целей программный комплекс позволяет рассчитывать трехмерные модели гидродинамики и кинетики процесса подземного скважинного выщелачивания с учетом параметров и характеристик геотехнологической среды.

**Ключевые слова:** подземное скважинное выщелачивание, моделирование, программный комплекс, модуль, оруденение, технологические скважины, проницаемость, 3D визуализация, концентрация урана.

### 3D модельдеуді қолдана отырып, уран қабаттарының геологиялық-гидрогеологиялық жағдайларын зерттеу

**Андатпа.** Тау-кен өнеркәсібінің табиғи ресурстарын басқарудың негізгі құзыретінің бірі өңделген пайдалы қазбалар қорын неғұрлым тиімді өндіруге арналған тапсырмалар кешенін шешу болып табылады. Пайдалы қазбалар кен орындарын игерудің қазіргі заманғы басты мақсаты – экономикалық тиімділігі жоғары калпына келтірілетін қорларды барынша толық игеру. Минералды шикізаттарды игерудің толыққандылығы мен сапасы тау-кен өндірісімен айналысатын кәсіпорындардың экономикалық тиімділігін арттырудың негізгі резерві болып табылады. Мақала өндірістік және өндіріс үдерістерін компьютерлік модельдеу арқылы жерасты шаймалау үдерісін онтайландыруға арналған. Арнайы осы мақсаттар үшін жасалған бағдарламалық кешен геотехнологиялық ортаның параметрлері мен сипаттамаларын ескере отырып, ЖШӨ (ПКСВ) процесінің гидродинамикасы мен кинетикасының үш өлшемді модельдерін есептеуге мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** жерасты ұңғымалы шаймалау, модельдеу, бағдарламалау кешені, модуль, кендену, технологиялық ұңғымалар, өткізгіштік, 3D визуалдау, уран шоғырлануы.

### Geological and hydrogeological conditions of uranium-bearing strata study with application of 3D modeling

**Abstract.** Solving a set of tasks for the most efficient extraction of the developed mineral raw resources is the key prerogative of the natural resources management for the mining industry. The main goal of the modern development of the mineral deposits comprises of the most complete recoverable reserves harvesting with maximum economical profitability. The key for increasing the economic efficiency of mining enterprises is the completeness and quality for mineral resources development. Article describes process for optimization of the underground well in-situ leaching by means of use of computer modeling for production and development processes. Specially developed programming complex for these purposes allows 3D models estimate hydrogeological and kinetic processes on underground well in-situ leaching taking into account conditions and characteristics of the geo-technological environment.

**Key words:** underground well in-situ leaching, optimization modelling programming complex, module, mineralization, technical wells, permeability, 3D visualization, uranium concentration, mineral raw resources.

### Введение

Казахстан занимает лидирующие позиции по производству урана в мире. Добыча урана на месторождениях пластово-инфильтрационного типа производится методом подземного скважинного выщелачивания (ПКСВ)<sup>1-3</sup>, позволяющего разрабатывать рудные залежи на глубине до 500 м и более.

Метод ПКСВ предусматривает подачу выщелачивающего раствора через сеть нагнетательных скважин и подъем урансодержащего раствора на поверхность через откачные скважины для последующего извлечения<sup>4</sup>.

Управление добычей урана методом ПКСВ при минимуме методов оперативного контроля считается довольно сложной задачей. В большинстве случаев диагностика неоптимальной работы блоков требует проведения модельных построений.

Одним из ключевых направлений по оптимизации процесса ПКСВ является компьютерное моделирование производственных и добычных процессов. Для добывающих предприятий моделирование – это мощный инструмент для понимания процессов, протекающих в недрах, который предоставляет такие возможности, как построение моделей,

анализ, прогнозирование и управление процессом добычи урана<sup>5,6</sup> [1].

Назначение моделирования сводится к оптимизации добычи урана методом ПКСВ на уранодобывающих предприятиях путем повышения эффективности отработки месторождений, увеличения доли извлекаемого урана и снижения экологической нагрузки на окружающую среду. В целом, применение моделирующих программ целесообразно в двух случаях: на новых участках и при планировании или нештатной отработке сложных в геолого-технологическом отношении блоков.

<sup>1</sup>Громов Б.В. Введение в химическую технологию урана. – М.: Атомиздат, 1978. – 326 с.

<sup>2</sup>Справочник по геотехнологии урана. / Под ред. Д.И. Скороварова. – М.: Атомэнергоиздат, 1997. – 672 с.

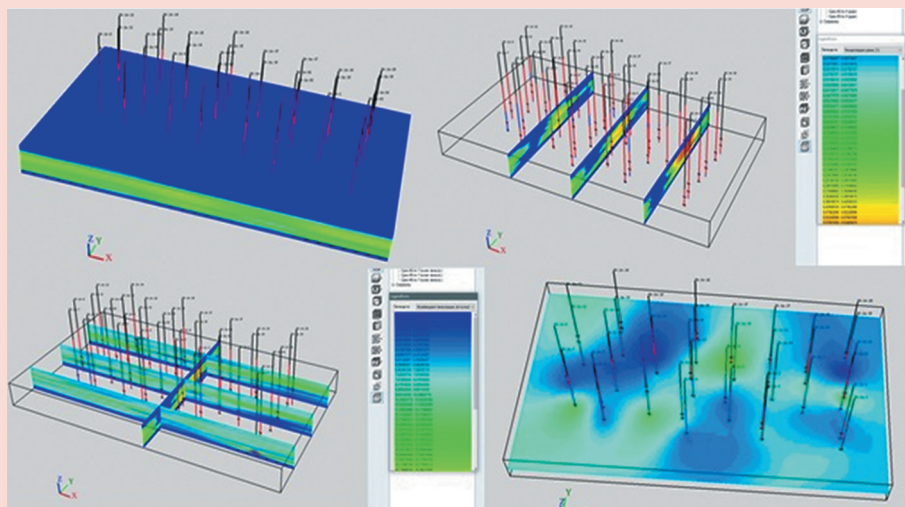
<sup>3</sup>Поезжаев И.П., Полиновский К.Д. и др. Геотехнология урана: учебное пособие. – Алматы: ТОО ИВТ, 2017. – 327 с.

<sup>4</sup>Лаверов Н.П. Подземное выщелачивание полиэлементных руд. – М.: Академия горных наук, 1998. – 446 с.

<sup>5</sup>Бакиевская В.А. Обоснование эффективных параметров прогнозных моделей геомиграции в неоднородной водовмещающей среде (на примере полигона захоронения жидких отходов Сибирского химического комбината). / Автореферат дисс. канд. – М., 2013.

<sup>6</sup>Программный модуль по 3-мерному моделированию гидродинамики и массопереноса при добыче урана методом подземного скважинного выщелачивания, интегрированный с системой «Рудник» АО НАК «Казатомпром». / Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом №439 от 8 ноября 2018 г.

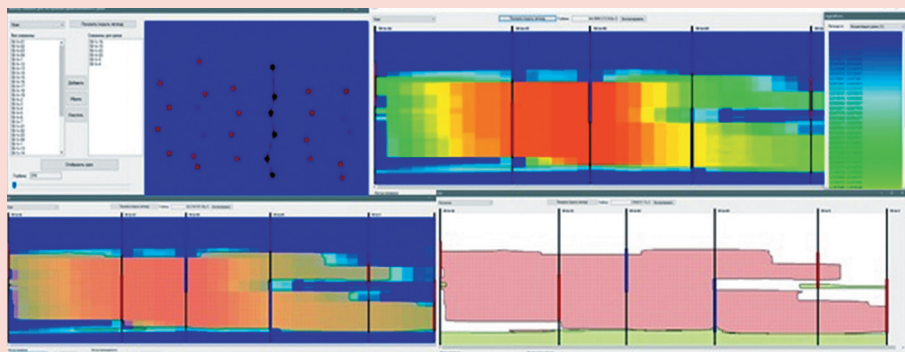




**Рис. 1. Визуализация геологической модели (слева направо и сверху вниз): схема расположения скважин в 3D симуляторе на фоне геологической модели по урану; геологические 3D модели в виде разрезов по содержанию урана, по коэффициентам фильтрации и урану, по коэффициентам фильтрации в плане.**

**Сурет 1. Геологиялық модельдің көрнекілігі (солдан оңға және жоғарыдан төмен қарай): уранның геологиялық моделі аясында 3D симуляторда ұңғымаларды орналастыру сызбасы; уранның құрамы, фильтрлеу коэффициенті, уран және жоспарлы фильтрация коэффициенті бойынша 3D геологиялық модельдер қимасы.**

**Figure 1. Visualization of the geological model (left to right and up and down): scheme of the well's location in 3D stimulator of the geological model sections based on uranium; geological 3D models in the form of uranium content surroundings, on coefficients of filtration and uranium, on coefficients of uranium filtration arrangements.**



**Рис. 2. Построение разреза (слева направо и сверху вниз): выбор разреза вдоль скважин; отображение разреза вдоль выбранных скважин по содержанию урана в руде, согласно легенде; наложенные изолинии со значением по урану выше 0,04%; дополнительно наложенные изолинии по коэффициенту фильтрации ниже 1.**

**Сурет 2. Қималарды құру (солдан оңға және жоғарыдан төмен қарай): ұңғыма бойынан қиманы таңдау; мәліметтерге сәйкес кендегі уран құрамы бойынша таңдалған ұңғымалар бойымен қималарды көрсету; уранның 0,04% -дан жоғары изосызықтар; фильтрлеу коэффициенті 1-ден төмен қосымша салынған изосызықтар.**

**Figure 2. Section composition (left to right and up and down): selection of the section along the well; section display along selected wells by the uranium content in the ore according to the legend; overlaid isolines with uranium values above 0,04%; additionally, overlaid isolines with a filtration coefficient below 1.**

Опыт отработки, компьютерное моделирование текущего процесса и построение прогнозов развития производственных и геотехнологических процессов позволяют повысить эффективность отработки урановых месторождений.

Анализ используемого программного обеспечения для визуализации гидродинамики и кинетики процесса ПСВ урана обнаружил отсутствие в применяемых моделях важных для описываемых условий добычи параметров и характеристик геотехнологической среды. Результаты этого анализа определили необходимость создания программного комплекса (ПК), позволяющего рассчитывать 3-мерные модели гидродинамики и кинетики для процесса ПСВ. На примере использования ПК в данной работе рассмотрены возможности оптимизации процесса ПСВ.

#### Методы

Программный комплекс для изучения процесса добычи урана методом ПСВ состоит из трех вычислительных модулей и одного информационного: геологический модуль, гидродинамический модуль, модуль химической кинетики и модуль подключения к базе данных «Атомгео» информационной системы «Рудник» для импорта исходных данных (ввод данных возможен и с текстового формата уставленного шаблона)<sup>6</sup>. Также ПК имеет встроенный 3D визуализатор.

При помощи модуля импорта осуществляется загрузка данных по скважинам: наименование скважины, тип скважины (заканная/откачная), координаты, глубина скважины, расположение фильтров (от/до), производительность скважин в зависимости от типа скважины (дебит/приемистость с соответствующей концентрацией кислоты), фильтрационные и минералогические свойства породы (литологический тип, коэффициент фильтрации и концентрация урана), литологические и рудные интервалы (от/до). По заданным координатам создается структурированная, регулярная трехмерная расчетная сетка. Входными данными,

в том числе, служат коэффициенты, специфичные для необходимых вычислений (коэффициенты скоростей реакций, вариограммы, граничные условия и т. д.). Также есть возможность экспорта данных для хранения полученных результатов с возможностью дальнейшего их экспорта в пространственных форматах.

При помощи геологического модуля производится интерполяция скважинных данных для определения фильтрационных свойств и распределения концентрации урана в межскважинном пространстве блока. Для интерполяции используются методы геостатистики: кригинг и обратных взвешенных расстояний. Модуль геологии

позволяет: по скважинным данным определить фильтрационные свойства, геометрическое распределение руды и литологические свойства породы в межскважинном пространстве<sup>7, 8</sup> [2, 3].

### Результаты и обсуждение

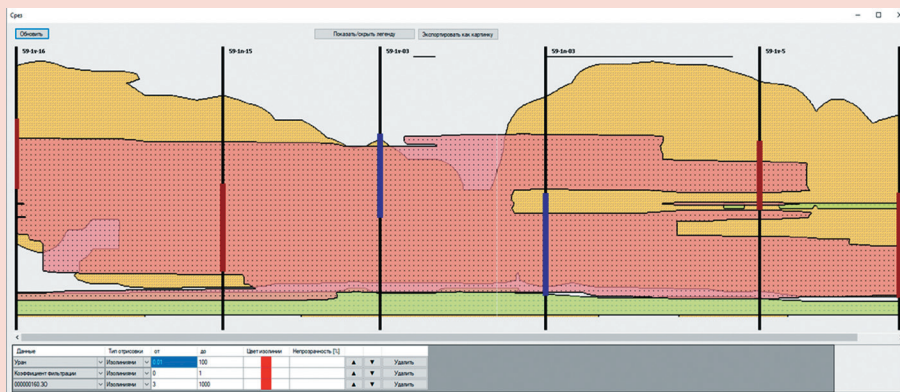
На примере моделирования технологического блока одного из месторождений урана пластово-инфильтрационного типа (рис. 1) показано как выглядят результаты 3D визуализации по моделированию геологии, гидродинамики и кинетики процесса ПСВ для исследуемого технологического блока за определенный период его работы.

Есть возможность построения разреза между любыми скважинами, который визуализируется в двумерной форме. В окне криволинейного среза пользователь может поменять отображаемое свойство (уран, проницаемость), отобразить легенду с расшифровкой цветных значений и увидеть глубину узла, на которую наведен курсор мыши. При этом на картинке отображены скважины, глубина забоя в соответствии с входными данными и вертикальное расположение фильтров (рис. 2).

На фоне построенных разрезов, визуализирующих оруденение, есть возможность отображать разработку выбранного участка (ВР), распределение продуктивного раствора (ПР) и отработку оруденения по времени (рис. 3 и 4).

Также геологический модуль оснащен функционалом для вычисления активной мощности, закисляемого объема рудовмещающих пород, вычисления средневзвешенного содержания урана и метропроцента по скважинам в пределах рассчитанной активной мощности; подсчета запасов урана геостатистическими методами в пределах расчетных значений активной мощности, закисляемого объема.

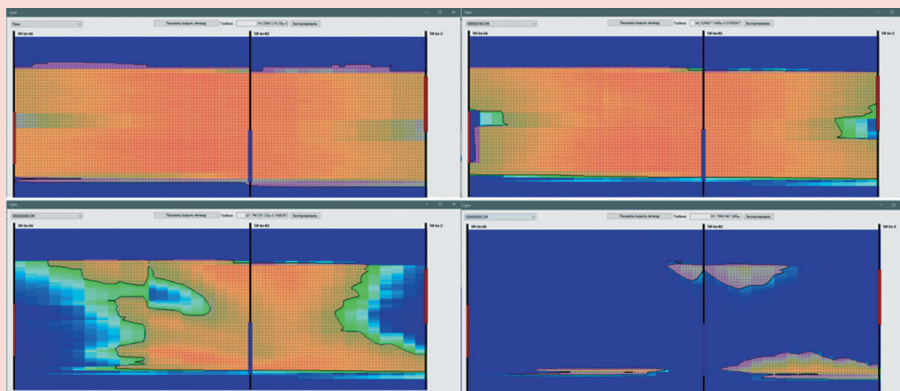
Далее, при помощи гидродинамического модуля вычисляется распределение давления в пласте



**Рис. 3. Закисляемый объем на 160 день работы блока с минимальной концентрацией ВР 3 г/л (оранжевый). Поверх наложены контур минерала с содержанием выше 0,01% (кирпичный) и коэффициент фильтрации  $K_f$  ниже 1 м/сутки (зеленый).**

**Сурет 3. АҚ минималді көрсеткіші 3 г/л болатын блоктың 160 жұмыс күндік қышқылдану көлемі (қызғылт); Құрамында 0,01% (кірпіш) және фильтрлеу коэффициенті  $K_f$  1 м / тәуліктен төмен (жасыл) минерал контурлары үстіне жүргізілген.**

**Figure 3. Acidified volume on a day 160 of the block with minimal in-situ leaching solution concentration at 3g/l (orange). Top overlaid mineral contour with content above 0,01 (light brown) and filtration coefficient  $K_f$  below 1 m/day (green).**



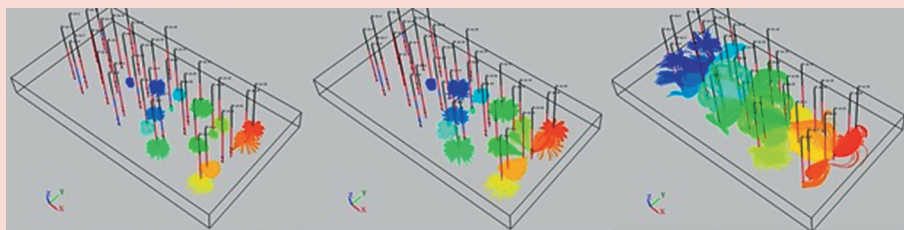
**Рис. 4. Изменение контура по содержанию остаточного урана в руде через 1, 100, 200, 400 дней работы (слева направо и сверху вниз).**

**Сурет 4. 1, 100, 200, 400 жұмыс күнінен кейінгі (солдан оңға және жоғарыдан төменге қарай) кендегі уранның қалдық мөлшері бойынша контурдың өзгеруі.**

**Figure 4. Counter changes on content of remaining uranium in the ore after 1, 100, 200, 400 of work days (left to right and up and down).**

<sup>7</sup>Данаев Н.Т., Корсакова Н.К., Пеньковский В.И. Массоперенос в прискважинной зоне и электромагнитный карттаж пласта. – Алматы: Қазақ университеті, 2005. – 180 с.

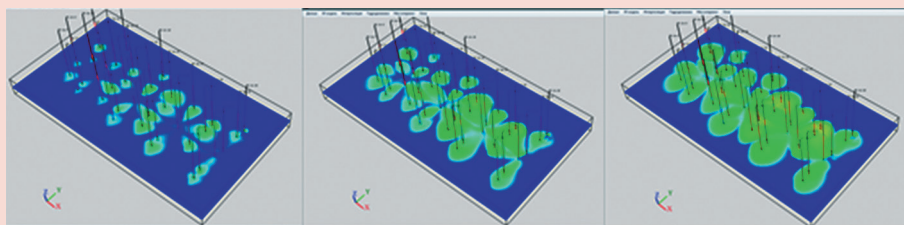
<sup>8</sup>The Npgsql Development Team, Documentation | Npgsql Documentation, 2020. <https://www.npgsql.org/doc/>



**Рис. 5. Линии тока при заданных дебитах на начало эксплуатации блока (30 и 90 дней); и в середине эксплуатации блока, при всех включенных скважинах.**

**Сурет 5. Барлық ұңғымалар жұмыс істеу барысындағы қондырғы жұмысының басындағы берілген ағындар жылдамдығы бойынша (30 және 90 күн) және блоктың аралықта жұмыс істеуі барысындағы ағымдық сызықтар.**

**Figure 5. Streamline under set debits at the start of the block exploitation (30 and 90 days); and in the middle block exploitation with all wells included.**



**Рис. 6. Распределение ВР, г/л через 100, 200, 300 дней.**

**Сурет 6. 100, 200, 300 күнде АҚ-ның таралуы, г/л.**

**Figure 6. Distribution of in-situ leachate solution g/l after 100, 200, 300 days.**

на основе интерполированных геологическим модулем фильтрационных данных и данных о производительности скважин.

На основе распределения давления строится и отображается в 3D направление тока раствора по времени (визуализируются потоки технологических растворов при отработке блоков за любой интервал процесса добычи).

Моделирование гидродинамики процесса добычи урана методом ПСВ с использованием программного модуля позволяет получить модели потоков технологических растворов для эксплуатационных блоков,

которые позволяют потенциально выявить зоны закисления, наряду с застойными зонами. Гидродинамика визуализируется в виде распределения линий тока (рис. 5).

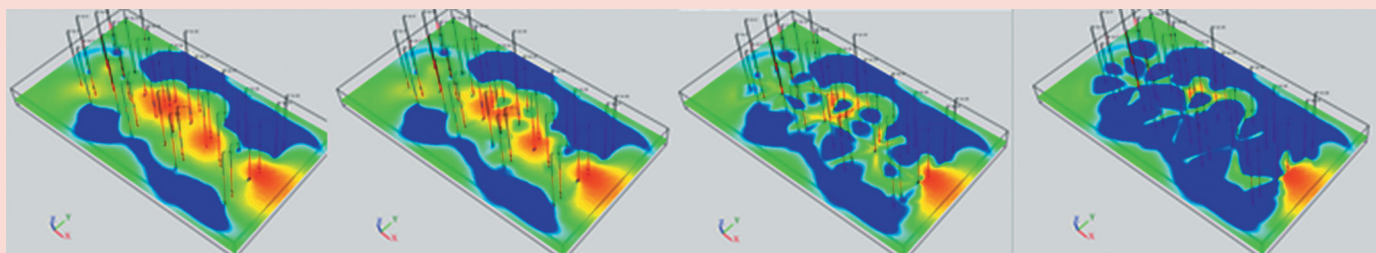
Данный модуль может помочь при решении следующих технологических задач: обоснование местоположения технологических скважин и посадки фильтра, определение застойных и неотработанных зон, оценка интенсивности проработки горнорудной массы (ГРМ).

С помощью модуля кинетики химических процессов в 3D вычисляется динамика распределения концентрации урана в ПР,

концентрации кислоты в ВР и содержание остаточного урана в руде в зависимости от времени; результаты вычислений визуализируются на горизонтальных или вертикальных срезах. При вычислении можно выбрать несколько временных промежутков для получения результатов и отслеживать изменение концентрации ПР, ВР и урана в руде на построенных срезах (рис. 6-8). Также функционал модуля химической кинетики выщелачивания урана предусматривает учет химической кольматации. Значения по извлечению урана в ПР, полученные в результате вычислений модуля химической кинетики, используются для отображения графиков.

**Заключение**

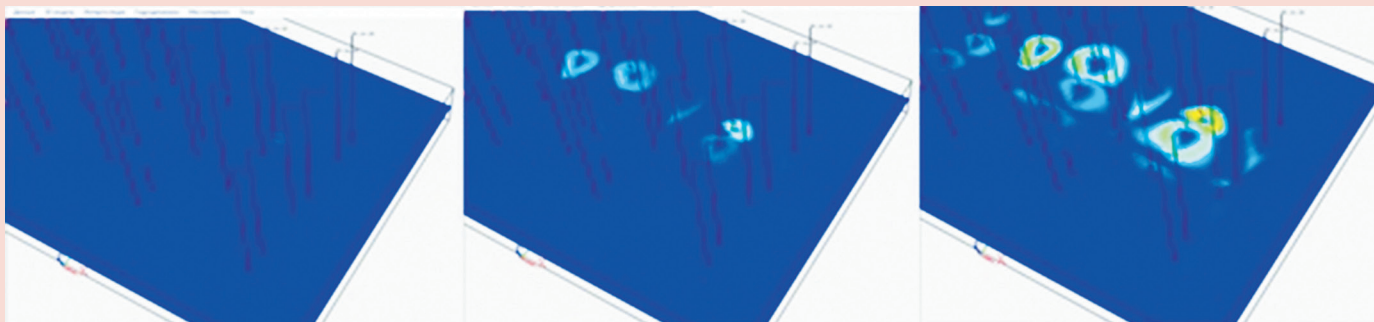
Программный комплекс апробирован на нескольких предприятиях, в результате чего показаны различные варианты использования ПК: для моделирования планируемых изменений виртуально; для сравнения результатов моделирования с фактическими данными по отработке с целью дальнейшего прогноза отработки. В целом обнаружена сходимость результатов исследований. Таким образом, использование результатов моделирования в виде линий тока, вместе с графиками изменения pH, содержания урана в ПР, производительности откачных и закачных скважин позволяет выявить недостатки в управлении режимами. Программный комплекс может использоваться для 3D визуализации динамики развития производственных и геотехнологических процессов, проводить анализ причин нештатной работы блоков, поднять качество и оперативность производственных управленческих решений.



**Рис. 7. Распределение урана в руде (%) через 1, 100, 200, 300 дней.**

**Сурет 7. 1, 100, 200, 300 күнде уранның кенде таралуы (%).**

**Figure 7. Distribution of the uranium in the ore (%) after 1, 100, 200, 300 days.**



**Рис. 8. Распределение урана в ПР (мг/л) через 30, 60, 90 дней.**

**Сурет 8. 30, 60, 90 күнде ӨЕ-де уранның таралуы (мг/л).**

**Figure 8. Distribution of the uranium in productive solution (mg/l) after 30, 60, 90 days.**

Значимость исследования заключается в совершенствовании методов оптимизации добычи урана путем повышения эффективности разработки месторождений, увеличения доли извлекаемого урана за счет развития цифровых технологий.

Моделирование техногенной гидродинамики ПСВ с учетом требуемых параметров позволит оптимизировать следующие процессы: выбор оптимального расположения скважин; мониторинг образования застойных зон и растекания раствора за пределы

блока; прогнозирование, контроль и управление процессом добычи урана регулированием содержания серной кислоты в выщелачивающем растворе, корректированием давления на скважинах и реверсированием потоков в рудном горизонте.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Lorensen W.E., Cline H.E. Компьютерная графика ACM siggraph. // Ассоциация вычислительной техники. – 1987. – Т. 21. – №4. – С. 132-148 (на английском языке)
2. Blunt, M.J., Lui K., Thiele M.R. Обобщенный оптимизированный метод прогнозирования расхода пласта. // Нефтегазовая геология. – 1996. – №2. – С. 259-269 (на английском языке)
3. Кожжахметов С.К., Поезжаев И.П., Разуваева Т.В., Копбаева М.П., Жумабаева Д.С. Исследование законтурного закисления/выщелачивания методами моделирования гидродинамики и массопереноса. // Сборник VII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности». – Алматы, 2014. – С. 161-174 (на русском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Lorensen W.E., Cline H.E. Компьютерлік графика ACM siggraph. // Есептеу техникасы қауымдастығы. – 1987. – Т. 21. – № 4. – Б. 132-148 (ағылшын тілінде)
2. Blunt, M.J., Lui K., Thiele M.R. Қойнауқат шығынын болжаудың жалпыланған оңтайландырылған әдісі. // Мұнай-газ геологиясы. – 1996. – № 2. – Б. 259-269 (ағылшын тілінде)
3. Қожжахметов С.Қ., Поезжаев И.П., Разуваева Т.В., Көпбаева М.П., Жұмабаева Д.С. Гидродинамика мен масса тасымалын модельдеу әдістерімен заңдылықтық қышқылдандыру/шаймалауды зерттеу. // «Уран өнеркәсібінің өзекті мәселелері» атты VII Халықаралық ғылыми-практикалық конференция жинағы. – Алматы, 2014. – Б. 161-174 (орыс тілінде)

#### REFERENCES

1. Lorensen W.E., Cline H.E. ACM siggraph computer graphics. // Association for Computing Machinery. – 1987. – Vol. 21. – №4. – P. 132-148 (in English)
2. Blunt, M.J., Lui K., Thiele M.R. A Generalized streamline method to predict reservoir flow. // Petroleum geoscience. – 1996. – №2. – P. 259-269 (in English)
3. Kozhahmetov S.K., Poeszhaev I.P., Razuvaeva T.V., Kopbaeva M.P., Zhumabaeva D.S. Issledovanie zakonturnogo zakisleniya/vyshhelachivaniya metodami modelirovaniya gidrodinamiki i massoperenosa [Investigation of structural acidification/leaching by methods of modeling hydrodynamics and mass transfer]. // Sbornik VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Aktual'nye problemy uranovoj promyshlennosti» = Collection of the VII International Scientific and Practical Conference «Actual problems of the uranium industry». – Almaty, 2014. – P. 161-174 (in Russian)

## Сведения об авторах:

**Разуваева Т.В.**, старший научный сотрудник Товарищества с ограниченной ответственностью «Институт высоких технологий» (г. Алматы, Казахстан), [t.razuvaeva@kazatomprom.iht.kz](mailto:t.razuvaeva@kazatomprom.iht.kz); <https://orcid.org/0000-0003-4843-1902>

**Светлакова К.Р.**, научный сотрудник Товарищества с ограниченной ответственностью «Институт высоких технологий» (г. Алматы, Казахстан), докторант кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [k.svetlakova@kazatomprom.iht.kz](mailto:k.svetlakova@kazatomprom.iht.kz), <https://orcid.org/0000-0002-3232-2683>

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Разуваева Т.В.**, «Жоғары технологиялар институты» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің ғаға ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

**Светлакова К.Р.**, «Жоғары технологиялар институты» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан), Satbayev University, гидрогеология және инженерлік геология кафедрасының докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

## Information about the authors:

**Razuvaeva T.V.**, Senior Researcher of the Limited Liability Partnership «Advanced Technologies Institute» (Almaty, Kazakhstan)

**Svetlakova K.R.**, Researcher of the Limited Liability Partnership «Advanced Technologies Institute» (Almaty, Kazakhstan), Doctoral Student at the Department of Hydrogeology and Engineering Geology of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)



## Иновационные решения и доказанная эффективность

ME Elecmetal обладает знаниями, опытом и производственными мощностями, которые помогут вам внедрить эффективные технологии дробления и измельчения, увеличить производительность и повысить коэффициент использования оборудования.

### Изнашиваемые детали для мельниц

Передовые решения конструкций футеровки для мельниц посусамозмельчения, самоизмельчения, шаровых и стержневых

- Стальные
- Резиновые
- Композитные

### Мелющие тела

Кованые мелющие тела высочайшего качества для всех видов мельниц

- ME Super SAG®: 4" to 6.25"
- ME Ultra Grind®: 1.5" to 4"
- ME Performa® II: 0.88" to 4.0"

### Износостойкие брони для дробилок

Изнашиваемые детали для первичного, вторичного и третичного дробления

- Гиравационные дробилки
- Щековые дробилки
- Конусные дробилки



Office: +1-763-201-1879  
Mobile: +1-778-875-7525  
Email: [russia@meglobal.com](mailto:russia@meglobal.com)  
[www.me-elecmetal.com/ru](http://www.me-elecmetal.com/ru)

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



# Рудник Урала – 2021 Екатеринбург

23–25  
ноября

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

**крупнейший проект горной тематики на Урале**

Официальная поддержка:



Правительство  
Свердловской  
области

**МИНПРОМТОРГ  
РОССИИ**

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

Профессиональная поддержка:

**УРАЛКАЛИЙ**



**ЕВРОХИМ**  
ЦЕНТРАЛЬНО-ЕВРОПЕЙСКАЯ КОМПАНИЯ

**КАРЬЕРЫ ЕВРАЗИИ**  
Ассоциация производителей и потребителей  
лучших строительных материалов

**PRO  
EXPO**

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

