

**Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Российская академия наук  
Отделение наук о Земле РАН  
Научный совет РАН по проблемам горных наук  
Институт проблем комплексного освоения недр  
им. академика Н.В.Мельникова РАН  
Совет молодых ученых и специалистов**

**6 КОНФЕРЕНЦИЯ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ  
академика РАН К.Н.Трубецкого**

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ  
КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ  
И СОХРАНЕНИЯ ЗЕМНЫХ НЕДР,  
*посвященная 300-летию Российской академии наук***

**17-21 июня 2024  
Москва**

**Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр** : сборник материалов / под редакцией академика РАН К.Н. Трубецкого ; составители: докт. техн. наук В.С. Федотенко, канд. техн. наук А.В. Шляпин, канд. техн. наук А.Г. Красавин, канд. техн. наук Н.А. Милетенко. – Москва : ИПКОН РАН, 2024. – 408 с.

В сборнике опубликованы статьи участников 6-й конференции Международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого, видного ученого и признанного лидера в области горных наук, комплексного освоения недр Земли и экологии.

Конференция организована Министерством науки и высшего образования РФ, Российской академией наук, Отделением наук о Земле, Научным советом РАН по проблемам горных наук, Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова РАН, Советом молодых ученых и специалистов.

В представленных статьях показано дальнейшее развитие Международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого в трудах его учеников и последователей. Изложены современные и перспективные представления в области природоподобных технологий для эффективного освоения недр, совершенствования методов освоения месторождений твердых полезных ископаемых, газодинамики и рудничной аэрологии, геомеханики и разрушения горных пород, управления производством, решения экономических и социальных проблем, цифровизации и роботизации в горнодобывающем секторе, экологической и промышленной безопасности горных работ в России и за рубежом.

Сборник представляет интерес для широкой горной общественности, связанной с исследованиями в области горных наук.



# ПРИВЕТСТВИЕ

---

---

## УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ, ДРУЗЬЯ!

Приветствую Вас на Международной научной школе-конференции по проблемам и перспективам комплексного освоения и сохранения земных недр!

На современном этапе развития человечества очевидно, что основополагающее место в богатстве стран и общем развитии цивилизации занимают ресурсы земных недр и именно ученые и специалисты горного профиля ответственны за качество решения комплекса задач по обеспечению народного хозяйства земными богатствами, при сохранении окружающей среды для будущего поколения. Важность эффективного природопользования как никогда ранее играет значимую роль при решении геополитических вопросов сегодня.

Получение полезных ископаемых является сейчас и в обозримом будущем безальтернативной необходимостью для самого факта существования человека. От того, как в наше время будет организовано их получение и последующая переработка, какие ограничения и допуски будут наложены на весь комплекс этих вопросов, в широком смысле зависит сохранение или необратимое разрушение подвижного равновесия в природной среде, сложившегося за геологические периоды развития планеты.

Поэтому столь важным и актуальным является поиск грамотных и взвешенных решений всех специалистов, ответственных за реализацию задач по освоению богатства земных недр от самого начального этапа взаимодействия с ними. Отрадно отметить, что наша конференция проводится в столь важный юбилейный год – 300-летия Российской академии наук, которая на протяжении всего периода своего становления и развития, была сопряжена с результатами и достижениями горного дела и горных наук.

Выражаю уверенность, что наша школа станет важным вкладом в поиск новых решений вопросов освоения и сохранения недр Земли, еще одной возможностью для создания творческих научных связей между учеными и специалистами-горняками, станет настоящей школой для принимающей в ее работе научной молодежи, основанной на принципах преемственности.

Желаю всем участникам конференции плодотворной эффективной работы, новых результатов и достижений!

Советник Президиума РАН,  
академик РАН К.Н. Трубецкой

# ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

---

---

## **ВКЛАД ПРОФЕССОРА М.А. ИОФИСА В СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ПРИКЛАДНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ В ИПКОН РАН (К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**

**Трубецкой К.Н., Милетенко Н.А.**

*ИПКОН РАН*

Заслуженному деятелю науки РФ, профессору, доктору технических наук, ветерану Великой Отечественной войны Михаилу Абрамовичу Иофису 13 августа 2024 года исполнилось бы 100 лет. Уникален его жизненный путь как личности, его научные достижения как учено-геомеханика высоко оценены во многих странах мира. На войну он ушел добровольцем, и, после ускоренного выпуска из авиационной школы, воевал до Дня Победы. Вернувшись с фронта, поступил в Московский горный институт, который закончил с отличием. Начинал он свою производственную деятельность в 1951 году в Подмосковном угольном бассейне, затем на Донбассе в Украинском филиале ВНИМИ (ныне РАНИМИ), а с 1978 года начал работать в Академии наук СССР, в Институте проблем комплексного освоения недр (ныне ИПКОН РАН), где он и проработал до последних дней жизни [1].

Значимым результатом его многолетних исследований, основанных на систематизации огромного объема инструментальных наблюдений за деформациями массивов горных пород под влиянием подземных работ, стала монография «Основы механики горных пород», объемом более 500 страниц (в соавторстве с И.А. Турчаниновым и Э.В. Каспарьяном), которая в 1978 году была переведена на английский язык и издана в США. В этой монографии он систематизировал и обобщил уникальные данные о деформационных процессах, что позволило позже развивать новые направления фундаментальных исследований в геомеханике.

Большое внимание М.А. Иофис уделял вопросам промышленной безопасности, здоровью и жизни шахтеров и проживающего в горнодобывающих регионах населения. Так, коллектив геомехаников под руководством М.А. Иофиса участвовал в составлении «Правил охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях» и возглавил работу по составлению аналогичных Правил для калийных месторождений.

По мере решения перечисленных выше задач возникали новые проблемы, обусловленные, в основном, следующими причинами: увеличением



глубины разработки месторождений полезных ископаемых; расширением области применения комбинированной (открыто-подземной) разработки месторождений и закладки выработанного пространства; необходимостью активизации освоения подземного пространства крупных городов и промышленных комплексов, включая строительство транспортных тоннелей, особенно в гористой местности.

С увеличением глубины разработки существующие в то время методы охраны сооружений с использованием предохранительных целиков стали совершенно неприемлемыми, поскольку размеры таких целиков увеличиваются пропорционально квадрату глубины их залегания, что приводило к недопустимым потерям полезных ископаемых. Для сокращения потерь и обеспечения безопасной эксплуатации охраняемых объектов коллектив геомехаников ИПКОН РАН совместно с ВНИМИ и другими заинтересованными организациями составил новые Правила охраны сооружений, базирующиеся не на условных понятиях о безопасных глубинах, а на строгих инженерных расчетах. По нормам этих Правил [2] были успешно подработаны десятки тысяч различных объектов и извлечено из недр сотни миллионов тонн полезного ископаемого. Анализ результатов использования этих правил показал, что принятые в новых Правилах охраны сооружений критерии допустимых подработок, в основном, себя оправдали. Вместе с тем оказалось, что некоторые нормативы содержали излишний запас прочности, а некоторые не обеспечивали требуемой безопасности. С учетом полученных результатов теми же геомеханиками были разработаны Новые Правила охраны, которые действуют и по настоящее время [3].

В этот период возникла острая проблема геомеханического обеспечения освоения недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых, особенно при проходке транспортных и коммуникационных тоннелей в крупных городах и гористой местности. Так, произошла серьезная авария при проходке Северо-Муйского тоннеля, грозящая разрушению этого важного стратегического объекта. И лишь благодаря усилиям геомехаников ИПКОН РАН совместно со специалистами Ростехнадзора М.П. Васильчука и В.С. Зимича эту аварию удалось ликвидировать и строительство тоннеля завершить в срок.

Большая работа велась им по геомеханическому обеспечению алмазодобывающих предприятий. Коллективом геомехаников с технологами под руководством академика К.Н. Трубецкого составлены «Методические указания по определению параметров опасных зон на горных предприятиях АК «Алроса» [4], утвержденные главным инженером компании и согласованные с Госгортехнадзором.

Одновременно с геомеханическим обеспечением добычи полезных ископаемых коллектив геомехаников занимается проблемой освоения

подземного пространства крупных городов. Этому коллективу было поручено возглавить комиссию по расследованию причин образования провала в центре города Москвы (ул. Большая Дмитровка) над строящимся коммуникационным тоннелем. Анализ этой и произошедших ранее аварий позволил коллективу геомехаников во главе с академиком К.Н. Трубецким разработать «Инструкцию по наблюдениям за сдвигами земной поверхности и расположенными на ней объектами при строительстве в Москве подземных сооружений» [5], соблюдение требований которой обеспечило резкое уменьшение аварий, хотя объемы освоения подземного пространства городов существенно увеличились. В 2009 году эта Инструкция была дополнена «Методическим руководством по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей» [6], составленному геомеханиками ИПКОН РАН совместно с сотрудниками «Ленметрогипротранс», согласованному с Ростехнадзором и утвержденному Тоннельной ассоциацией России.

М.А. Иофис особенно внимательно относился к вопросам анализа аварий, являясь экспертом высшей категории Ростехнадзора и следственного комитета и считал, что главная задача геомехаников при расследовании аварий состоит в установлении признаков, предшествующих аварии, и в определении допустимых и предельных деформаций, поскольку только сравнение измеренных деформаций с их критическими значениями позволяет своевременно принять необходимые профилактические и защитные мероприятия.

Важное место в работе Михаила Абрамовича занимали вопросы повышения уровня знаний специалистов, использующих законы и методы геомеханики при решении сложных научных и инженерно-технических задач. С этой целью им, совместно с соавторами, составлено и в 2006 году выпущено издательством «Высшая школа» учебное пособие «Геомеханика», допущенное Минобрнаукой для подготовки бакалавров, магистров и дипломированных специалистов по специальности «Горное дело». По этому пособию до сих пор обучают студентов Московского государственного горного университета (НИТУ МИСИС), Российского университета дружбы народов, Российской государственной геолого-разведочного университета (МГРИ) и др. В 2008 году под редакцией академика РАН К.Н. Трубецкого составлена и выпущена в свет издательством ИПКОН РАН монография «Геолого-маркшейдерское обеспечение безопасного освоения и сохранения недр».

Должное место в коллективе геомехаников, которым руководил профессор М.А. Иофис, занимали задачи научного и профессионального роста специалистов, вопросы преемственности поколений. Михаил Абрамович был талантливым наставником, выпустившим плеяду

выпускников, обучавшихся под его научным руководством в аспирантуре ИПКОН РАН. В сложные времена середины и конца 90-х годов, когда основная часть выпускников горных ВУЗов отказывалась вообще работать по профилю своего образования, не говоря уже о том, чтобы идти в науку, он не боялся брать к себе вчерашних студентов в аспирантуру, создавал возможности учебы и работы для молодых ученых. Вчерашние ученики М.А. Иофиса сегодня – уже опытные остепененные преподаватели, научные сотрудники, а также успешные руководители научно-производственных компаний.

Для повышения востребованности достижений геомеханики в практике горного дела им создано новое научное направление «Инженерная геомеханика». В изданной под одноименным названием монографии в доступной форме излагаются сложные вопросы геомеханики и приводятся конкретные примеры различных вариантов их решения.

М.А. Иофис считал, что фундаментальные и прикладные задачи должны рассматриваться геомеханиками во взаимосвязи. Так, фундаментальные исследования проводятся в тех случаях, когда возможности прикладных методов исчерпали. И наоборот, прикладные исследования проводятся в тех случаях, когда для их проведения имеется необходимая научная база, созданная фундаментальными исследованиями.

Наиболее ценные его результаты были защищены многочисленными патентами.

Вклад М.А. Иофиса как главного научного сотрудника ИПКОН РАН был отмечен премиями Совета Министров СССР, Правительства РФ, им. академика А.А. Скочинского, знаками «Шахтерская слава» всех степеней, «Шахтерская доблесть» III степени, «Трудовая слава», «Ветеран труда», «За безупречную службу городу Москве» (дважды).

Михаил Абрамович представлял собой уникальный пример успешного научного долголетия. В 96 года самостоятельно сделал доклад с трибуны научной конференции. Последнюю монографию он также опубликовал в 96 лет, в 2020 году.

### Литература

1. М.А. Иофис. История становления и развития прикладной геомеханики в научных школах академиков Н.В. Мельникова и К.Н. Трубецкого. В сб. ИПКОН РАН – 50 лет становления и развития горных наук – М.: ИПКОН РАН, 2017. – 360 с.

2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – М.: Недра, 1981.

3. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – Изд. ВНИМИ, 1998.

4. Методические указания по определению параметров опасных зон на горных предприятиях АК «АЛРОСА». – М.: ИПКОН РАН, АГЭЦ, 2007. – 40 с.

5. Инструкция по наблюдениям за сдвигами земной поверхности и расположенными на ней объектами при строительстве в Москве подземных сооружений. – М.: ИПКОН РАН, 1997. – 76 с.

6. Методическое руководство по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей. – М.: УРАН ИПКОН РАН, НИПИИ «Ленметрогипротранс», 2009. – 68 с.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ МЕТОДАМИ ГИДРОРАЗРЫВА МАССИВА**

**Клишин В.И.**

*Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово*

Последние крупные аварии под землей в Кузбассе произошли в очистных забоях, использующих самую современную технику, обеспечивающую комфортность рабочих мест. Одной из основных причин взрыва метана стало обрушение кровли на значительной площади при отходе лавы, что привело к образованию избыточного вентиляционного давления, выделению метана и угольной пыли в действующие горные выработки. Кроме того, зависание кровли вызывает концентрацию горного давления на угольный массив в зоне очистного забоя и на сопряжениях его с горными выработками, что провоцирует горный удар.

Механизм развития аварийной ситуации можно представить следующим образом. В ходе ведения очистных работ в верхней части выработанного пространства и в массиве горных пород над выработанным пространством скапливается большое количество метана, поскольку метан легче воздуха. В момент обрушения кровли происходит резкий выброс скопившегося в завале газа в угольные выработки, резко увеличивая в них содержание метана. Выброс сопровождается мощной ударной волной и может вызвать разрушение и замыкание электрической системы, воспламенение и взрыв газа и угольной пыли. При обрушении кровли происходит поднятие пыли, возможно ее возгорание и выброс в горные выработки. Этого могло не произойти в случае своевременного искусственного обрушения основной кровли – принудительной ее посадке.

Вследствие малого объема дегазационных работ и недостаточной их эффективности на многих газообильных шахтах России сохраняется газовый барьер, препятствующий достижению высоких скоростей

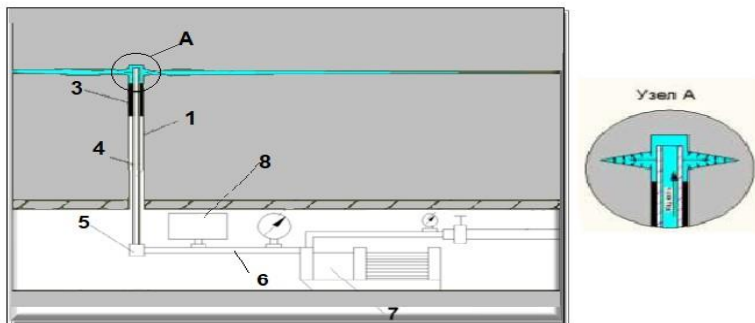
проведения выработок и больших нагрузок на очистные забои. По этой причине в угледобывающей промышленности сложилась парадоксальная ситуация, когда технические возможности средств очистной выемки на пологих пластах в несколько раз превышают допустимую нагрузку на лаву по газовому фактору.

В то же время современная стратегия развития подземной угледобычи предусматривает создание шахт с высоким уровнем концентрации и интенсификации горных работ, что требует создания безопасных условий по газовому фактору для обеспечения повышения нагрузок на очистные и подготовительные забои. Дальнейшее повышение эффективности, технической и экологической безопасности подземной разработки высокогазоносных угольных месторождений неразрывно связано с разработкой комплекса специальных способов и средств управления горным давлением, а также стимулирования газоотдачи неразгруженных угольных пластов. Удовлетворительного технического решения таких задач на стадии ведения очистных и подготовительных работ нет ни в России, ни за рубежом.

В Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН выполнено обоснование и развивается способ управления труднообрушающейся кровлей направленным гидроразрывом (НГР) в различных технологических схемах. Сущность способа НГР заключается в том, что разупрочнение пород кровли осуществляют созданием под действием подводимой гидравлической энергии одной или нескольких протяженных щелей, имеющих заданную ориентацию. Для этого в породном массиве через пробуренную скважину или шпур прорезают поперечную дискообразную щель, называемую иницирующей, которая выполняет роль концентратора напряжений.

Принципиальная схема разупрочнения пород труднообрушаемой кровли способом направленного гидроразрыва (НГР), при котором осуществляется создание протяженных искусственных щелей, разделяющих монолитный массив на слои с управляемой обрушаемостью представлена на рисунке 1.

Способ НГР кровли осуществляется как для предварительного разупрочнения монолитных кровель, так и для оперативного обрушения зависших пород. Изменяя ориентацию скважин и иницирующих щелей в породном массиве по отношению к элементам залегания основной кровли и линии очистного забоя, можно направлять трещину ориентированного гидроразрыва под любым углом к напластованию.



**Рисунок 1 – Схема расположения технологического оборудования:**  
**1 - шпур; 2 - инициирующая щель; 3 - пакер; 4 - высоконапорные трубы; 5 - коллектор; 6 - соединительные рукава; 7 - насос; 8 - измерительная аппаратура**  
**1 - шпур; 2 - инициирующая щель; 3 - пакер; 4 - высоконапорные трубы; 5 - коллектор; 6 - соединительные рукава; 7 - насос; 8 - измерительная аппаратура**

Предварительное расслоение прочных монолитных кровель является технологической операцией, которая необходима и полезна не только для облегчения работы крепей и выемочных комплексов, но и осуществления борьбы с такими динамическими явлениями, как горные удары и внезапные выбросы угля и газа, а также дезинтеграции угольной толщи при самообрушении. Предлагаемый способ управления кровлей с той или иной мерой эффективности сможет решать задачи борьбы с динамическими явлениями, и это окажется полезным также и для предотвращения других явлений, которые представляют большую опасность для жизни шахтеров и наносят ощутимый материальный ущерб угольной промышленности.

Для применения способа НГР были разработаны технологические схемы разупрочнения кровли в монтажной и демонтажной камерах, для сохранения повторно используемых выработок и снижения нагрузок на угольные целики, а также для снижения конвергенции и ликвидации пучины почвы горных выработок.

Технологические схемы разупрочнения кровли методом НГР можно разделить **по функциональному назначению**: из монтажной камеры для снижения первичного шага обрушения основной кровли; из подготовительных выработок в целях снижения последующих шагов обрушения основной кровли; для снижения признаков проявления повышенного горного давления от очистного забоя на межлавные целики угля, крепь повторно используемых подготовительных выработок, формируемую или

предварительно пройденную демонтажную камеру; для снижения признаков проявления повышенного горного давления от целиков угля, остывленных при отработке выше лежащего пласта спутника.

**По времени выполнения работ** разупрочнения массива: предварительное разупрочнение, осуществляемое из монтажной камеры до начала очистных работ из подготовительных выработок впереди очистного забоя вне зоны опорного давления; оперативное разупрочнение, осуществляемое в зоне ведения очистных работ на сопряжении (или вблизи) лавы и подготовительных выработок, либо непосредственно из очистного забоя с элементами принудительного обрушения массива на свободную поверхность.

**По количеству сторон выемочного столба** или подготовительных выработок, из которых бурятся скважины: односторонние схемы; двухсторонние схемы.

**По количеству ориентированных трещин**, создаваемых в монолитном массиве: одноуровневое заложение трещин; двухуровневое заложение трещин.

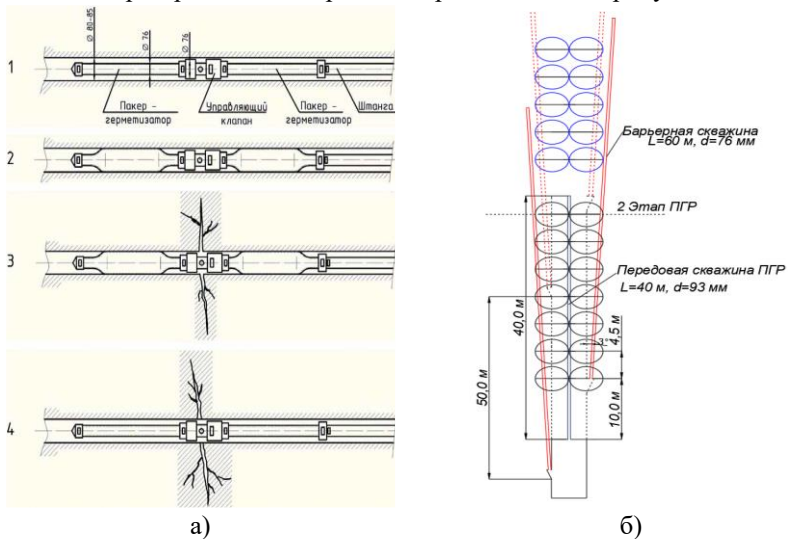
Изменяя ориентацию скважин и иницирующих щелей в породном массиве по отношению к элементам залегания основной кровли и линии очистного забоя, можно направлять трещину ориентированного гидроразрыва под любым углом к напластованию. Скважины для «отсечного обрушения» закладываются между вертикальными скважинами. Вертикальные скважины обеспечивают расслоение пород, а наклонные – отсечение кровли и ликвидацию ее зависания на угольном массиве. Сочетание этих технологических приемов обеспечивает наибольший эффект предварительного разупрочнения пород кровли для своевременной первичной посадки кровли.

Разработанные схемы легли в основу национального стандарта РФ ГОСТ Р Горное дело. Метод направленного гидроразрыва кровли горных пород в угольных шахтах. Москва: Стандартинформ, 2019. 11 с.

Для реализации метода НГР кровли разработано и изготовлено комплект специального оборудования, основным его элементом является щелеобразователь специальной конструкции, позволяющий нарезать иницирующую щель на стенках шпура и герметизатор зоны иницирующей щели.

Кроме того, для интенсификации процесса дегазации угольных пластов предложен способ поинтервального гидроразрыва (ПГР) угольного пласта, а также разработаны средства его реализации. Технология основана на создании разрывного устройства (двусторонний пакер), включающего в себя два упруго расширяющихся рукава (пакера), между которыми установлен межпакерный клапан, предназначенный для

регулирования давления рабочей жидкости в гидросистеме. Он служит для своевременного пакерования скважины в зоне между упруго расширяющимися рукавами и дальнейшего повышения давления в этой зоне до величины, достаточной для гидроразрыва. Перемещающее устройство вдоль скважины, можно производить гидроразрывы водой или водными растворами в заданных участках угольного пласта. На начальном этапе происходит ввод разрывного устройства в скважину (рисунок 2а) с последующей ее герметизацией за счет увеличения диаметра пакерных рукавов (уплотнений) при подаче в них рабочей жидкости (рисунок 2а, п.1,2). При дальнейшем повышении давления происходит срабатывание клапана, установленного между двумя пакерами, что приводит к образованию одной или нескольких трещин гидроразрыва (рисунок 2а, п. 3). На последнем этапе происходит разгерметизация скважины и перемещение разрывного устройства (рисунок 2а, п. 4). Особое значение в данной схеме придается конструкции межпакерного клапана, который обеспечивает подачу рабочей жидкости в загерметизированный участок скважины. Схема реализации метода ПГР угольного пласта при проходческих работах представлена на рисунке 2б.



**Рисунок 2 – Технологическая схема реализации поинтервального гидроразрыва угольного пласта (а): ввод пакера в скважину (1); герметизация скважины (2); гидроразрыв угольного массива (3); разгерметизация скважины и перемещение пакера (4); технологическая схема реализации метода ПГР в подготовительном забое через барьерные скважины на передовую скважину (б)**



Для реализации метода ПГР были разработаны два типа разрывных устройств с клапанами золотникового и клапанного типа. Выполнено обоснование параметров и установлено, что определяющими являются размеры изолированной полости между пакерами и диаметром скважины для образования направленных поперечных относительно оси скважины трещин.

Результаты многочисленных опытно-промышленных испытаний технологий направленного гидроразрыва труднообрушающейся кровли и поинтервального гидроразрыва угольного пласта показали высокую эффективность предлагаемых способов гидровоздействия на углепородный массив.

**УДК 622.834:622.268**

## **НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ВОКРУГ ВЫРАБОТОК**

**Дрибан В.А.**

*ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк*

В подавляющем большинстве работ по оценке устойчивости упругопластических систем в основу отыскания критических сил был положен тот же критерий Эйлера в классической формулировке. При этом во главу угла ставилось развитие методов расчета, а трудностям, которые возникают при логическом обосновании применимости данного критерия в области упругопластических деформаций внимания уделяется мало. Тем не менее, эти трудности значительны. Действительно предположение, которое в упругой зоне было оправданным, что в исходном состоянии отсутствуют деформации выпучивания, в случае перехода в пластическую зону вызывает обоснованные сомнения, поскольку в силу необратимости деформаций любое воздействие дополнительных сил приведет к появлению остаточных деформаций, и практически трудно представить, что к рассматриваемому моменту они исчезнут. Указанные соображения могут привести к принципиальной невозможности постановки задачи устойчивости при упругопластических деформациях. Точнее, к тривиальному выводу о том, что любое упругопластическое состояние является неустойчивым, что не отвечает действительности.

Идея настоящей работы заключается в том, что если при решении задачи о бифуркации состояния системы выделяются значения внешних параметров, при которых становятся возможными разные, но бесконечно близкие значения внутренних параметров, то в рамках пластичности появляется дополнительная иная возможность определения характерных

значений внешних параметров. А именно, при рассмотрении упругопластической задачи в приращениях можно выделить такие значения, которые отвечают неединственности решения системы уравнений для приращений.

Здесь необходимо сделать ряд замечаний. Согласно работам В.Д. Ключникова процесс деформирования является следствием движения материальных частиц, то устойчивость, естественно, понимается, как устойчивость бесконечно медленного движения. Однако в противоположность классическим задачам устойчивости движения, на первый план выступают не свойства инерционности, а природа связей, в качестве которых выступают определяющие соотношения пластичности. Именно это обстоятельство позволяет отказаться от постулата о непрерывной зависимости параметров, определяющих движение системы в данный момент, от таковых в любой предыдущий конечно удаленный момент. В соответствии с этим появляется возможность определить понятие неустойчивости движения, если исчезающее малое изменение параметров движения в данный момент времени приводит к конечному их изменению в любом последующем конечном временном интервале.

Рассмотрим задачу об устойчивости массива горных пород вокруг одиночной протяженной выработки в следующей постановке. Зона неупругих деформаций, образующаяся вокруг выработки, описывается уравнениями пластичности Кулона-Мора. Будем искать поля напряжений вокруг выработки, изначально кругового сечения, контур которой подвержен определенным возмущениям. При этом, поскольку контур выработки потерял симметричность, то с необходимостью мы отказываемся от предположения о независимости распределения полей напряжений от полярного угла  $\theta$ .

Итак, уравнение пластичности в полярных координатах имеет вид:

$$(\sigma_\theta - \sigma_r)^2 + 4\tau_{r\theta}^2 = \sin^2 \rho (\sigma_\theta + \sigma_r + 2Kctg\rho)^2, \quad (1)$$

где  $K$  – сцепление горных пород;  $\rho$  – угол внутреннего трения;  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\tau_{r\theta}$  – радиальные, тангенциальные и касательные напряжения соответственно

Опуская достаточно объемные решения, отметим, что получен целый класс решений задачи о распределении полей напряжений при возмущении контура выработки кругового сечения  $\varphi_n(\theta)$ :

$$\sigma_{ij}^{(n)} = C_1 r^{\alpha-2} (\delta_{ij} \pm \sin \rho \cos \varphi_n(\theta)) | \sin(0.5 \cdot \varphi_n(\theta)) |^{\alpha-2} - \delta_{ij} Kctg\rho, \quad (2)$$

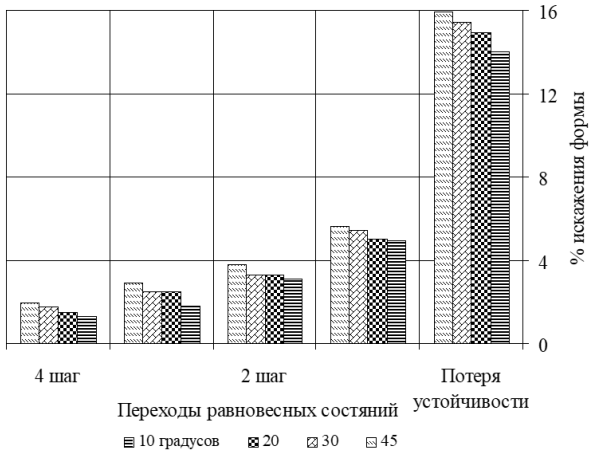
где  $\varphi_n(\theta)$  полубесконечный ряд гладких функций, генерируемый функциональным уравнением:

$$\varphi(\theta) + (1 + \sin \rho) \operatorname{ctg} \frac{\varphi(\theta)}{2} = 2\theta \cdot \quad (3)$$

Данные функции получаются путем склейки значений функции  $\varphi(\theta)$  на отрезках  $\theta \in [\pi n; \pi + \pi n] \cup [-\pi - \pi n; -\pi n]$  для всех целых  $n$  от 0 до  $\infty$ .

Заметим, что функция  $\varphi_\infty(\theta)$  генерирует тривиальное решение, что соответствует состоянию неустойчивого равновесия. Далее, по мере развития деформационных процессов, массив вокруг выработки последовательно проходит дискретный полубесконечный ряд равновесных состояний, отвечающий гладким однозначным функциям  $\varphi_n(\theta)$  при изменении  $n$  от  $\infty$  до 1. И, наконец, при соответствующих геомеханических условиях, достигается напряженное состояние вмещающего массива, соответствующее функции  $\varphi_0(\theta)$ , которое принципиально отличается от предыдущих тем, что  $\varphi_0(\theta)$  теряет свойство однозначности. Иными словами, в этом случае достигается такое возмущение контура выработки, при котором при неизменных внешних параметрах становится возможным переход из сложившегося напряженного состояния массива в некоторое иное, то есть появляется точка бифуркации.

На рисунке представлена диаграмма последовательного пошагового деформирования контура выработки вплоть до потери устойчивости для различных углов внутреннего трения.



**Рисунок 1 - Относительное пошаговое смещение контура выработки**

Проведенная серия расчетов для различных геомеханических условий показывает, что относительное возмущение контура выработки, при котором наступает потеря устойчивости, составляет 12–18%.

## **ВЫВОДЫ**

1. Получен деформационный критерий устойчивости горных выработок, который подтверждается сотнями прямых наблюдений за деформированием контура выработок, проведенных различными исследователями, где неустойчивое состояние наблюдается при достижении смещений в диапазоне 200-500 мм, что при площади сечения выработки от 10 до 18 м<sup>2</sup> в точности совпадает с предложенным критерием.

2. Показано, что в процессе деформирования массив вокруг выработок последовательно проходит дискретный ряд равновесных состояний, отвечающих определенному соотношению физико-механических свойств вмещающих пород и уровню горного давления, что кардинальным образом меняет имеющиеся представления о процессах формирования и перераспределения напряженно-деформированного состояния в массивах горных пород.

3. Из проведенных построений следует, по крайней мере, два ясных, доведенных в некоторых случаях до практического применения направления повышения устойчивости горных выработок путем точечных воздействий. А именно, укрепление локальных областей массива и перераспределение напряженного состояния массива вокруг выработок с помощью полостей ослабления.

**УДК 551.34+622.83**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ВЫЗВАННЫХ РАЗЛОЖЕНИЕМ ГАЗОГИДРАТОВ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ**

**Одинцев В.Н., Малинникова О.Н., Бобин В.А.**

*ИПКОН РАН*

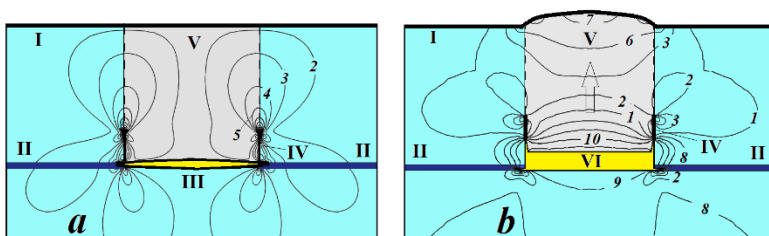
В зоне вечной мерзлоты иногда происходят геомеханические процессы, завершающиеся выбросом грунта, льда и газа с образованием круглых воронок на земной поверхности, глубина и диаметр которых достигают тридцати метров [1,2]. Образуются также большие холмы (пинго), высота которых может достигать десятки метров, и состоящих, главным образом, из льда. Природа этих геопроцессов пока не ясна в полной мере. Среди специалистов существуют различные представления об их движущей силе. Здесь рассматриваются модели [3,4], в которых определяющим фактором происходящих процессов является разложение в непроницаемом грунте скоплений зернистых газогидратов.

Газогидраты при близкой к нулю отрицательной температуре разлагаются на воду и свободный метан с давлением около 2МПа, объем

метана примерно в 80 раз больше объема твердого вещества [5]. При долгосрочном климатическом изменении температурного режима грунта, содержащего газогидраты, в нем возможны фазовые изменения, в результате чего могут возникнуть деформационные процессы, в том числе представляющие опасность для инфраструктурных объектов на земной поверхности.

В моделях полагается, что разложение отдельного зерна газогидрата обуславливает развитие на его границе трещинно-поры. Количество свободного метана, давление, объем трещинно-поры и температура описываются соотношениями, связывающими количество образующегося свободного метана с его давлением в поре, а также радиус поры с ростом давления метана. Используется еще уравнение состояния идеального газа. Показано, что при разложении зерна газогидрата трещинно-пора в непроницаемом грунте может увеличиться в объеме в десятки раз. В области скопления газогидратов может расти множество таких трещинно-пор (пузырьков метана). Процесс их роста определяет медленное «вспучивание» газоледогрунтовой массы. Вследствие увеличения объема трещинно-пор должен увеличиваться объем этой массы, если позволяют условия ее деформационного стеснения.

Нами рассматриваются две модели деформации грунта в зависимости от условий стеснения области скопления газогидратов. В первой модели газогидраты сосредоточены в горизонтальном пласте на глубине 30м. В этом случае условия деформационного стеснения допускают объединение трещинно-пор в магистральную горизонтальную трещину разрыва пласта, наполненную свободным метаном под давлением (рис.1).



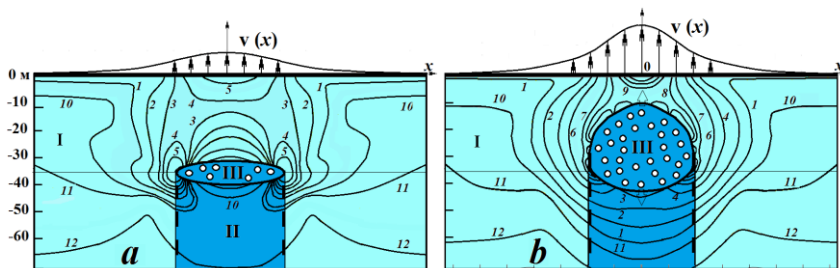
**Рис. 1.** Схемы к задачам моделирования и эпюры наибольших главных напряжений: а – образование отрывной трещины III в пласте II и сдвиговой трещины IV; б – сдвигание цилиндрической части V как целого при формировании газовой полости VI (пояснения в тексте)

На рис.1 показаны ледогрунтовая толща (I), пласт (II), содержащий газогидраты, открытая трещина разрыва (III), заполненная свободным метаном под давлением. Из теории трещин и анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) грунта, нагруженного собственным весом, следует, что трещина, первоначально произвольной конфигурации, при своем росте стремится к круговой форме. Давление метана в трещине за счет развивающегося процесса разложения газогидратов поддерживается постоянным, равным 2МПа. Номера эпюр от 1 до 10 соответствуют отношениям наибольшего напряжения растяжения, входящего в условие разложения газогидратов, к величине давления разложения, и составляют соответственно: 0; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.6; 1.0; -0.1; -0.3; -0.4.

Из расчетов НДС и теории трещин можно заключить, что возможна бифуркация в трещинообразовании, а именно при определенном сочетании параметров остановка в росте горизонтальной трещины отрыва, затем от ее круговой границы возможно развитие цилиндрической сдвиговой трещины (IV) в направлении земной поверхности. В этом случае сдвигание части толщи (V), ограниченной сдвиговой трещиной, ведет к росту газовой полости (VI) и небольшому подъему земной поверхности. Анализ НДС показывает также, что в сдвигающейся части грунта может образоваться область наведенной проницаемости и в ней начаться процесс фильтрации метана. Процесс сдвигания грунта может закончиться срывом сцепления на поверхности сдвиговой трещины и, следовательно, сменой режима деформирования грунтовой толщи с квазистатического на динамический.

Смену режима деформирования можно рассматривать как начало выброса грунта, в ходе которого содержащийся в наведенном поровом пространстве сжатый метан будет разрушать грунт в виде послышного отрыва, как это имеет место при выбросах угля и метана в угольных шахтах. Однако, как можно заключить из расчетов, более вероятен сценарий с локальным прорывом метана из газовой полости на земную поверхность по сдвиговой трещине, что должно привести к падению давления газа в полости и оседанию земной поверхности.

Во второй модели в ледогрунтовой толще (I) рассматривается уходящее в глубину столбообразное скопление газогидратов (II) (рис.2). В условиях бокового стеснения вмещающих пород образование магистральной трещины невозможно, поэтому увеличивающаяся в объеме при разложении газогидратов газоледогрунтовая масса (III) должна, главным образом, расширяться вверх в направлении земной поверхности.



**Рис. 2. Схемы к задачам моделирования, профиль смещения поверхности и эпюры наибольших главных напряжений растяжения: а – начальная стадия разложения; б – сдвигание газоледогрунтовой массы к поверхности (пояснения в тексте)**

В расчетах использованы вязко-упругая (Максвелла) и вязко-пластичная (Бингама-Шведова) модели деформации грунта. В области (III), где происходит разложение газогидратов поддерживается постоянное давление расприрания, соответствующее давлению фазового перехода 2МПа. В условиях расширяющейся газосодержащей массы ее вязкое течение должно приводить к постепенному сглаживанию первоначальной формы, поэтому соответствующая деформация поверхности должна проявиться в виде холма круглой формы. На рис.2 номера эпюр от 1 до 12 соответствуют отношениям наибольшего напряжения растяжения к величине давления разложения, соответственно: 0; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 1.0; 1.2; 1.4; -0.2; -0.3; -0.4.

Расчеты показали, что сдвигание газоледогрунтовой массы (III) вверх создает благоприятные условия по напряжениям для смещения фронта разложения газогидратов вниз, т.е. вглубь ледогрунтовой толщи. Это повлечет увеличение массы и ее объема, непосредственный выход массы на земную поверхность с образованием на поверхности большого бугра куполообразной формы. Высота бугра зависит от мощности области скопления газогидратов и условий их разложения. При этом она определяется условием равенства веса газоледогрунтовой массы и силы, выталкивающей массу.

Сделаны оценки характерного времени подготовки и протекания рассматриваемых процессов деформации грунта при разложении газогидратов в условиях постоянства температуры. Согласно оценкам геомеханические процессы, ведущие к выбросам метана, льда и грунта, должны протекать на порядок быстрее процессов, ведущих к образованию больших бугров на земной поверхности.

Таким образом, в процессе моделирования установлено, что фазовые изменения в мерзлых грунтах, связанные с разложением газогидратов и происходящие в масштабе макропор, могут в конечном счете приводить к масштабным геомеханическим процессам. В зависимости от условий залегания газогидратов и соотношения скоростей протекания процессов разной природы (фазовых условий разложения газогидратов, длительной прочности грунта, скорости деформирования пород, наведенной фильтрации свободного метана, температурных изменений) возможны различные сценарии развития геомеханических процессов в геосреде. Ввиду отсутствия необходимых количественных данных делать долговременные прогнозы последствий фазовых изменений в ледо-грунтовой толще нецелесообразно. Тем не менее по результатам исследований можно заключить, что наиболее опасные геомеханические процессы, а именно масштабные выбросы грунта и газа, должны быть достаточно редкими событиями и могут быть предотвращены уже на стадии начала деформации земной поверхности путем бурения газоотводящих скважин.

### Список литературы

1. Bogoyavlensky V., Bogoyavlensky I., Nikonov R., Kargina T., Chuvilin E., Bukhanov B., Umnikov A. New Catastrophic Gas Blowout and Giant Crater on the Yamal Peninsula in 2020: Results of the Expedition and Data Processing // *Geosciences* . 2021. Т. 11. №2. С. 71.
2. Хименков А.Н., Сергеев Д.О., Станиловская Ю.В., Власов А.Н., Волков-Богородский Д.Б. Газовые выбросы в криолитозоне как новый вид геокриологических опасностей // *ГеоРиск*. 2017. № 3. С. 58-65.
3. Одинцев В.Н., Бобин В.А., Малинникова О.Н., Макаров В.В. Моделирование геомеханических последствий фазового перехода в мерзлых грунтах при разложении газогидратов. В книге: XIII Всероссийский Съезд по теоретической и прикладной механике. Сб. тезисов докладов. В 4-х томах. Санкт-Петербург, 2023. С. 1031-1033.
4. Бобин В.А., Одинцев В.Н. Вопросы геомеханического моделирования газового выброса грунта в криолитозоне // В сб: Мониторинг в криолитозоне. Сб. докладов Шестой конференции геокриологов России. Под ред. Р.Г. Мотенко. М.: КДУ. Добросвет.2022. С. 56-63.
5. Максимов А.М., Якушев В.С., Чувилин Е.М. Оценка возможности выбросов газа при разложении газовых гидратов в пласте // *Доклады РАН*. 1997. том 352. № 4. С. 5.



УДК: 622.271

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ СЕЛЕКТИВНОЙ ВЫЕМКИ РАЗНОСОРТНЫХ РУД ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЫСОКОЦЕННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Рассказов И.Ю., Секисов А.Г., Чебан А.Ю.

*ИГД ДВО РАН*

Вовлечение в отработку сложноструктурных эксплуатационных блоков без обеспечения необходимой глубины селекции при выемке приводит к значительному разубоживанию и пересортице минерального сырья, что в дальнейшем ведет к увеличению затрат на флотационное обогащение и снижению сквозного извлечения металла [1-4]. Так согласно исследованиям, проводившимся с участием авторов, при переработке золотосодержащей руды месторождения Талатуй рост содержания золота в рудной массе с 3,0 до 4,5 г/т обеспечивает увеличение извлечения с 82,7 до 87,9%, а снижение содержания с 3,0 до 1,5 г/т – уменьшение извлечения золота в концентрат с 82,7 до 72,6% [5]. Существенное влияние на полноту извлечения полезных компонентов при переработке руд также оказывает изменчивость содержания металла в руде. Таким образом, развитие технологий освоения рудных месторождений должно сопровождаться комплексным решением вопросов последовательности выемки, ресурсосбережения и малоотходности, а также снижения энергоемкости процессов ведения горных работ [6-7].

Учитывая, что в настоящее время возможно использование различных технологий переработки руд, характеризующихся соответственно и разным уровнем извлечения полезных компонентов, эксплуатационными и капитальными затратами, целесообразно осуществлять переработку разнородных руд по альтернативным схемам [8-9]. В частности, руды с повышенным содержанием полезного компонента предпочтительно перерабатывать с применением дорогостоящих технологий (автоклавное выщелачивание, интенсивное цианирование после сверхтонкого измельчения и др.), обеспечивающих максимальное извлечение металла, в то же время переработка бедных и забалансовых руд может производиться малозатратными методами кучного или подземного выщелачивания.

Необходимо отметить, что рудные включения с повышенным содержанием полезного компонента при относительно небольших объемах содержат существенную долю металла выемочного блока, так

согласно данным [10] на участке одного из золоторудных месторождений особо богатые и богатые руды со средними содержаниями металла 50,83 и 26,05 г/т, при объеме в блоке 1,54 и 6,75% содержат 17,51 и 30,76% металла соответственно. В связи с чем выемку таких включений целесообразно осуществлять до проведения массового взрывного рыхления блока, при котором происходит значительное смещение контуров рудного тела, что приводит к существенной пересортице рудной массы при последующей выемке. Наиболее сложными по структуре являются месторождения штокверкового типа. Для эффективного освоения сложноструктурных месторождений требуется применение технологических схем, обеспечивающих селективную выемку руд различных сортов с учетом их физико-технических параметров. Исследование [11] по отработке контактных зон ценных руд показало, что их отбойка гидравлическим молотом, установленным в качестве сменного оборудования на одноковшовом экскаваторе, в сравнении буровзрывной технологией позволяет в 2,5-3,0 раза снизить уровень эксплуатационных потерь. Недостатком безвзрывных технологий является относительно низкая производительность технических средств при механическом рыхлении прочных руд. Увеличить эффективность рыхления позволяет применение предварительного разупрочнения массива растворами поверхностно-активных веществ (ПАВ). Проведенные с участием авторов исследования показали, что пропитка образцов руд раствором ПАВ позволила снизить их прочность на 20-40% и перевести руды средней трудности разрушения (березиты, кварц-гидрослюдистые метасоматиты и др.) в класс легкоразрушаемых руд [12].

Авторами предлагается усовершенствованная технологическая схема подземной отработки сложноструктурного рудного тела штокверкового типа с опережающей выемкой богатых рудных включений с высоким содержанием полезного компонента. В случае выявления в выемочном блоке богатых включений проводится вторая стадия эксплуатационной разведки с локальным сгущением сети скважин малого диаметра, в ходе которой производится уточнение контуров богатых руд. Локальную механическую выемку предлагается вести с применением оборудования для проходки восстающих, которое обеспечивает расширение пионерных скважин до диаметра 1,5-3м, при этом для увеличения производительности выемки производится предварительное локальное разупрочнение массива путем пропитки раствором ПАВ через сгущенную сеть скважин, сформированную для оконтуривания богатых включений. При низкой эффективности дезинтеграции с применением раствора ПАВ, возможно разупрочнение массива посредством взрывания «на встряхивание». Полученная при проходке восстающего

рудная масса с высоким содержанием полезного компонента перепускается в штрек откаточного горизонта. После выемки богатых включений с образованием компенсационных полостей производится взрывное рыхление рядовых и бедных руд. При этом богатые и рядовые руды поднимаются на дневную поверхность для обогащения на фабрике по различным технологиям, а бедная рудная масса перерабатывается с применением подземного выщелачивания. На завершающем этапе осуществляется взрывная подготовка и выщелачивание металла из оставленных целиков.

Применение локального предварительного разупрочнения массива обеспечит достаточно высокую производительность механического рыхления, а опережающая выемка богатых рудных включений позволит снизить изменчивость содержаний при последующем извлечении основного объема рудной массы и стабилизирует ее качество. Применение специальных методов для переработки рудной массы с высоким содержанием полезного компонента обеспечит максимальное извлечение при относительно невысокой себестоимости металла. Внедрение предлагаемых технологических решений при разработке сложноструктурных месторождений позволит увеличить сквозное извлечение металла на 4...6% в сравнении с традиционными технологиями переработки руд.

#### Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Шуклин А.С. Экспериментальные исследования физических процессов избирательной выемки руд и пород при разработке пологих жил // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. №2. С. 75-81.

2. Кожиев Х.Х. Укрупненный расчет эффективности управления качеством руды // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. №8. С. 29-30.

3. Sekisov A., Rasskazova A. Assessment of the possibility of hydrometallurgical processing of low-grade ores in the oxidation zone of the Malmyzh cu-auriferous porphyry deposit // Minerals. 2021. Т.11. №1. С. 1-11.

4. Ломоносов Г.Г., Туртыгина Н.А. Влияние класса крупности медно-никелевого рудного сырья и его изменчивости на показатели обогащения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. №3. С. 104-107.

5. Рассказов И.Ю., Секисов А.Г., Чебан А.Ю. Разработка технологии комбинированной выемки руд сложноструктурных месторождений // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. №4. С. 485-496.

6. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Новые подходы к проектированию ресурсовоспроизводящих технологий комплексного освоения рудных месторождений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2011. №3. С. 58-66.

7. Секисов Г.В., Чебан А.Ю. Малоотходная технология освоения сложноструктурных месторождений с применением комбинированных схем выемки и переработки руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2021. №6. С. 110-118.

8. Секисов А.Г., Лавров А.Ю., Рассказова А.В. Фотохимические и электрохимические процессы в геотехнологии. – Чита: Издательство ЗабГУ, 2019. – 306с.

9. Голик В.И. Технологии выщелачивания металлов – путь реанимации горного производства Осетии // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т.12. №2. С. 273-282.

10. Бабич И.Н. Новые возможности оценки контрастности руд в недрах // Рациональное освоение недр. 2020. №6. С. 38-46.

11. Лигоцкий, Д.Н. Отработка контактных зон с использованием гидромолотов, для снижения уровня потерь полезного ископаемого // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. №S1-4. С. 7-3.

12. Чебан А.Ю., Секисов А.Г., Рассказов М.И., Цой Д.И., Терешкин А.А. Повышение эффективности селективной выемки богатых руд путем их предварительного физико-химического разупрочнения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. №9. С. 29-41.

**УДК 622.453**

## **ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТРЕЩИНОВАТО-ПОРИСТЫХ ГЕОМАТЕРИАЛОВ: ТЕОРИЯ И ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ**

**Назаров Л.А.<sup>1</sup>, Назарова Л.А.<sup>2</sup>, Голиков Н.А.<sup>1</sup>, Скулкин А.А.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет*

*<sup>2</sup>Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН*

Обоснование схемы дегазаций при подготовке угольных залежей к отработке, оценка емкостных характеристик пластов при утилизации газообразных промышленных отходов и попутного газа, инверсия данных ГИС – вот далеко не полный перечень проблем, для решения которых необходимо знать фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) природных пластов [1,2]. Последние зачастую имеют ярко выраженную слоисто-трещиноватую пористую структуру, а их транспортные характеристики зависят от действующих в массиве напряжений [3].

В настоящей работе представлены результаты лабораторных экспериментов, аналогичных описанным в [4], но проведенными на модернизированной установке [5] с другими образцами из искусственного геоматериала. Интерпретация полученных данных позволила определить основные параметры модели трещиновато-пористой среды (проницаемости трещин  $k_1$  и матрицы  $k_2$  и коэффициент массообмена  $\alpha$ ).

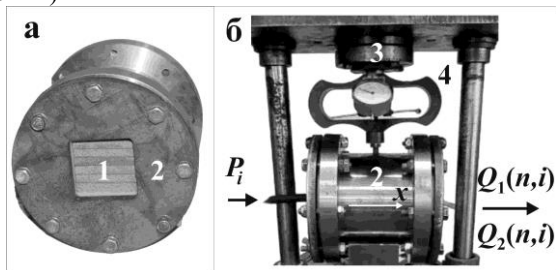
**Образцы и процедура испытаний.** Образцы **1** (Рис. 1а) компоновались из шести пластин-блоков (длина 100 мм, ширина 70 мм, толщина 10 мм), изготовленных по оригинальной технологии [4] из искусственного геоматериала (смесь песка и криогеля, подвергнутая трем циклам «заморозка-оттаивание» с последующим высушиванием в течение 30 суток), его проницаемость  $k_2=8.4$  Д определена по стандартной методике.

Деформирование межблочных нарушений в нормальном направлении описывалось соотношением [6]

$$w(\sigma) = w_0 \sigma / (\sigma + w_0 K),$$

где  $w$  и  $w_0$  – конвергенция и предельное сближение берегов,  $K$  – нормальная жесткость,  $\sigma$  – напряжение. Предварительные деформационные испытания [5] позволили найти эмпирические константы  $K=1.57$  ГПа/м и  $w_0=71$  мкм.

Затем образец **1** помещался в герметичную испытательную камеру **2** (Рис. 1а), которая устанавливалась в гидравлический пресс **3**. Осуществлялось ступенчатое нагружение: напряжение на образец  $\sigma=S_n$  контролировалось динамометром **4**. На каждом шаге нагружения  $n$  проводились фильтрационные испытания: на входе задавалось постоянное давление газа  $P_i$  (Рис. 2б), на выходе регистрировался стационарный расход  $Q_1(n,i)$  – режим 1. Затем межблочные нарушения на выходе закрывались и проводились такие же испытания, регистрировались расходы  $Q_2(n,i)$  – режим 2. Фрагмент данных экспериментов приведен в Табл. 1 (колонки 3 и 4).



**Рис. 1. Испытательная камера с образцом (а); экспериментальный стенд (б)**

Таблица 1

**Зарегистрированные при  $S_n=0.054$  МПа расходы  $Q_1$ ,  $Q_2$  и результаты интерпретации данных эксперимента**

1	2	3	4	5	6
$i$	$P_i$ , атм	$Q_1(n,i)$ , л/мин	$Q_2(n,i)$ , л/мин	$k_1$ , Д	$10^{12}\alpha$
1	1.02	4.22	3.98	40.57	8.05

продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
3	1.04	8.44	7.98	42.63	7.89
5	1.06	12.64	12.00	39.20	7.75
7	1.08	16.84	15.98	37.48	7.76
9	1.10	21.00	19.97	32.32	7.30

Установившийся режим фильтрации в образце описывается уравнениями

$$k_m \partial^2 p_m / \partial x^2 = (-1)^m \alpha (p_2 - p_1) \quad (1)$$

с граничными условиями

$$p_m(0) = P_i, \quad p_m(L) = P_a \text{ (режим 1),} \quad (2)$$

$$p_m(0) = P_i, \quad \partial p_1(L) / \partial x = 0, \quad p_2(L) = P_a \text{ (режим 2),} \quad (3)$$

где  $p_1$  и  $p_2$  – давления в трещинах и блоках,  $\alpha$  – безразмерный коэффициент массообмена,  $k_1$  – трещинная проницаемость,  $P_a$  – атмосферное давление, ось  $x$  направлена вдоль образца (Рис. 2б),  $m=1,2$ . Системы (1), (2) и (1), (3) имеют аналитические решения [4], с помощью которых находились значения  $k_1$  и  $\alpha$  как средние значения по всем  $i=1, \dots, 9$  (Табл. 1, колонки 5, 6 и Табл. 2, колонки 4, 5) на каждом шаге нагружения  $n$ .

Таблица 2

**Значения проницаемости  $k_1$  при различных напряжениях  $S_n$  и результаты аппроксимации по (4)**

1	2	3	4	5
$n$	$S_n$ , МПа	$k_1$ , Д	$10^{12}\alpha$	$k_1$ , Д
1	0.022	74.38	8.05	81.14
2	0.033	57.05	8.04	61.43
3	0.054	39.59	8.05	38.93
4	0.081	25.68	8.02	24.71
5	0.111	15.83	7.95	16.33

По данным колонки 3 Табл. 2 установлена эмпирическая зависимость

$$k_1(\sigma) = k_* / (C\sigma + D)^2, \quad (4)$$

где  $k_*=1$  Д,  $C=1.56$  1/МПа,  $D=0.076$ . Результат расчетов трещинной проницаемости по (4) приведены в Табл. 2 (колонка 5). Можно видеть, что погрешность аппроксимации (1) составляет около 10%.

**Заключение.** Экспериментально апробированный метод количественной оценки транспортных характеристик трещиновато-пористых геоматериалов и горных пород может применяться для количественной оценки параметров couple моделей при исследовании процессов массопереноса в геосредах.

Лабораторные испытания показали, что трещинная проницаемость обратно пропорциональна квадрату напряжений. Коэффициент массообмена практически не зависит от напряжений – можно предположить, что процесс перетока флюида между матрицей и трещинами контролируется, в первую очередь, петрофизическими свойствами пород матрицы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 23-27-00339).

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Thakur P. Advanced reservoir and production engineering for coal bed methane. Gulf Professional Publishing, Houston. 2016. 404 p.

2. Забурдяев В.С., Малинникова О.Н., Трофимов В.А. Метанообильные шахты: добыча угля, газовыделение, метановая опасность. Калуга: Изд-во Манускрипт. 2020. 334 с.

3. Quddus M.A. Petroleum Science and Technology. Petroleum Generation, Accumulation and Prospecting. 2021. 381 p.

4. Назаров Л.А., Голиков Н.А., Скулкин А.А., Назарова Л.А. Экспериментальное определение фильтрационных свойств трещиновато-пористых геоматериалов в рамках модели среды с двойной проницаемостью. ФТПРПИ. 2023. №4. С. 11–23.

5. Назаров Л.А., Голиков Н.А., Скулкин А.А., Назарова Л.А. Метод экспериментального определения деформационных и фильтрационных характеристик горных пород регулярно-блочной структуры. ГИАБ. 2023. №11. С. 70–81.

6. Barton N.R. Deformation phenomena in jointed rock. Geotechnique. 1986. V. 36(2). P. 147–167.

## **РОБОТИЗИРОВАННЫЙ ОЧИСТНОЙ КОМПЛЕКС ПО ДОБЫЧЕ УГЛЯ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ. ЗАДАЧИ ТРЕБУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ**

**Кубрин С.С.**

*ИПКОН РАН*

### **Введение. Необходимость роботизации добычи угля**

На сегодняшний день требуется присутствие машиниста выемочного комбайна и его помощника в очистном забое. Определяется такая необходимость слабоуправляемыми и почти не управляемыми процессами, сопровождающие техногенное преобразование массива горных пород при выемке угля. Условия труда оператора комбайна в очистном забое относятся к тяжелым. Работать приходится в рудничной атмосфере,

характеризующейся высокой степенью запыленностью (рис. 1). Неверное решение машиниста выемочного комбайна может привести к повреждению оборудования, к травмированию персонала и к аварийным ситуациям. Поэтому, проработка концепции роботизированного очистного комплекса для выемки угля, с возможностью в автоматическом режиме предотвращать аварийные ситуации актуальна.

### **Существующий задел исследований, направленных на роботизацию добычи угля.**

Вопросы роботизации технологического процесса добычи угля рассматривались мировыми производителями технологического оборудования: JOY, Caterpillar, предприятиями группы FAMUR. Исследования велись в научно-исследовательских и проектных организациях Австралии. Полученные результаты применимыми, в основном, для выдержанных пологих угольных пластов не имеющих выраженных отклонений от идеальных. Условия залегания угольных пластов в Российской Федерации разительно отличаются от пласт образований в США и Австралии.



**Рисунок 1. Управление выемочным комбайном в лаве**

### **Требования к роботизированному очистному комплексу.**

Роботизированный очистной комплекс должен быть оснащен более 2000 датчиками, которые будут производить непрерывные измерения различных параметров с частотой 50-100 раз в секунду. При этом часть из них будут размещены стационарно вдоль забоя, часть, должна находиться на движущемся выемочном комбайне. Требуется разработать алгоритмы по снижению уровня рисков, определяющие режимы работы роботизированного комплекса, самодиагностики, оценки и прогноза состояния отказов оборудования.

Для эффективности добычи угля необходимо разработать математическую модель пласта с учетом углов и азимутов падения. Она позволит



прогнозировать поверхности кровли и почвы впереди забоя. Это необходимо для определения оптимальных траекторий движения исполнительных органов выемочного комбайна, обеспечивающие получение угля с установленными параметрами качества. Крайне сложная проблема, требующая решения, это выявление текущего положения почвы и кровли пласта.

### **Научно-технические задачи, направленные на разработку роботизированного очистного комплекса.**

1. Разработка требований к системе управления роботизированным очистным комплексом.

2. Создание модели пласта, позволяющая рассчитывать оптимальные траектории движения исполнительных органов комбайна, включающая алгоритмы построения нелинейной поверхности, база данных представления топологии угольного пласта, механизмы прогнозирования поверхностей почвы и кровли пласта, модели трассировки тектонических нарушений вглубь забоя, методы адаптации модели угольного пласта по текущим наблюдениям.

3. Разработка методов самодиагностики, оценки и прогноза состояния элементов и очистного комплекса

4. Создание модели выбора стратегии использования и технического обслуживания роботизированного очистного комплекса.

5. Исследование и создание методов и способов измерений параметров массива горных пород и пласта в ходе выемочных работ.

6. Разработка методов оптимизации режимов управления секциями крепи очистного комплекса и подачи выемочного комбайна в зависимости от горно-геологических факторов.

7. Создание искробезопасных датчиков и станций управления и коммуникации для организации сетей передачи данных для роботизированного очистного комплекса.

Все это должно базироваться на фундаменте, требующего разработки, - на научных основах управления роботизированным очистным комплексом.

### **Выводы.**

Приведены первоочередные задачи, требующие проработки, необходимые для создания роботизированного очистного комплекса по выемки угля. Решение поставленных проблем позволит вывести людей из опасной зоны выемочного участка угольной шахты. По итогам проведения исследований по указанным направлениям позволит создать научно-технический задел для создания роботизированного очистного комплекса.

## Список литературы

1. Optimizing Wireless LAN for Longwall Coal Mine Automation. Industry Applications, IEEE Transactions on Date of Publication: Jan.-feb. 2007. Hargrave, C.O. Exploration & Min., Commonwealth Sci. & Ind. Res. Organ., Pullenvale, Qld. Ralston, J.C.; Hainsworth, D.W. Volume: 43, Issue: 1 Page(s): 111–117.
2. Real-World Automation: New Capabilities for Underground Longwall Mining. Peter B Reid, Mark T Dunn, David C Reid and Jonathon C Ralston. CSIRO Mining Technology. Queensland Centre for Advanced Technologies. Pullenvale, Qld 4069 Australia 06.03.2014 14:27.
3. Monitoring Coal Mine Seismicity with an Automated Wireless Digital Strong-Motion Network. Peter Swanson, Research Geophysicist NIOSH - Spokane Research Laboratory Spokane, WA. Collin Stewart, Technical Services Bowie Resources LLC Paonia, CO. Wendell Koontz, Senior Mine Geologist Mountain Coal Company Somerset, CO.
4. The Digital Mine – Concept and perspectives – PSI Production GmbH, Aschaffenburg, Germany.
5. Industrial Ethernet for Control and Information Interconnectivity in Automated Longwall Mining. D.C. Reid D.W. Hainsworth J.C. Ralston R.J. McPhee & P.G. Ingram-Johnson. CSIRO, Mining Automation. Technology Court, Pullenvale, Qld, Australia 4069.
6. JOY Longwall Systems Product Overview verview Joy Global 2012.
7. Langwall Automation Unparalleled Control. Caterpillar. 2012.
8. Виленкин Е.С., Концепция пространственно-распределенной системы децентрализованного событийного управления технологическим процессом добычи угля очистным забоем. // Уголь. - М.: 2013. - №2. С. 29-31. ISSN 0041-5790.
9. Кубрин С.С. Нелинейная аппроксимация поверхности методом триангуляции при решении геолого-маркшейдерских задач. Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, 1999. – Вып. 4. – С. 65-66.
10. Кубрин С.С., Внуков Л.А. Алгоритм нелинейного построения геологической поверхности с учетом элементов залегания слоя. / Маркшейдерский вестник. – М.: 1999. - №3 (29), июль-сентябрь. – С. 36-38. ISSN 2073-0098.
11. Федунец Н.И., Кубрин С.С. Развитие информационных технологий на горнодобывающих предприятиях. // Горный журнал. – 2009. - №1. – С. 83-85. ISSN 0017-2278.
12. Федунец Н.И., Кубрин С.С. Перспективы и проблемы построения автоматизированных радиотелеметрических систем управления технологическими процессами в шахтах и рудниках, Горный информационно-аналитический бюллетень. Труды научного симпозиума «Неделя горняка – 2009». - М.: МГГУ, 2010. – отд. Вып. №1. – С. 290-301. – ISSN 0236-1493.

# **МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ ЗАЛЕГАНИЯ**

**Гришин А.В.**

*Общество с ограниченной ответственностью  
Научно-внедренческая компания «Горная геомеханика»*

В последнее время наблюдается тенденция к сокращению запасов калийных солей, расположенных в относительно благоприятных горно-геологических условиях на небольших глубинах залегания. Для поддержания должного уровня запасов калийных удобрений, а тем более наращивание объема их добычи, приходится осваивать новые месторождения, или вовлекать в разработку участки уже осваиваемых месторождений, расположенные на больших глубинах залегания, в более сложных горно-геологических условиях.

При освоении калийных месторождений самой распространенной системой разработки, как в нашей стране, так и за рубежом, является камерная система с оставляемыми, или как еще говорят покидаемыми целиками. Особенно такая система разработки не заменима, когда возникает необходимость сохранения водозащитной толщи пород, при производстве горных работ под водоносными горизонтами. Такая система достаточно проста в реализации, но в тоже время имеет свои недостатки, самым значительным из которых является – большие потери полезного ископаемого, оставляемого в целиках. Причем, с увеличением глубины ведения горных работ эти потери могут существенно возрастать, за счет увеличения размеров оставляемых целиков.

При использовании камерной системы разработки соляных пластов, основным критерием эффективности и безопасности освоения месторождения, является правильный выбор размеров целиков и потолочин камер. Так, если размеры оставляемых целиков будут завышены, по сравнению с необходимыми для обеспечения заданной устойчивости выработок, то это повлечет за собой не обоснованное увеличение потерь полезного ископаемого, и как следствие снижение эффективности разработки месторождения. Оставляемые целики меньшего размера, чем это требуется для поддержания вышележащей толщи пород, могут привести к преждевременному их разрушению и увеличению риска возникновения аварийной ситуации и даже полной потере рудника. Актуальность указанных задач возрастает, когда речь идет о разработки месторождений, расположенных на больших глубинах залегания. С увеличением глубины, возрастает горное давление, и как следствие,

целики испытывают большие нагрузки по сравнению с относительно малыми глубинами залегания продуктивного пласта. Необходимо отметить, что понятие «большая глубина» разработки не следует относить к абсолютной ее величине, скорее это относительное понятие, зависящее от сложности горно-геологических условий месторождения, подлежащего освоению и величины геомеханического воздействия на конструктивные элементы системы разработки.

Исходя из обозначенной проблемы, можно сформулировать цель данной работы: на основе анализа существующих параметров управления горным давлением и установленных закономерностях его распределения, разработать методику управления его изменением на больших глубинах, с необходимостью поддержания водозащитной толщи пород.

В настоящее время оценка состояния целиков, при камерной системе разработки, производится по методу академика Л. Д. Шевякова (в различных интерпретациях) [1], согласно которому междукамерные целики оставляются по всему шахтному полю одинаковыми. Размеры этих целиков рассчитываются на восприятие давления от веса горных пород, залегающих выше разрабатываемого пласта до земной поверхности. Этот метод разработан преимущественно для условий, при которых целики и камеры образуют неограниченную периодическую последовательность, то есть если все пролеты камер одинаковы, целики равновелики и, если число камер и целиков неограниченное множество. При этих условиях давление на целики равно весу породного столба, основанием которого служит площадь, ограниченная по сторонам линиями, делящими пролеты камер пополам. Однако, как отмечал сам автор (акад. Л. Д. Шевяков), данный метод разработан для малых глубин ведения горных работ и небольших площадей отработки полезного ископаемого [2]. Поэтому применение данного метода в современных условиях ведения горных работ на больших глубинах и с большой площадью отработки не обосновано. Применение камерно-целиковой системы разработки, при ведении горных работ на больших глубинах, приведет к существенному увеличению потерь полезного ископаемого, оставляемого в междукамерных целиках, или не сможет обеспечить безопасность, при уменьшении необходимых параметров целиков. Для решения данной проблемы под руководством академика К.Н. Трубецкого, профессором М.А. Иофисом с учениками, был разработан способ, позволяющий применять камерно-целиковую систему разработки в указанных условиях, направленный на безопасность ведения горных работ и снижения потерь полезного ископаемого [3].

Практикой горного дела установлено, что на часть полезного ископаемого, находящуюся между двумя параллельными выработками (предполагается, что влияния от других выработок отсутствует), давит не весь объем горных пород, находящийся над ним, а лишь часть его, ограниченная некоторым сводом [4]. Поэтому при реализации камерной системы разработки, нагрузка на междукамерные целики, равная весу вышележащих пород, происходит не сразу, а лишь по достижению площади полной подработки. Другими словами, размеры выработанного пространства должны быть сопоставимы с величиной глубины горных работ или превышать ее (условия полной подработки). Также необходимо отметить, что при достижении полной подработки, максимальное давление будут испытывать целики, расположенные в центре выработанного пространства. Целики, расположенные на периферийных участках отработанного шахтного поля, будут испытывать меньшее давление, так как часть нагрузки от вышележащего массива удерживается еще не отработанными породами, которые в это время будут испытывать дополнительное «опорное давление». На основе выявленных закономерностей были скорректированы параметры камерной системы разработки для обеспечения возможности эффективного и безопасного ее применения на глубоких горизонтах. Для снижения нагрузок на междукамерные целики, в условиях больших глубин, необходимо не допускать полной подработки массива. Тогда нагрузка на целик будет передаваться не от всей толщи вышерасположенных пород (до земной поверхности), а лишь от той ее части, ограниченной сводом равновесия. Отсутствие полной подработки достигается за счет оставления так называемых опорных целиков между обрабатываемыми блоками. Параметры опорных целиков рассчитываются на восприятия нагрузки от веса вышележащих горных пород от кровли обрабатываемого пласта до земной поверхности, причем с некоторым запасом, зависящим от величины опорного давления, оказываемого на рассматриваемый целик. Таким образом, за счет введения опорных целиков в камерную систему отработки, образуется своеобразный «каркас», воспринимающий на себя нагрузку вышележащей толщи пород и разделяющий шахтное поле на участки с не полной подработкой. В пределах таких участков, параметры междукамерных целиков рассчитываются не на весь столб пород, а только на его часть, ограниченную сводом равновесия, что повышает извлечение полезного ископаемого. Для управления горным давлением внутри рассматриваемого блока, осуществляется закладка камер, расположенных по его центру с максимальной полнотой, т.к. на центральные целики оказывается большее давление нежели на периферийные.

Остальные камеры могут быть заложены частично, либо с большим отставанием по времени.

Указанная методика управления горным давлением на больших глубинах, была предложена для проектирования освоения Гермячинского месторождения калийных солей, проект разработки которого получил положительное заключение Главгосэкспертизы и на сегодняшний день успешно реализуется. Данные инструментальных измерений, проводимые на руднике, подтверждают правильность выбранных подходов в управлении горным давлением.

#### **Список литературы**

1. Ильштейн А.М. и др. Методы расчета целиков и потолочин камер рудных месторождений. – М. Изд. Наука, 1964 г.

2. Шевяков Л.Д. Основы теории проектирования угольных шахт. - М. - Л., 1958г.

3. Трубецкой К.Н., Иофис М.А., и др. Способ отработки полезных ископаемых при минимальных потерях и максимальной безопасности горных работ. Патент RU(11) 2 428 565

4. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. Л., «Недра», 1977. 503 с.

# ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ И РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

---

---

УДК 539.4

## ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ РАЗГРУЗОЧНЫХ СКВАЖИН С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ УДАРООПАСНОСТИ

Еремин М.О., Чирков А.О., Пажин А.А., Лаптев С.А., Чанов Д.В.

*ИФПМ СО РАН, г. Томск*

### Введение

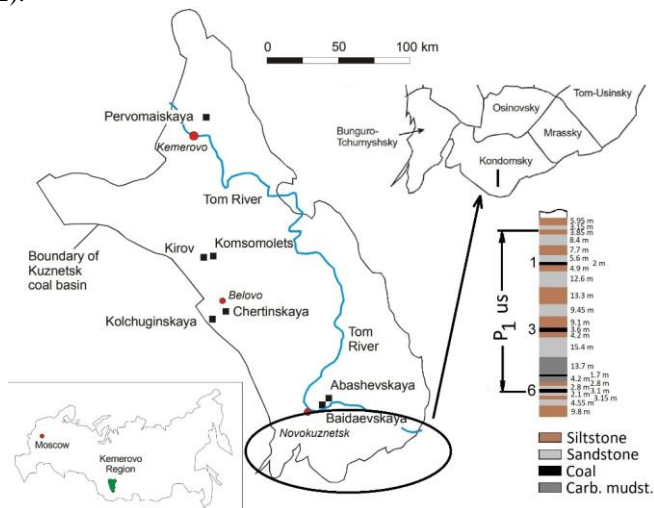
Истощение запасов поверхностных угольных пластов привело к ежегодному повышению глубин разработки за последние 10-15 лет. Проведение горных работ на больших глубинах, очевидно связано с увеличением вероятности горных ударов и выбросов газа. Так, на шахтах Кузнецкого угольного бассейна, Россия, Сибирь (Кузбасса) большинство разрабатываемых пластов, начиная с глубины 300 м, отнесены к категории опасных по внезапным выбросам угля и газа (Klishin et al., 2018). При этом статистика горных ударов в шахтах и туннелях свидетельствует о том, что данные опасные динамические явления подчиняются степенным законам (Makarov and Eremin, 2018), что делает практически невозможным предсказание точного времени их наступления.

По этой причине разрабатываются методы по безопасному ведению горных работ на пластах, склонных к горным ударам и внезапным выбросам газа, например (Recommendations..., 2017). В рамках обеспечения геодинамической безопасности ведения горных работ, меры, применяемые для разгрузки накопившейся энергии и дегазации, осуществляются на постоянной основе. Так, например, бурение разгрузочных и дегазационных скважин является одной из локальных мер по предотвращению динамических явлений (ДЯ) в шахтах. Несмотря на ряд проблем, связанных с использованием метода, например, отклонение реальной траектории скважины от запланированной (Xu et al., 2022) или излишний эффект снятия напряжений, приводящий к значительной потере прочности окружающих пород (Gu et al., 2022), данный метод применяется на шахтах по всему миру. Об этом свидетельствует возросшее количество работ по анализу изменений напряжений и деформаций вокруг скважин и их перераспределению в окрестностях выработки (Li et al., 2021).

В работе представлены результаты численного анализа технологии бурения разгрузочных скважин для выбора оптимальных параметров диаметра и расстояния между скважинами, обеспечивающих снижение удароопасности. В качестве примера взяты условия разработки пласта 3 Алардинского месторождения Кузнецкого бассейна (рис. 1).

### Математическая постановка задачи

В основе математической модели лежит полная система уравнения механики деформируемого твердого тела. Ввиду ограниченного объема статьи, основные уравнения опущены, при необходимости ознакомления применяемая модель полностью представлена в работе (Eremin et al., 2022).



**Рисунок 1 - Географическое положение объекта исследования и пример стратиграфической колонки в пределах Усятской свиты (Yavorskii, 1969)**

### Граничные и начальные условия

На рисунке 2 представлена разработанная структурная модель исследуемого участка. Шаг по сетке составляет 3,6 см. Общее число ячеек в вычислительной сетке составляет 4480x1190. По границам области, кроме верхней границы, задано условие нулевых нормальных смещений. Начальное состояние соответствует гравитационному напряженно-деформированному состоянию (НДС). В области структурной модели, отмеченной белым цветом, задана эпоха восстановления несущей способности после обрушения пород, обусловленная механизмом компактирования. Черным отмечен невыработанный столб.



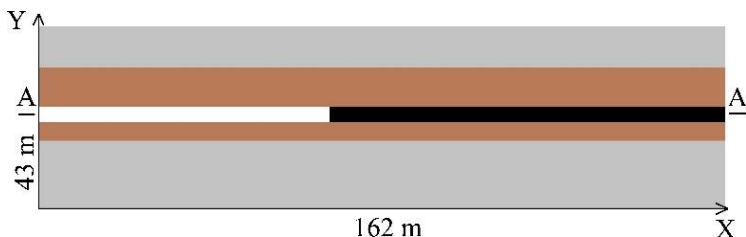


Рисунок 2 - Структурная модель исследуемого участка

### Результаты моделирования разгрузочных скважин

На рисунке 3 представлены результаты моделирования изменения НДС при бурении скважин диаметром 300 мм, и расстоянием между скважинами порядка 2 м. Результаты моделирования свидетельствуют об эффективности применения данной меры по снижению удароопасности, поскольку происходит существенная релаксация напряжений перед забоем.

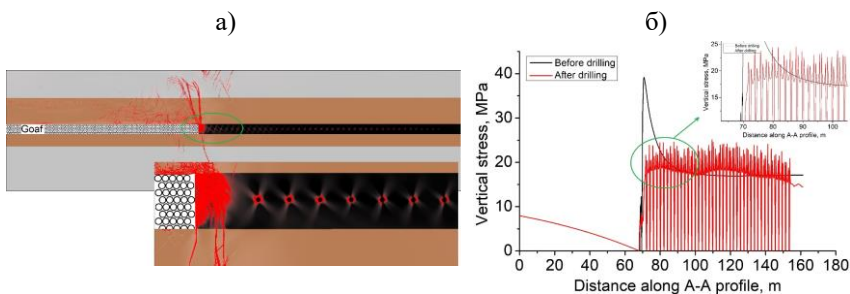


Рисунок 3 - Распределение неупругой деформации в окрестностях разгрузочных скважин (а), изменение эпюры опорного давления в результате бурения разгрузочных скважин (б) для диаметра скважин 300 мм и расстояние между скважинами порядка 2 м

В работе на основе полученных результатов моделирования предложен интегральный критерий удароопасности (1), который позволяет выполнить оптимизацию технологии бурения разгрузочных скважин.

$$K_{Irb} = \frac{1}{l_{di}} \int_0^{l_{di}} \frac{\sigma_v}{\sigma_{rf}} dx \quad (1)$$

где  $l_{di}$   $l_{di}$  представляет собой ширину области динамического влияния опорного давления,  $\sigma_v$  значение вертикального напряжения в точке в пределах области динамического влияния опорного давления,  $\sigma_{rf}$  значение вертикального напряжения на границе области (удаленного поля).

## Список литературы

1. Eremin M, Peryshkin A, Esterhuizen G, Pavlova L, Fryanov V. Numerical Analysis of Pillar Stability in Longwall Mining of Two Adjacent Panels of an Inclined Coal Seam, Applied Sciences, 2022, Vol. 12 (21), p. 11028.
2. Gu S., Chen C., Jiang B., Ding K., Xiao H. Study on the Pressure Relief Mechanism and Engineering Application of Segmented Enlarged-Diameter Boreholes, Sustainability 2022, Vol. 14, p. 5234.
3. Klishin V.I., Opruk G.Yu., Cherepov A.A. Complex method of pressure burst hazard mitigation in coal mines, Ugol' – Russian Coal Journal, 2018, Vol. 9, pp. 56-62.
4. Li Y., Sun D., Zhao S., Liang K., Cui K., Wang H. Investigation of Pressure Relief Borehole Effects Using In Situ Testing Based on Distributed Optical Fibre Sensing Technology, Advances in Civil Engineering, 2021, Article ID 8847500, 11 p.
5. Recommendations on safety of underground mining of rockburst-prone coal seams, Moscow, ZAO NTC PB, 2017. (in Russian)
6. Xu Y., Wang L., Chen X., Fan Y. Improvement of drilling quality using precision directional drilling technology, J Petrol Explor Prod Technol, 2022, Vol. 12, pp. 3149–3164.
7. Yavorskii V.I. Geology of coal deposits and oil shale of the USSR. Volume 7. Kuznetsky, Gorlovsky basins and other coal deposits of Western Siberia, Nedra, 1969, 912 p. (in Russian).

**УДК 622.831.322:63**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ «КАЛИНОВСКАЯ–ВОСТОЧНАЯ»

**Лобков Н.И., Радченко А.Г.**

*ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк*

### **Состояние вопроса.**

Массив осадочных горных пород, представленный породными слоями песчаников, глинистых, песчаных сланцев и известняков и др., является слоистым и неоднородным [1; 2]. Геологические и тектонические процессы, происходящие ранее в земных недрах, способствовали неравномерному распределению физико-механических, газокинетических свойств геологических слоев и их напряженно-деформированного состояния. В процессе выемки угольного пласта породные слои изгибаются над выработанным пространством, что приводит к разрушению пород и дополнительным изменениям их прочностных характеристик.

Установлено, что изгиб породного слоя в пределах упругости формирует зону опорного давления впереди очистного забоя. Породный слой работает как рычаг, короткая сторона которого поднимается над угольным пластом и разгружает пласт от напряжения выше лежащего горного массива. В процессе этого пласт разрушается и образуется зона скопления свободного метана на газоносных угольных пластах. Эти локальные зоны не могут быть обнаружены в процессе проведения геологоразведочных работ.

При проектировании горных работ для определения технологических параметров разработки угольных пластов необходимо иметь четкое представление о расположении зон измененных прочностных характеристик в породных слоях и угольных пластах. Использование расчетных методов, основанных на представлении породного массива как сплошного и однородного, приводит к ошибкам расчетных величин до 60–70%. В связи с этим, при расчетах необходимо учитывать слоистое строение горного массива и прочностные свойства каждого отдельного породного слоя.

Поэтому, **целью данной работы** является исследование прочностных свойств породного слоистого массива в конкретных горно-геологических условиях.

**Статистические исследования прочностных свойств угленородного массива в условиях шахты «Калиновская-Восточная».**

Шахта «Калиновская – Восточная» ПО «Макеевуголь» расположена в северо-западной части г. Макеевки Донецкой области. Шахта сдана в эксплуатацию в 1957 году. Общая площадь шахтного поля составляет 14 км<sup>2</sup>. Горный отвод шахты характеризуется сложным геологическим и тектоническим строениями. Крупными тектоническими структурами в пределах горного отвода шахты являются: Итальянский, Калиновский, Первомайский, Французский надвиги, надвиги Каменский, №9 и №10, сброс Западный, Калиновский сброс и т.д. На балансе шахты состоит 18 угольных пластов, в настоящее время горные работы ведутся только по пласту  $\ell_1$ .

Исходные данные по показателю предел прочности пород на сжатие  $\sigma_{сж}^* \cdot 10^{-5}$  Па для разных геологических слоев были взяты из работы [3]. Данные по показателю  $\sigma_{сж}$  были получены путем выполнения акустического каротажа геологоразведочных скважин, буримых на площади горного отвода шахты и соседних прилегающих участках. По данным геологоразведочных скважин, пробуренных на участке горного отвода шахты «Калиновская–Восточная», по пластам  $\ell_3$ ;  $\ell_2^1$ ;  $\ell_1^1$  и  $\ell_1$  были проанализированы в пределах шахтного поля изменения показателя -  $\sigma_{сж}$

для слоев непосредственной и основной кровель и почв указанных четырех пластов. При выполнении анализа изменения прочностных свойств геологических слоев также сравнивали типы слоев по следующим парам статистических выборок: 1) угли – аргиллиты; 2) аргиллиты – алевролиты; 3) алевролиты – песчаники. Сравнение пар статистических выборок осуществлялось по критерию Стьюдента согласно работе [4]. Статистические показатели по сравниваемым типам слоев приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Основные статистические показатели по сравниваемым типам слоев**

Типы слоев	Кол-во измерений, ед.	Средн. арифметическое	Стандарт	Степени свободы - K	$t_{\phi}$	$t_{ст}$	$\alpha$ , %
1. угли	31	119	31,07	Для выборок 1 –2 K = 86; $t_{\phi}= 8,87$ ; $t_{ст}=3,42$ ; $\alpha=0,1$			
2. аргиллиты	58	325	126,78	Для выборок 2 –3 K= 117; $t_{\phi}=10,68$ ; $t_{ст}=3,37$ ; $\alpha=0,1$			
3. алевролиты	62	592	144,10	Для выборок 3 –4 K= 98; $t_{\phi}=11,26$ ; $t_{ст}=3,39$ ; $\alpha=0,1$			
4. песчаники	38	1096	301,21				

Статистические выборки «угли – аргиллиты» сравнивались между собой по критерию Стьюдента согласно [4]. Количество степеней свободы  $K$  рассчитывали по формуле:

$$K=n_1+n_2-2; \quad (1)$$

Ошибка разности средних арифметических значений –  $S_d$  показателя  $\sigma_{сж}$  определялась для не равночисленных выборок по следующей формуле из работы [4]:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X_{1cp})^2 + \sum (X_i - X_{2cp})^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left( \frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2} \right)}; \quad (2)$$

При этом ошибка разности средних арифметических значений составила  $S_d=23,3$ ; а разность средних значений выборок составила  $D=206$ . В данном случае фактическое нормированное отклонение составляет:  $t_{факт} = \frac{D}{S_d}$ . Тогда,  $t_{факт}=8,87$ , а статистическое нормированное

отклонение составило:  $t_{\text{стат}}=3,42$  для высокого уровня значимости  $\alpha=0,1\%$ . Так как  $t_{\text{факт}} > t_{\text{стат}}$ , то нулевая гипотеза –  $H_0$  отвергается и с высокой степенью достоверности  $P=99,9\%$  можно утверждать, что статистические выборки «угли – аргиллиты» существенно различаются по средним арифметическим значениям согласно критерия Стьюдента. Аналогичные расчеты были выполнены по парам статистических выборок: «аргиллиты – алевролиты», «алевролиты – песчаники», смотри таблицу 1.

Из таблицы 1 следует, что типы анализируемых слоев существенно различаются между собой по показателю предел прочности пород на сжатие –  $\sigma_{\text{сж}}$ . Таким образом, особенности поведения и изменения прочностных свойств каждого отдельного породного слоя кровли и почвы угольных пластов следует анализировать отдельно и с учетом очередности их залегания относительно разрабатываемого пласта.

**Выводы.** Выполненный статистический анализ изменения прочности вмещающих пород показал, что по показателю  $\sigma_{\text{сж}}$  слои углей, аргиллитов, алевролитов и песчаников существенно различаются между собой с высокой степенью достоверности. При исследованиях геомеханических процессов, протекающих в подработанном лавами горном массиве, необходимо учитывать прочностные характеристики каждого отдельного породного слоя с учетом очередности залегания слоев относительно разрабатываемого угольного пласта [5].

### Список литературы

1. Канлыбаева Ж.М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве [Текст] / Ж.М. Канлыбаева. Изд-во «Наука», 1968. – 108 с.
2. Лобков Н.И. Геодинамические основы формирования опорного давления в результате подвигания очистных забоев [Текст] / Н.И. Лобков, А.Г.Радченко // Журнал теоретической и прикладной механики. – Донецк, ДонНУ, 2023. – № 3 (84). – С. 132–139.
3. Геологический отчет о переоценке запасов каменных углей поля шахты «Калиновская – Восточная» ПО «Макеевуголь» (подсчет запасов по состоянию на 01.01.1989 г.) в 10 книгах, четырех папках. Книга 2. МУП СССР, ПО «Укр-углегеология», Макеевская геолого-разведочная экспедиция. Текст отчета, Донецк, –1989.– 166 с.
4. Лакин Г.Ф. Биометрия: Учеб. пособие для биол. спец. вузов – [Текст] / Г. Ф. Лакин, 4-е изд., перераб. и доп. – М., «Высшая школа», 1990. – 352 с.
5. Минеев С.П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: [монография], [Текст] / С.П. Минеев, А.А. Рубинский, О.В. Витушко, А.Г. Радченко // Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010.– 603с.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТИПОВЫХ КРИВЫХ  
ОСЕДАНИЯ В ПОЛУМУЛЬДЕ СДВИЖЕНИЯ****Кулибаба С.Б., Федоров Е.В.***ИПКОН РАН*

В методике расчета ожидаемых оседаний земной поверхности, регламентируемой действующими в РФ «Правилами охраны...» [1], для прогноза их распределения в полумульде сдвижения использован метод типовых (единичных) кривых функции оседания  $S(z, N)$ , где  $z$  представляет собой текущую относительную линейную координату точки в полумульде, а  $N$  определяет степень подработанности земной поверхности. Одним из основных недостатков данной методики является задание этих кривых в табличной форме для ряда фиксированных значений  $z$  и  $N$ , что снижает точность расчетов, особенно при совместном влиянии нескольких очистных выработок, в т.ч., в разных пластах.

Лишенная указанного недостатка математическая функция, описывающая распределение типовых кривых оседания в полумульде сдвижения, должна отвечать следующим основным требованиям:

→ она должна зависеть одновременно от двух параметров – относительной линейной координаты  $z$  расчетной точки в полумульде и степени подработанности земной поверхности  $N$  в рассматриваемом главном сечении мульды сдвижения, и представлять из себя гладкую функцию второго порядка, т.е., быть дважды дифференцируемой в интервале  $1 \leq z \leq 0$ ;

→ ее значения в узловых точках должны быть максимально приближены к значениям, заданным в табличной форме для основных угольных месторождений РФ действующим нормативно-методическим документом [1];

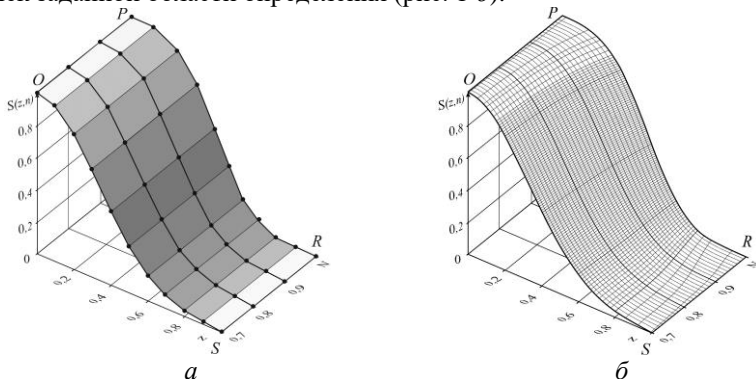
→ в точке максимального оседания мульды сдвижения ( $z=0$ ) значение этой функции должно быть равно единице, а значение ее первой производной по  $z$ , с помощью которой рассчитывают типовые кривые наклонов и абсолютных горизонтальных сдвижений, должно быть равно нулю;

→ в граничной точке мульды сдвижения ( $z=1$ ) значения данной функции и ее первых двух производных должны быть близки к нулю.

Следует подчеркнуть, что последнее требование отличается от положений действующей методики расчета, где в граничной точке мульды сдвижения полагается равенство  $S(z)=0$  при  $z=1$ . Однако для корректного соблюдения такого требования должно выполняться условие точного

определения локализации этой границы на земной поверхности, чего, к сожалению, на практике нет [2], – реальные границы влияния очистной выработки шире тех, которые определяет действующая методика. Поэтому несоблюдение указанного строгого равенства в граничной точке мульты, определенной согласно [1], является вполне допустимым условием.

На графике функции  $S(z, N)$ , представляющем собою поверхность  $OPRS$  (рис. 1), наглядно продемонстрирована разница между результатами расчета ее значений соответственно при табличном и аналитическом методах описания. Очевидно, что если в первом случае из всего множества значений функции точные результаты расчета определяются лишь в 44-х узловых точках данной поверхности, а в остальных прогнозируемые величины рассчитываются путем линейной интерполяции между этими узловыми точками по каждому из двух влияющих параметров (рис. 1 а), то во втором – при аналитическом расчете по искомой формуле – ее значение может быть вычислено для любой из множества точек заданной области определения (рис. 1 б).



**Рисунок 1 - Графики зависимости  $S(z, N)$  при табличном (а) и аналитическом (б) описании функции единичных оседаний**

Анализ табличного распределения значений типовых кривых позволил найти следующее аналитическое выражение функции  $S(z, N)$ , отвечающее вышеперечисленным требованиям:

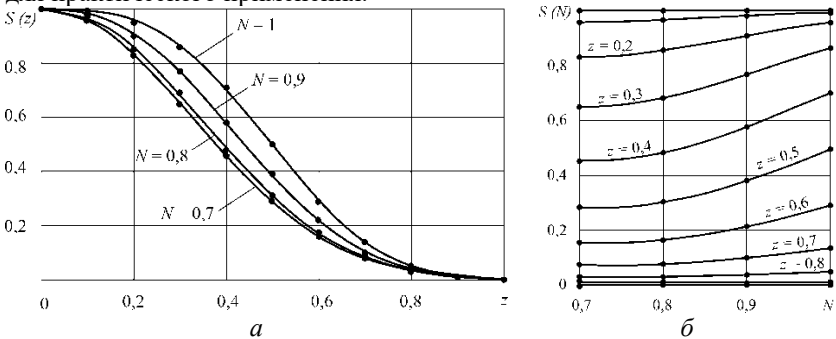
$$S(z, N) = e^{B_0 z^{B_1}}, \quad (1)$$

где  $z=x/L$ , ( $x$  – расстояние от центра мульты сдвижения до расчетной точки,  $L$  – длина полумульты сдвижения в данном сечении, рассчитываемая по [1]);  $N=N_{1(2)}$  – коэффициент, учитывающий степень подработанности земной поверхности в одном из двух главных сечений мульты сдвижения;  $B_0$  и  $B_1$  – функции, зависящие от  $N$ :

$$\begin{cases} B_0 = f_1(N) = b_{00} + b_{01}N + b_{02}N^2 + b_{03}N^3 \\ B_1 = f_2(N) = b_{10} + b_{11}N + b_{12}N^2 + b_{13}N^3, \end{cases}$$

где  $b_{ij}$  – эмпирические коэффициенты, определяемые для каждого угледобывающего региона путем аппроксимации соответствующих табличных значений функции типовых кривых.

Для оценки точности предлагаемого способа нами было проведено сравнение значений функции  $S(z, N)$ , рассчитанных двумя методами, для основных угольных месторождений РФ. Так, на рис. 2 проведено сопоставление ее графиков для условий Донбасса, результат которого показал, что их общее СКО по всему спектру изменений аргументов ( $0 \leq z \leq 1,0$ ) и  $0,7 \leq N \leq 1,0$ ) не превышает 0,004, что вполне приемлемо для практического применения.



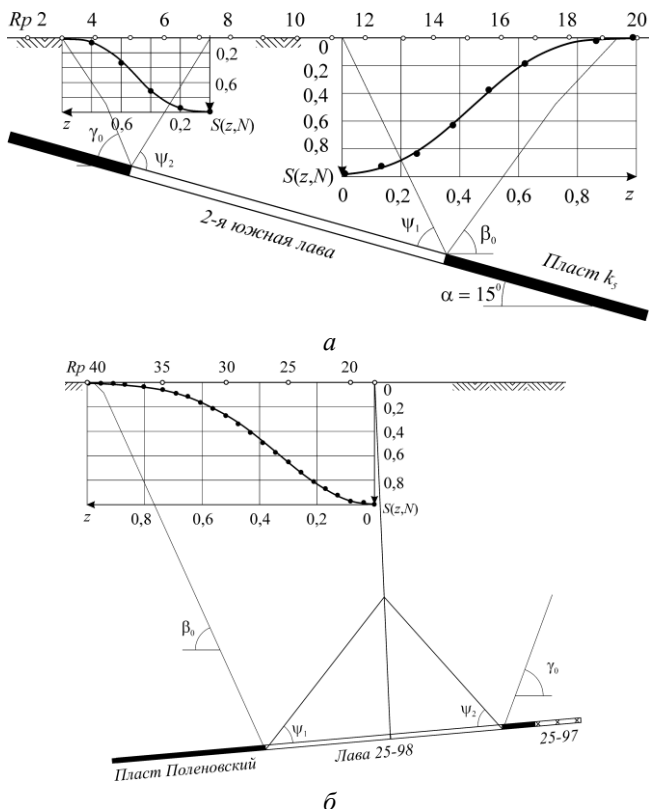
**Рисунок 2 - Сравнение графиков расчетных и табличных значений зависимости  $S(z, N)$ : а – от относительной линейной координаты  $z$ ; б – от коэффициента, учитывающий степень подработанности земной поверхности  $N$**

Кроме того, нами были сопоставлены величины единичных кривых оседания, рассчитанных по формуле (1), с фактическими их значениями для ряда натуральных наблюдательных станций. На рис. 3 показаны результаты такого сопоставления в условиях разной степени подработанности земной поверхности для шахт №1 «Роднинская» (Донбасс) и им. С.М. Кирова (Кузбасс), которые подтверждают достаточно высокую точность совпадения расчетов с фактом.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлены вид и параметры аналитического выражения, описывающего функцию типовой кривой оседаний в полумульде сдвижения подрабатываемой земной поверхности для основных угольных месторождений РФ. В отличие от ряда существующих аналогичных способов задания этой функций разработанный метод обладает рядом преимуществ, основным



из которых является одновременный учет обоих влияющих параметров – относительной линейной координаты  $z$  в полумульде сдвига и степени подработанности земной поверхности  $N$  в каждом из главных ее сечений.



**Рисунок 3 - Сравнение расчетных и фактических единичных кривых оседания на шахтах шахт: а – № 1 «Роднинская» (Донбасс); б – им. Кирова (Кузбасс)**

### Список литературы

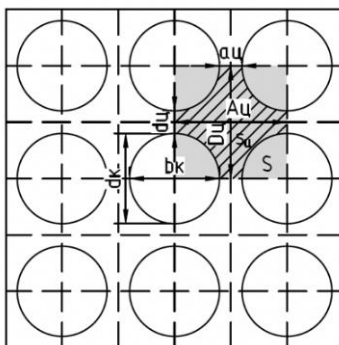
1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – С.-Петербург, ВНИМИ, 1998. – 291 с.
2. Кулибаба, С.Б. Анализ распределения оседаний земной поверхности в краевой части мульды сдвига / С.Б. Кулибаба // Проблемы горного давления. – Донецк: ДонНТУ. – 2003. – № 10. – С. 38-47.

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СОЛЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ОЧИСТНЫМИ КАМЕРАМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Косырева М.А., Еременко В.А.

*НИТУ МИСИС*

Новый геотехнологический подход и принципы построения альтернативной конвергентной геотехнологии освоения соляных месторождений, основанные на идее изменения направления движения фронта очистной выемки реализуются в виде перехода от отработки полезного ископаемого горизонтальными камерами к вариантам восходящей или нисходящей их отработки вертикальными камерами цилиндрической формы методом выбуривания [1, 2]. Для расчетов устойчивости МКЦ за основу принята гипотеза Турнера-Шевякова для традиционных условий применения камерных систем разработки с оставлением МКЦ и вертикальных камер цилиндрической формы с оставлением целиков с отсекаемыми окружностями углами (рис. 1) [3].



**Рисунок 1 - Технологическая схема камерной системы разработки с оставлением МКЦ с отсекаемыми вертикальными камерами цилиндрической формы углами и квадратной сеткой расположения камер для условий применения сотовых горных конструкций.**  
 $b_k$  – ширина камеры ( $b_k=d_k$ );  $d_k$  – длина камеры ( $d_k=b_k$ );  $a_{ц}$  – ширина целика (для сотовых конструкций минимальная ширина целика  $a_{ц}$ , максимальная ширина целика  $A_{ц}$ );  $d_{ц}$  – длина целика (для сотовых конструкций минимальная длина целика  $d_{ц}$ , максимальная ширина целика  $D_{ц}$ ) (для сотовых конструкций  $a_{ц}=d_{ц}$ ;  $A_{ц}=D_{ц}$ )

Разработана методика аналитических расчетов для определения устойчивости конструктивных элементов сотовых горных конструкций МКЦ

и определены условия ограниченности применения метода Л.Д. Шевякова для традиционных и новых систем [4].

С учетом коэффициента запаса прочности в варианте системы разработки с применением вертикальных камер цилиндрической формы минимальная ширина целика составит:

$$a_{ц} = -b_{к} + b_{к} \sqrt{\frac{\pi}{4\left(1 - \frac{\pi H \gamma}{R_{ц} - n h_{ц} \gamma_{ц}}\right)}}, \text{ м}$$

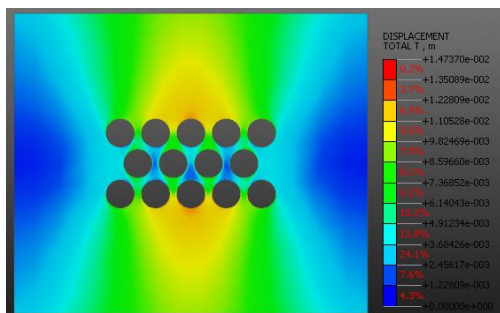
где  $H$  – глубина залегания целиков от земной поверхности, м;  $\gamma$  – средневзвешенный удельный вес налегающей толщи пород над целиками,  $\text{Н/м}^3$ ;  $n$  – коэффициент запаса прочности целика;  $h_{ц}$  – высота целика, м;  $\gamma_{ц}$  – удельный вес породы в целике,  $\text{Н/м}^3$ ;  $R_{ц}$  – предел прочности породы целика на сжатие,  $\text{Н/м}^2$ .

Если выражать размер целика не через минимальную  $a_{ц}$ , а максимальную его ширину  $A_{ц}$ , то:

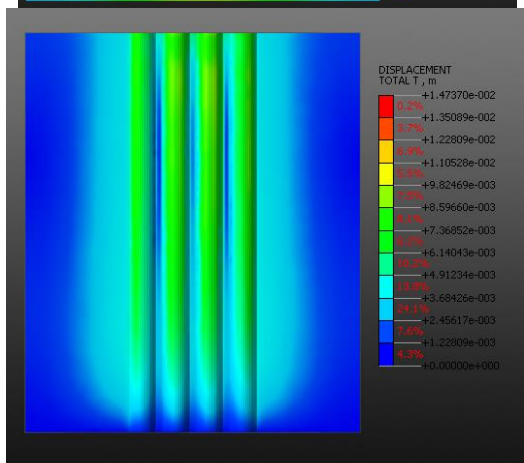
$$A_{ц} = \sqrt{\frac{\frac{\pi b_{к}^2}{4} \left( \frac{R_{ц}}{n H \gamma} - \frac{h_{ц} \gamma_{ц}}{H \gamma} \right)}{\frac{R_{ц}}{n H \gamma} - \frac{h_{ц} \gamma_{ц}}{H \gamma} - 1}}, \text{ м.}$$

Представлен выборочный вариант численного моделирования НДС МКЦ с отсекаемыми вертикальными камерами цилиндрической формы углами и квадратной сеткой расположения камер для условий применения сотовых горных конструкций на глубине 1000 м. Результаты численного моделирования, которое проводилось с использованием апробированной программы Midas (рис. 2) и физического моделирования НДС МКЦ с отсекаемыми вертикальными камерами цилиндрической формы углами и квадратной сеткой расположения камер для условий применения сотовых горных конструкций, а также наблюдения в шахтных условиях за выработками круглого сечения показали весьма их устойчивое состояние в различных горно-геологических условиях отработки соляных месторождений. При это параметры конструктивных элементов сотовых горных конструкций позволяют уйти от эксплуатационных потерь балансовых запасов в МКЦ с 50-80 до 30-45%. В настоящее время эти исследования завершаются, готовится отчет и публикации по результатам моделирования и натурных наблюдений.

а)



б)



**Рисунок 2 - Результаты численного моделирования в программе Midas НДС сотовой горной конструкции с определением максимальных смещений вмещающего массива на глубине  $H=1000$  м (а – горизонтальный разрез в центре блока/модели размерами  $60 \times 60 \times 60$  м, б – вертикальный разрез модели). DISPLACEMENT TOTAL T – максимальные смещения на завершающей расчетной стадии: спектр цветов (диапазон смещений)  $0.000000.0147$  м**

### Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Мясков А.В., Галченко Ю.П., Еременко В.А. Обоснование и создание конвергентных горных технологий подземной разработки мощных месторождений твердых полезных ископаемых // Горный журнал. - №5. – 2019. – С. 6-13.
2. Галченко Ю.П., Еременко В.А. Природно-технические системы подземной разработки рудных месторождений на основе конвергентных горных технологий: Монография. 2-е изд., доп. И перераб. / Отв. редактор академик В.Н. Захаров. – М.: Издательство «Горная книга», 2023. – 288 с.

3. V.A. Eremenko, V.A. Vinnikov, A.S. Pugach, M.A. Kosyreva Substantiation of rib pillar sizes for rock salt mining in vertical cylindrical stopes arranged at the nodes of regular triangular pattern. Eurasian mining, 2023, No. 2, pp. 56-62.

4. Еременко В.А., Винников В.А., Пугач А.С., Косырева М.А. Обоснование размеров междукамерных целиков при разработке соляных месторождений вертикальными очистными камерами цилиндрической формы // Горный журнал. – 2024. – № 1. – С. 29-38.

**УДК: 622.235**

## **МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ВЗРЫВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОСТОЯНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД**

**Закалинский В.М., Шиповский И.Е., Мингазов Р.Я.**

*ИПКОН РАН*

**Аннотация.** Практика горных технологий при разработке месторождений полезных ископаемых свидетельствует о тенденции развития ее различных аспектов, включая решение многолетних проблем горного производства. В настоящей статье дана прогнозная концепция научно-обоснованного решения ряда вопросов технологического характера, связанных с использованием действия взрыва. В рамках данного исследования рассмотрены особенности направленного действия, влияющие на объемную и временную масштабность добычи полезных ископаемых, а также разработки соответствующего инструментария для реализации цели данного рассмотрения. В частности, для технологического эффекта направленного взрывания показаны результаты взрыва скважинного заряда в форме различных видов пучка сближенных зарядов и механизм действия взрыва. Варьирование конфигурациями и междурядными замедлениями установило новые возможности направленного действия. В работе представлено компьютерное моделирование данного взрывного процесса, численный метод сглаженных частиц (SPH), анализ результатов позволил получить оценочные выводы.

**Ключевые слова.** Взрыв, пучковые заряды, конструкция скважинного заряда, диаметр заряда, проблемы горного производства, компьютерное моделирование, направленное взрывание, нестабильность компонентов систем разработки.

**Введение.** Известно, что с увеличением глубины разработки месторождений полезных ископаемых изменяются горно-геологические условия, что может сопровождаться возрастанием длительности добычи [1]. Такое состояние оказывает различное, в том числе негативное влияние на процессы горного производства. Анализ многолетней горной практики показал наличие ряда проблем технологического характера,

связанных с буровзрывными работами (БВР). Поскольку этот процесс сопровождается большинством способов разработки полезных ископаемых, его совершенствование может существенно повысить их эффективность [2]. На рис.1 представлена структура некоторых многолетних проблем горного производства с взрывными работами и их негативными особенностями.



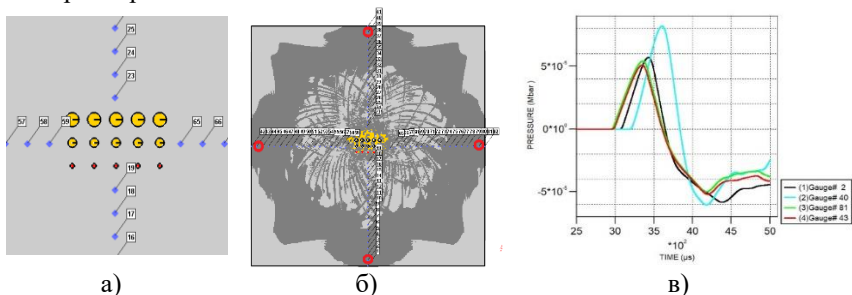
**Рисунок 1 - Структура некоторых многолетних проблем горного производства с взрывными работами**

В горной практике данные проблемы решаются различными способами произвольного характера. Проблема заключается в принципиально уменьшенном количестве массовых взрывов на некоторых горных предприятиях, когда вместо традиционных, условно мелкомасштабных еженедельных массовых взрывных работ, можно перейти на один крупномасштабный разовый взрыв с другим временем его реализации. В ИПКОН РАН ведутся научно-технические исследования по предотвращению подобных последствий. Следует отметить наличие аналогичных проблем и в зарубежной практике, когда добыча полезных ископаемых с увеличенным количеством мелкомасштабных БВР сопровождается рядом негативных факторов как для окружающей среды, так и здоровья горнорабочих.

Для решения подобных проблем, возникающих при массовом использовании взрывных работ, могут одновременно рассматриваться различные аспекты, включая достижение требуемого гранулометрического состава в соответствующих направлениях или участках массива. В этой связи рассмотрена идея разработки нового заряда взрывчатых веществ особой конструкции, воспроизводящий единый заряд заданной массы и энергии путём его рассредоточения в нескольких разноформенных и одновременно детонирующих сближенных рядах скважинных зарядов. Механизм такого взрывного процесса существенно отличается от стандартной картины.

**Экспериментальная часть.** Экспериментальная часть исследования включала в себя проведение компьютерного моделирования краевой задачи, анализ полученных неоднородностей в горной породе и волновой картины в окружающих ее материалах. В ИПКОН РАН разработан способ направленного действия взрыва и выполнены исследования методом компьютерного моделирования. Это достигается за счет особенностей, таких как короткозамедленное последовательное (междурядное, разновременное) инициирование, применение взрывчатых материалов, таких как игданит или его вариантов с различными скоростями детонации, и других. Применение данного подхода при моделировании поведения горного массива во время крупномасштабного взрывного процесса позволяет получить достоверные результаты.

Следующая серия компьютерного моделирования, показанная на рис. 2 отличалась разновременностью детонаций, их направлением при взрыве сближенных зарядов различного диаметра, а так же количеством рядов и ВВ (ANFO). Как видно из графика - заметно определенное развитее процесса разновременного направленного взрывания, зависящее от параметров системы.



**Рисунок 2 - Результаты компьютерного моделирования направленного действия взрыва сплошных скважинных зарядов различного диаметра: а) схема системы разновременного взрывания рядов сближенных зарядов (красные точки - места расположения детонаторов); б) характер зон пластической деформации породы (красные кружки - места расположения точек измерения значений параметров); в) зависимости изменения величины первого инварианта тензора напряжений от времени в указанных (б) характерных точках**

**Обсуждение результатов, выводы.** Выполненное исследование показывает принципиальную возможность решения многолетних проблем горного производства, связанных с использованием действия взрыва, разработкой концепции и ее научно-технического и технологического обоснования. Исследование методом компьютерного моделирования на основе сглаженных частиц (SPH) показало принципиальную

возможность использования направленного действия взрыва и его особенностей для регулирования (управления) технологическими и геомеханическими процессами горного производства.

#### Список литературы

1. Каплунов Д.Р., Радченко Д.Н., Федотенко В.С., Лавенков В.С. Оценка эффективности перехода подземного рудника к новому технологическому укладу с ростом глубины горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 12. – С. 5-15. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-5-15.

2. Викторов С.Д., Закалинский В.М., Шиповский И.Е., Мингазов Р.Я. Влияние направленного взрывания на технологию разработки и геомеханическое состояние массива на больших глубинах. – ФТПРПИ. – 2024. – № 2.

**УДК 622.83:622.016**

### **АПРОБАЦИЯ НОВОГО ПОДХОДА К ПРОГНОЗУ ПРОВАЛООБРАЗОВАНИЯ В ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЗОНЕ ОБВОДНЕННЫХ МАССИВОВ**

**Хохлов Б.В., Рожко М.Д.**

*ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донец*

Провалообразование наносит значительный ущерб инфраструктуре территорий городов и объектам сельского хозяйства. Прогноз места, времени и параметров провала в условиях техногенно измененного массива горных пород является весьма сложной задачей с учетом количества влияющих факторов и их непредсказуемости. В РАНИМИ разработан новый подход к прогнозу провалообразования в приповерхностной зоне обводненного массива, позволяющий локализовать предполагаемый провал в пространстве и времени над старыми горными выработками. Использование данного подхода возможно также на действующих шахтах на крутых пластах, так как может обеспечить максимальную выемку угля и не допустить сползания целика в выработку. Такой подход был применен для определения глубины заложения вентиляционного штрека верхнего горизонта шахты «Восточная».

Мощность наносов в районах выходов пластов составляет 1-7 м. Поле шахты не осложнено тектоническими нарушениями, отрабатываемые пласты  $k_4^1$  и  $k_5$  имеют мощности соответственно 0,9 и 0,95 м со средним углом падения  $63^\circ$ . Пласты отрабатываются в нисходящем порядке сплошной системой разработки при двухстороннем этажном порядке отработки без разделения на подэтажи (лава-этаж) с доставкой вынутого угля на главный наклонный ствол. Длина лавы – 100 м, способ



управления кровлей – удержание на кострах. Глубина отрабатываемого участка горного массива, составляет 400 м.

Ведение горных работ на малых глубинах может вызывать сосредоточенные сдвиги и деформации земной поверхности в виде уступов и провалов с образованием воронок в районах выходов разрабатываемых угольных пластов. Проведем оценку степени влияния горных работ на деформации земной поверхности по факторам провалообразования.

При крутом залегании угольных пластов процессы провалообразования в местах сосредоточения выработок в приповерхностной зоне имеют свои особенности. Существенное влияние на механизм сдвига пород и, соответственно, на сам процесс развития провалов оказывает угол падения пластов.

При пологом падении ( $\alpha < 25^\circ$ ) сдвиг пород происходит в форме прогиба слоёв подобно прогибу балок, защемлённых по двум концам, а при наклонном и крутом падении ( $25^\circ < \alpha < 65^\circ$ ) сдвиг пород происходит подобно прогибу наклонных консольных балок, защемлённых в основании. Вследствие этого при крутом залегании пластов горизонтальные сдвиги и деформации земной поверхности резко возрастают и становятся больше вертикальных сдвигов и деформаций в отличие от пологого залегания, где наблюдается обратная картина.

При углах падения  $\alpha > 65^\circ$  вместо прогиба слоёв происходит сдвиг пород висячего и лежащего боков в сторону выработки.

В висячем крыле процесс накопления обрушенного материала на почве выработки (пустоты) невозможен, т. к. при таких углах залегания происходит перепуск обрушенной массы вниз по падению на нижележащие горизонты. При этом механизм «самоподбучивания», когда разуплотнённые обрушенные породы заполняют пустоту до самого купола, не реализуется, и свод обрушения беспрепятственно перемещается в породной толще и образует провал на земной поверхности.

Наличие условий для перепуска обрушенных пород обуславливает образование повреждений земной поверхности в виде провала, как над протяжёнными, так и над очистными выработками. Именно такая схема развития провала свойственна для условий крутого залегания пластов шахты «Восточная»: горизонтальные составляющие процесса сдвига намного превышают вертикальные, зона образования провалов локализуется на выходах пластов.

Ширина опасной зоны на земной поверхности, в пределах которой возможно появление провалов, определяется как сумма проекции предельной глубины развития провала на земную поверхность  $H$  [1] и непосредственно диаметра провала на поверхности за счет обрушения наносов  $d$ .

Для условий шахты «Восточная» при угле падения пласта  $\alpha=63^\circ$ , наносов мощностью до 7 м и  $H=60$  м [1] максимальная ширина опасной зоны составляет 37 м. Эта зона представляет собой полосу, вытянутую вдоль выхода пласта на земную поверхность в пределах разрабатываемого участка.

Согласно исследованиям РАНМИ [2, 3] разрушение (сползание) целиков на выходах крутых пластов связано с потерей прочностных свойств угля и пород зоны выветривания при обводнении (как за счёт затопления при ликвидации предприятий, так и за счёт проникновения паводковых вод с земной поверхности).

Как правило, в первую очередь в выработанное пространство сползают небольшие целики, оставляемые для охраны наклонных шурфов и стволов, проведенных по пласту. Они сильнее подвержены процессу выветривания, обводнению и разрушению и, соответственно, быстрее теряют связь с боковыми породами за счёт своих малых размеров.

Характерным является пример провала на шахте №4 «Александровская» «Орджоникидзеуголь» в апреле 2004 г., близкий по условиям образования с шахтой «Восточная». Провал размером  $20 \times 7 \times 9$  м сформировался на выходе пласта  $h_{10}$  – Бабаковский с углом залегания  $70^\circ$  при сползании целика, оставленного над вентиляционным штреком горизонта 30 м в 1948 г. Согласно плану горных работ, разрушился и сполз по пласту один из межшурфенных целиков, размером  $12 \times 15$  м. Таким образом, чем больше размеры оставляемого целика, тем дольше разрушается целик.

Используя разработанную в РАНМИ нейронную сеть по прогнозированию провалов, можно определить время с момента заложения самой верхней выработки (в рассматриваемом случае – вентиляционного штрека) до разрушения оставленного над ним целика в зависимости от глубины его расположения. Оценка показывает, что в условиях шахты «Восточная» расположение вентиляционного штрека на глубине 40-50 м сможет обеспечить его долговременную устойчивость. Этот вывод согласуется с размером зоны опорного давления, определяющей ширину угольных целиков для охраны горных выработок от воздействия очистных работ [4]. Кроме того, имеющиеся в фондах РАНМИ результаты натуральных инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности, проводимых в схожих условиях (углы падения  $60-65^\circ$ , мощность наносов 8-10 м, минимальные глубины расположения вентиляционных штреков 40-50 м), не зафиксировали каких-либо концентраций сосредоточенных деформаций в районах выходов под наносы разрабатываемых угольных пластов.

Таким образом, с целью исключения провалообразования на земной поверхности при разработке угольных пластов  $k_4^1$  и  $k_5$  шахтой «Восточная»

в рассматриваемых условиях минимальная глубина  $H_{min}$  заложения вентиляционных штреков верхних горизонтов с учетом изменения рельефа земной поверхности может определяться как сумма минимальной глубины расположения вентиляционных штреков и высоты вентиляционного штрека:

$$H_{min}=40+h_{в.штр.}, \text{ м}$$

Данная методика применима как на закрытых шахтах для прогнозирования локализации и времени образования провала, так и на действующих, в частности для определения величины целика на верхних горизонтах.

### Список литературы

1. ПБ 07 269 – 98. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – С.-Петербург, ВНИМИ, 1998. – 291 с.

2. Хохлов Б.В. Методика построения и обследования зон, опасных по провалам / Б.В. Хохлов, В.А. Дрибан, С.В. Голдин, А.М. Терлецкий, М.Д. Рожко // Труды РАНМИ: сб. науч. тр. – Донецк, 2019. – № 7 (22). – С. 142-157.

3. Driban V. Vorhersage des erdoberflächeabsturzes oberhalb der alten kohlenrubenräumen / V. Driban, V. Nazimko, A. Feofanov, I. Khalymendyk // Altbergbau – Kolloquium. – Freiberg. – 04. bis 06. November 2010. – P. 391-400.

4. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Руководящий документ / РАНМИ. – Утв. Мин. угля и энергетики ДНР 15.04.21. – Донецк, 2021. – 267 с.

**УДК 622.33**

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

**Трофимов В.А., Филиппов Ю.А., Докучаева А.И.**

*ИПКОН РАН*

Гидроразрыв пласта можно в широком смысле определить как процесс, при котором трещина инициируется и распространяется под действием гидравлической нагрузки (т.е. давления), приложенной жидкостью внутри трещины [1]. Примеры и области применения гидро разрыва пласта в геомеханики многочисленны. В частности, гидро разрыв пластов нефти и газа с использованием смеси вязких гидравлических жидкостей и отсортированного песка (проппанта) [2] является наиболее часто используемым методом активного воздействия на пласт.

Даже в самом простом виде гидро разрыв пласта является сложным процессом для моделирования, поскольку он включает в себя, по крайней мере, три процесса: (i) механическую деформацию, вызванную

давлением жидкости на поверхности трещины; (ii) поток жидкости внутри трещины; и (iii) распространение трещины. Обычно деформация твердого тела (горных пород) моделируется с помощью теории линейной упругости, которая представлена интегральным уравнением, определяющим нелокальную зависимость между шириной трещины и давлением жидкости. Поток жидкости моделируется с помощью теории фильтрации, представленной нелинейным дифференциальным уравнением в частных производных, которое связывает скорость потока жидкости, ширину трещины и градиент давления. Критерий распространения трещины обычно задается традиционным подходом к скорости выделения энергии в теории линейной механики упругого разрушения (LEFM) (т.е. разрушение распространяется, если коэффициент интенсивности напряжений на кончике соответствует ударной вязкости породы, либо значение  $J$ -интеграла достигает критической величины для заданных условий разрушения – используется в статье).

«Типичная» отработка гидроразрыва пласта начинается с создания начальной траектории для трещины. Обычно это достигается с помощью метода, называемого «перфорацией», при котором специально разработанные кумулятивные заряды взрываются на стенках ствола скважины с заданной ориентацией, перфорируя обсадную колонну и создавая на некоторую глубину пальцеобразные отверстия или слабые места в насыщенном углеводородами пласте. Вязкая жидкость закачивается внутрь ствола скважины, вызывая резкий подъем давления, что в конечном итоге приводит к возникновению трещины в перфорированном интервале. Сначала обычно закачивается «прокладка» чистой жидкости. Проппант вводится на более поздней стадии в виде суспензии. Процесс обычно проходит в диапазоне от десятков минут до нескольких часов, в зависимости от предполагаемого размера трещины и объема пропантанта, который необходимо ввести. По окончании обработки происходит откачка жидкости, и когда откачка прекращается, утечка остаточной жидкости ГРП в пористый коллектор позволяет поверхностям трещины смыкаться насколько позволяет введенный в трещину пропант под действием сжимающих напряжений дальней зоны. При этом формируется флюидопроводящий канал.

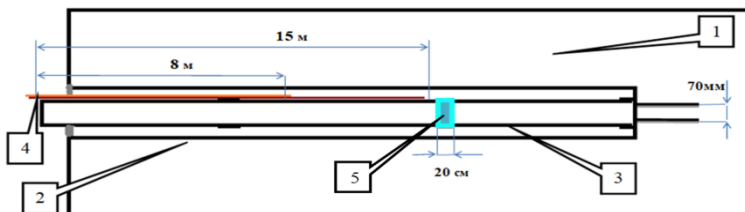
В представленной работе предпринята попытка численного моделирования в рамках вычислительного комплекса ANSYS с использованием алгоритма SMART распространения трещины гидроразрыва на начальном этапе, т.е. при закачке жидкости. Суть алгоритма состоит в измельчении и перестроении конечно-элементной сетки вблизи кончика распространяющейся трещины, что обеспечивает корректность описания процесса разрушения. В однородной среде трещина в силу симметрии постановки задачи распространяется прямолинейно на расстояние, определяемое критическими значениями  $K_I$  или  $J$ -интеграла. Движущим

фактором является давление, прилагаемое к стенкам трещины, которое имитирует воздействие закачиваемой жидкости. При этом давление возрастает постепенно шагами (100 шт.) в пределах от 0 МПа до максимального значения в 20 МПа. Серия расчетов позволяет установить взаимосвязь критического значения  $J$ -интеграла, предельного давления в трещине и ее протяженности. При повышении давления сверх предельного рост длины трещины фактически не наблюдается, но увеличивается расхождение ее берегов.

Пошаговый алгоритм позволяет моделировать не только возрастание давления в трещине, но и произвольный характер его изменения от шага к шагу. При этом если трещина находится в условиях роста (начальный зародыш трещины начинает расти только при достижении в трещине определенного давления), то при повышении давления ее длина накапливается (прирастает), а при сбросе - длина сохраняется, но уменьшается ее просвет вплоть до полного схождения берегов ввиду отсутствия пропантанта на данном этапе моделирования. В результате в массиве остается разрез нулевой толщины.

На рисунке 1 приведена общая схема решаемой задачи. Вода под давлением 10-20 МПа подается в трубу, помещенную в скважину с герметической обсадкой в местах перфорации трубы. При моделировании рассматривалось для демонстрации подхода развитие только одной трещины гидроразрыва в квази-3D постановке в квазистационарном режиме.

Рисунок 2 отображает некоторые результаты, а именно распределение смещений в массиве в направлении перпендикулярном развитию трещины (мм) на некоторый определенный момент времени (50 шагов развития трещины). В кончике трещины видно сгущение сетки – результат работы SMART.



**Рисунок 1 – Схема гидроразрыва пласта**

1 - угольный пласт, 2 - экспериментальная скважина под ПодЗГРП диаметром 132 мм, 3 - обсадная колонна диаметром 70 мм, 4 – шланги для подачи герметизирующих компонентов, 5- место перфорации трубы

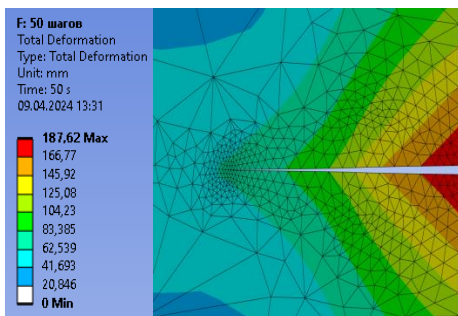


Рисунок 2 – Результаты моделирования

### Список литературы

1. Ptolemy (Claudius Ptolemaeus). с. 130. The almagest. Book III [transl. R.C. Taliaferro. 1938. Encyclopedia Britannica, Inc.London. Repr. 1952].
2. Mack MG, Warpinski NR. Mechanics of hydraulic fracturing. In:Economides, Nolte, editors. Reservoir stimulation. 3rded. Chichester;Wiley: 2000 [Chapter 6].

УДК 622.831.322:63

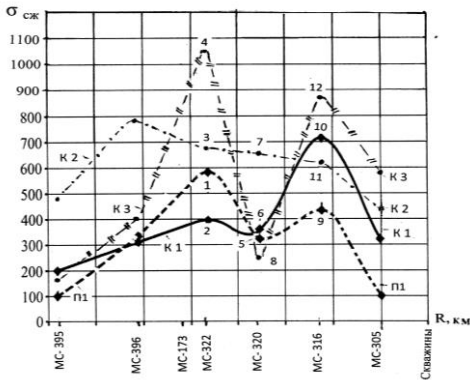
## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ПЛОЩАДЯМ В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОДАХ

Лобков Н.И., Радченко А.Г.

*ФГБНУ РАНИМИ, г. Донецк*

**Состояние вопроса.** Горный массив является слоистой, неоднородной, блочной средой. Геологическое строение углепородного массива, тектонические нарушения обусловили неоднородность его строения, привели к неравномерному перераспределению его физико-механических и газокинетических свойств. Также по площадям и с ростом глубины неравномерно распределена температура в угольных пластах и породных слоях. В работе [1] указывается, что на выбросоопасных участках температура угольных пластов повышена, но физическая сущность этого явления не объясняется. В горной литературе мало уделено вопросу неравномерного распределения температуры в угольных пластах и во вмещающих породных слоях. В связи с этим, **целями данной работы** являются: 1) выяснение физической сущности, факторов, обуславливающих неравномерное распределения температуры в угольных пластах и породных слоях; 2) исследование причин роста температуры на участках угольных пластов, которые потенциально опасные по газопроявлениям.

**Основные результаты.** Обзор литературы показал, что литологический состав угленосного массива играет важную роль в неравномерном перераспределении физико-механических, газокинетических свойств и напряженного состояния в угольных пластах и различных породных слоях. Исследование прочностных свойств породного слоистого массива было выполнено в Донецко-Макеевском геолого-промышленном районе в условиях шахты «Калиновская – Восточная» ПО «Макеевуголь». Исходные данные по изменению показателя предела прочности пород на сжатие – ( $\sigma_{сж} * 10^{-5}$  Па) по площадям для разных породных слоев (аргиллиты, алевролиты, песчаники) были взяты из работы [2]. Анализ изменения показателя  $\sigma_{сж}$  был выполнен по линии простирания разрабатываемого пласта  $\ell_1$  по следующему ряду геолого-разведочных скважин: МС-395 → МС-396 → МС-173 → МС-322 → МС-320 → МС-316 → МС-305 (рисунок 1). На рисунке 1 приведены графики изменения показателя  $\sigma_{сж}$  по следующим породным слоям: П1 - график изменения  $\sigma_{сж}$  в первом породном слое пород почвы; К1 - график изменения  $\sigma_{сж}$  в 1-м породном слое пород кровли; К2 - график изменения  $\sigma_{сж}$  во 2-м породном слое пород кровли; К3 - график изменения  $\sigma_{сж}$  в 3-м породном слое пород кровли. Из рисунка 1 следует, что по линии простирания пласта  $\ell_1$  наблюдаются волнообразные изменения показателя  $\sigma_{сж}$ . Так, по скважине МС-322 зафиксированы максимумы значений показателя  $\sigma_{сж}$ : а) в 1-м слое пород почвы (график П 1, точка 1); б) в 1-м слое пород кровли (график К 1, точка 2); в) во 2-м слое пород кровли (график К 2, точка 3); г) в 3-м слое пород кровли (график К 3, точка 4, где  $\sigma_{сж} = 1060 * 10^{-5}$  Па).



**Рисунок 1 – Графики изменения показателя  $\sigma_{сж}$  во вмещающих породах угольного пласта  $\ell_1$**

Аналогичные максимальные значения показателя  $\sigma_{сж}$  в породных слоях наблюдаются по скважине МС-316: а) в 1-м слое пород почвы

(график П 1, точка 9,  $\sigma_{сж} = 440 \cdot 10^{-5}$  Па ); б) в 1-м слое пород кровли (график К 1, точка 10); в) в 3-м слое пород кровли (график К 3, точка 12 значения показателя возрастают, где  $\sigma_{сж} = 870 \cdot 10^{-5}$  Па). В точках 5, 6 и 8 на графиках П1, К1, К3 происходит снижение значений  $\sigma_{сж}$ . Таким образом, горно-геологические условия в пределах шахтного поля по пласту  $\ell_1$  непрерывно изменяются, в породных слоях фиксируются следующие изменения: по мощности, по углам падения, по глубинам залегания; также происходит замещение одного породного слоя другим, наблюдается неравномерное изменение трещиноватости, степени нарушенности слоев, их влажности, температуры и прочностных свойств. Следует отметить, что по скважине МС-395 низким значениям показателя  $\sigma_{сж}$  породных слоев соответствует пониженное значение температуры 1-го породного слоя почвы -  $T=19,8^{\circ}\text{C}$ . Если по скважине МС-173 для слоя П1 температура составила  $T=22,8^{\circ}\text{C}$  при глубине  $H=784,2$  м; то по скважине МС-322 высоким значениям  $\sigma_{сж}$  пород кровли соответствует и повышенное значение для слоя почвы П1 температуры  $T= 29,3^{\circ}\text{C}$  при глубине  $H=785,8$  м. По скважине МС-316 высоким значениям  $\sigma_{сж}$  пород кровли соответствует и повышенное значение для слоя П1 температуры  $T= 27,0^{\circ}\text{C}$  при глубине  $H=773,4$  м.

**Обсуждение результатов.** В работе [3] были приведены карты изотерм температуры не тронутых горными работами вмещающих пород в угольных шахтах Катовицкого холдинга Weglowy на пяти уровнях глубины: - 450 м, -550 м, - 650 м, -750 м и -850 м. Показано, что температура вмещающих пород почвы на шахтах Польши изменяется по площадям и с глубиной неравномерно, мозаично, ячеисто. Это связано с неравномерным распределением напряжений в горном массиве. В работе [1] указывается, что в условиях ПО «Донецкуголь» для особо выбросоопасных угольных пластов  $h_7$ ,  $h_8$  и  $h_{10}$  участок пласта считается выбросоопасным при условии, что градиент температуры, измеренной в шпурах на глубинах 1 м и 2 м, превышает  $2,5^{\circ}\text{C}$ . Необходимо отметить, что с ростом температуры растут термонапряжения и давление газа в угольном пласте. В работе [4] приведены результаты измерений, выполненных в Центральном районе Донбасса на шахте «Юнком» по пласту «Подмазур» в комбайновой лаве на глубине  $H=716$  м. В работе [4] показано, что на участках повышенных напряжений (измерения в скважинах выполнялись с помощью гидродатчиков) наблюдается рост температуры угольного массива. Таким образом, установлена взаимосвязь роста температуры с ростом напряженного состояния горного массива. Участки с повышенными значениями температуры являются потенциально опасными по газодинамическим явлениям.



**Выводы.** Геологические условия, литология, тектоника являются важными факторами, обуславливающими изменение напряженно-деформированного, газодинамического состояний и температуры горного массива. Температура угольных пластов и вмещающих пород может быть использована в роли важного информативного показателя, характеризующего участки, потенциально опасные по проявлениям: повышенного опорного давления, газопроявлениям и внезапным выбросам угля и газа.

### Список литературы

1. Рыженко И.А. Прогноз выбросоопасности призабойной части пластов по температурному режиму [Текст] / И.А. Рыженко, И.Я. Еремин // Уголь Украины. – 1988. – № 3. – С. 36-38.

2. Геологический отчет о переоценке запасов каменных углей поля шахты «Калиновская – Восточная» ПО «Макеевуголь» (подсчет запасов по состоянию на 01.01.1989 г.) в 10 книгах, четырех папках. Книга 2. МУП СССР, ПО «Укр-углегеология», Макеевская геолого-разведочная экспедиция. Текст отчета, Донецк, – 1989. – 166 с.

3. Tsygankiewicz, Janusz. Isotherm Maps of Virgin Rock Temperature in Collieries of Katowicki Holding Węglowy режиму [Text] / Janusz Tsygankiewicz, Jozef Knechtel // December 2014. Journal of Sustainable Mining 13(4): p.1-4.

4. Фейт Г.Н. Особенности разрушения призабойной части угольных пластов на стадии подготовки и развития газодинамических явлений [Текст] / Г.Н. Фейт, О.Н. Малиникова // В кН.: Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках. – Симферополь: ТНУ, 2009. – С. 314-316.

**УДК 553.22:622.831**

## **МЕТАСОМАТОЗ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОСТИ/НЕУСТОЙЧИВОСТИ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД**

**Крюков В.Г.**

*ХФИЦ ДВО РАН, г. Хабаровск*

Проблема устойчивости/неустойчивости горных пород при освоении месторождений полезных ископаемых является наиболее актуальной в геомеханике. Отечественные недропользователи опираются на системы, разработанные западными специалистами [6, 7, 8]. Разработки российских ученых [1, 5] весьма сложны для практики. Как правило, рассматриваются различные особенности двух ведущих факторов: трещиноватости и параметров физико-механических свойств (ФМС) пород

и руд. Трещиноватость «считывается» в основном с керна, ФМС определяется по редким штуфам весьма неравномерно распределенных по массиву горных пород. Некоторые свойства (волнистость, протяженность трещин и др.) установить невозможно. Горняками практически не принимается во внимание результаты локальных и площадных метасоматических процессов в изменении прочностных характеристик горных пород.

Цель исследования заключается в анализе влияния метасоматоза на прочностные характеристики горных пород и в обосновании необходимости изучения продуктов метасоматоза при геомеханических построениях.

Фактический материал собран по различным типам месторождений полезных ископаемых: около 30 олова, 15 золота, 4 урана, 4 медно-порфириновых, 4 вольфрамовых, 2 железа, 1 алмазов. Для Амурской области и западной части Хабаровского края под руководством и непосредственном участии автора составлены карты метасоматитов. В зависимости от количества новообразованных минералов выделяются группы (в %): 1=до 25; 2=26-45; 3=46-65; 4=66-90; 5=91-100. Первая группа рассматривается как слабопроявленные метасоматиты, 2 – средней интенсивности, 3 и 4 – полнопроявленные метасоматиты, 5 – полостные метасоматиты.

Общие закономерности, полученные в результате исследований [2, 3, 4], заключаются в следующем:

- в пределах месторождений все породы в той или иной мере изменены под воздействием гидротермальных растворов. Этим обуславливаются вариации параметров ФМС в выборках, казалось бы, однотипных пород;

- площадной метасоматоз формирует относительно устойчивый массив горных пород. Исходные сланцы, туфы, слабосцементированные осадки преобразуются в монолитные альбитофиры, актинолититы, кварц-полевошпатовые метасоматиты, гидротермальные кварциты. При этом параметры ФМС возрастают в 1.5-3 раза;

- локальный метасоматоз калиевой специализации приводит к структурному «разрыхлению» пород, натриевой – к их упрочению. В результате гидротермальной переработки создаются трещины, жильно-прожилковые системы, умеренно влияющие на устойчивость массивов горных пород;

- в «порфириновых» системах метасоматоз приводит к формированию брекчий обрушения. Образуется своеобразный не сцементированный «щебень». Их линзообразные тела имеют мощность до 30-50 м и протяженность в первые сотни метров. Такие брекчии существенно влияют на устойчивость массива.

Месторождения гидротермального генезиса характеризуются развитием всех групп метасоматитов (гидротермалитов). Макро- и последующая микроскопическая диагностика новообразованных и исходных пород позволяют более точно выделять группы пород по устойчивости или группы с близкими значениями параметров ФМС. При этом обособляется довольно значительное число групп пород, что входит в противоречие с требованиями горняков-практиков, которым при эксплуатации целесообразно оперировать с 2-3 группами наиболее распространенных пород. Исследователям рекомендуется делать представительные выборки по всем группам пород с обязательным микроскопическим изучением для их диагностики с последующим объединением «родственных» образований.

Площадные (или дорудные) метасоматиты слагают пологолежачие тела как в пределах крупных структур, площадь более 1000 кв. км, так и в пределах отдельных рудных полей, площадь до 100 кв. километров. В пределах ультраосновных массивов развиты метаграниты, метагаббро и пироксениты. Для магматогенно-тектонических структур характерны роговики, биотититы, гранитоподобные метасоматиты и монцонитоиды (таблица). Исходные слабо сцементированные породы переходят в более прочные полнопроявленные метасоматиты. Доля таких пород в пределах месторождений колеблется от 7-10% до 50-60%. Их плащеобразные тела придают устойчивость всей конструкции. Кроме того, в рудных полях наблюдаются пропилиты и аргиллизиты, по количеству новообразованных минералов отвечающие слабо проявленным и средней интенсивности метасоматитам.

Таблица

**Физико-механические параметры пород**

1	Породы 2	Объемный вес, г/см <sup>3</sup> 3	Предел прочности, МПа	
			сжатие 4	растяжение 5
<b>Исходные породы</b>				
1	доломиты	2.67	38.6	3.86
2	аргиллиты, алевролиты	2.50	100.3	5.50
3	туфы	2.68	92.2	2.62
4	интрузивные породы	2.75	125.6	7.30
5	метаморфические сланцы	2.64	25.15	0.96
<b>Метасоматиты площадные</b>				
6	метаграниты	2.70	45.4	6.2
7	метагаббро	2.87	47.5	8.0
8	роговики	2.80	250.0	5.92
9	гранитоподобные	2.59	117.24	4.7

продолжение таблицы

1	2	3	4	5
10	монцодиоритоподобные	2.71	150.06	7.5
Метасоматиты локальные, околорудные				
11	пироксениты рудные	3.08	47.7	6.9
12	кварцевые альбититы и калишпатиты	2.52	41.09	2.21
13	актинолититы	2.73	139.5	6.23
14	березиты	2.70	87.84	3.5
15	хлорититы	2.77	97.61	3.3
16	углеродистые метасоматиты	2.65	136.5	6.0

*Примечание:* выборки пород представлены от 11-15 до 50-70 образцов по месторождениям золота, никеля, алмазов, медно-порфировым объектам

Локальные (околорудные) метасоматиты, исключая актинолитовые и углеродистые разности, характеризуются некоторым «разрыхлением» пород. Отмеченные в таблице образования, 12-16 строки, распространены в пределах интрузивно-вулканогенных структур. Их роль в строении рудных объектов не столь велика в сравнении с площадными образованиями. На их долю приходится до 10-15%, на медно-порфировых до 30-40% объема рудного поля.

Таким образом, метасоматоз в пределах гидротермальных рудных месторождений существенно влияет на устойчивость всего массива. Все исходные породы на объектах в той или иной мере изменены под воздействием гидротермальных растворов. Дорудные процессы преобразования исходных пород приводят к увеличению плотности, уменьшению структурной «рыхлости» метасоматитов. Пологолежащие тела метасоматических гранитоидов и габброидов определяют относительно высокую устойчивость массивов горных пород в пределах месторождений. В результате рудно-метасоматических процессов исходные породы чаще всего «разрыхляются», реже – сохраняют исходные параметры физико-механических свойств. Особо следует отметить медно-порфировые системы, в которых, в результате метасоматоза образуются не сцементированные брекчии («щебень»), способные к саморазрушению. Отмеченные особенности следует учитывать при геомеханических построениях.

### Список литературы

1. Гуреев А.М. и др. Методика составления геоструктурных схем (моделей) скальных массивов в основаниях гидросооружений / Гуреев А.М., Воронков О.К., Брюн И.С., Владимирский В.С. ВНИИГ. Пособие к СНиП 2.02.02-85. – Ленинград, 1991. – 119 с.

2. Крюков В.Г. Метасоматиты в металлогеническом анализе Приаму-рья/ Принципы прогнозирования эндогенного оруденения в восточно-азиатских вулканических поясах СССР. М.: Наука, 1990, с. 184-199.

3. Крюков В.Г. Измененные и слабо измененные породы в стратегии прогнозирования новых рудных районов // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Материалы V Международной конференции, г. Томск, 13-16 сентября 2016 г. – Томск. STT. с. 355-360.

4. Крюков В.Г. Роль геологических и геомеханических факторов при моделировании рудных месторождений Дальнего Востока России // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Под редакцией академика РАН К.Н. Трубецкого // Составители к.т.н. А.В. Шляпин, к.т.н. А.Г. Красавин, к.т.н. Н.А. Милетенко. – М.: ИПКОН РАН – 2022, с. 115-118.

5. Методические рекомендации по оценке склонности рудных и нерудных месторождений к горным ударам. – М. ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности». Серия 06, вып.8, 2016. – 52 с;

6. Bieniawski Z.T. Engineering Rock Mass Classifications: a complete Manual for engineers and geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering. John Wiley & Sons. 1989.

7. Hoek E., Brown E.T. The Hoek – Brown failure criterion and GSI 2018 edition // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2019. Vol. 11/ Iss/ 3 p. 445–463.

8. Laubscher D. H. and Jakubec J. The MRMR rock mass classification for jointed rock masses, In Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies (eds. W. A. Hustrulid and R. L. Bullok), Society of Mining Metallurgy and Exploration, SME. 2001. – pp. 475–481.

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГРП ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ГАЗООТДАЧИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА**

**Федоров Е.В., Кулибаба С.Б., Милетенко Н.А.**

*ИПКОН РАН*

«Правилами безопасности в угольных шахтах» [1] предписывают обязательную дегазацию угольного пласта при природной его метаносности выше 13,0 м<sup>3</sup>/т сухой беззолной массы (с.б.м.) Основной схемой дегазации угольных пластов в соответствии с «Инструкцией...» [2] является пластовая предварительная дегазация, максимальная эффективность которой составляет 0,4 и эта величина используется при разработке проектов систем дегазации выемочных участков.

Однако, как показывает практика, фактическая эффективность дегазации неразгруженных от горного давления угольных пластов существенно ниже указанной величины [3,4].

Причины низкой эффективности дегазации угольных пластов обусловлены низкой газопроницаемостью угля (сотые доли мДарси), а также тем обстоятельством, что до 90-95% всего метана находится в угле в связанном (сорбированном) состоянии и для его десорбции в ходе предварительной дегазации требуются значительные энергетические затраты и специальные технологии.

Одной из таких технологий по интенсификации газоотдачи при разработке неразгруженных пластов угля является пластовый гидроразрыв скважин, пробуренных из горных выработок (пластовый ГРП), и гидрорасчленение пласта скважинами с поверхности (ГРП с поверхности).

Рассмотрим влияние применения указанных технологий ГРП на показатели работы выемочного участка на примере лавы 24-64 пласта Болдыревский шахты им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс», где были применены 5 скважин ГРП с поверхности и 43 скважины пластового ГРП.

Отработка выемочного столба лавы 24-64 производилась в условиях совместного влияния применения технологии гидрорасчленения пласта с поверхности и технологии пластового гидроразрыва скважин. По этой причине, «вычленив» и оценить влияние каждой из технологий на параметры работы выемочного участка довольно затруднительно.

В таблице 1 представлены фактические показатели работы выемочного участка лавы 24-64 – суточная производительность, метановыделение в очистное и выработанное пространство, простои на проветривание забоя, расход воздуха в исходящей струе в различные периоды времени, когда лава находилась в тех или иных зонах влияния применяемых технологий ГРП.

Для проведения анализа весь выемочный столб был разделен на 4 зоны: без ГРП с поверхности и пластовых ГРП, без ГРП с поверхности и с пластовыми ГРП, в зонах влияния ГРП с поверхности и без пластовых ГРП и в зонах влияния ГРП с поверхности с пластовыми ГРП (таблица 1). Причем под зоной влияния ГРП с поверхности понимается как зона влияния одиночной скважины, так и наложение зон влияния соседних скважин ГРП.

Таблица 1

**Параметры работы выемочного участка в различных зонах влияния ГРП**

Наименование	А сут, т	Простои, час/сут	I оч, м <sup>3</sup> /мин	Q исх, м <sup>3</sup> /мин	Iвп, м <sup>3</sup> /мин
1	2	3	4	5	6
Вне зоны ГРП 1	5696	1,21	8,15	1591	76,13
В зоне ГРП 1	7497	2,22	9,5	1695	187,3

продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
В зоне ГРП1+2	8651	2,6	10,6	1776	244,3
В зоне ГРП 2	7540	0,8	8,35	1799	232,2
В зоне ГРП 2+3	7907	0,4	8	1977	197,1
В зоне ГРП 3	7049	1	8,9	1886	208,2
В зоне ГРП 3+ 4	8442	1,5	11	1909	231
В зоне ГРП 4	6376	3,2	12,3	1900	201,8
В зоне ГРП 4+5	5250	1,2	8,45	1738	175,6
В зоне ГРП 5	6345	2,9	11,6	1797	141,8
Вне зоны ГРП 5	7751	3,6	11,5	1685	150,7

В таблице 2 представлены средние показатели работы выемочного участка в основных зонах влияния технологий ГРП.

Показатели работы выемочного участка в Таблице 2 являются результатом действия множества факторов природных и техногенных, что затрудняет однозначную оценку эффективности применения технологий ГРП.

Таблица 2

**Средние показатели работы выемочного участка в основных зонах влияния технологий ГРП**

Наименование	Вне зоны ГРП с пов-ти		В зонах ГРП с пов-ти	
	без пласт ГРП	с пласт ГРП	без пласт ГРП	с пласт ГРП
1	2	3	4	5
А сут, т	5696	7751	7198	7289
Простои, час/сут	1,21	3,6	1,68	1,9
Г оч, 3/мин	8,15	11,5	9,42	10,73
ГВП, 3/мин	76,13	150,7	196,4	213,7
Q исх, м3/мин	1591	1686	1797	1898

Так, наибольшая производительность очистного забоя достигнута после выхода лавы из зоны влияния ГРП 5, однако, надо учитывать, что на этом участке – наименьшая глубина работ из всех рассматриваемых зон влияния и меньшая природная газоносность.

Если в качестве основного критерия эффективности применения технологии ГРП рассматривать наибольшую производительность очистного забоя и наименьшую величину простоев на проветривание (хотя величины эти и взаимосвязаны), то можно сделать вывод что лучшие значения указанных показателей были достигнуты в зонах совместного влияния ГРП с поверхности и пластового гидроразрыва скважин.

### **Список литературы**

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Серия 05. Выпуск 40. – 5-е изд., испр.и доп. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2017. – 198 с.

2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности Инструкция по дегазации угольных шахт. Серия 05. Выпуск 22. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2012. – 250 с.

3. Е.В. Федоров, С.Б. Кулибаба, Н.А. Милетенко Оценка эффективности дегазации неразгруженного массива пластовыми скважинами / Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых // Материалы 16 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – М.: ИПКОН РАН. – 2023. – С. 120–122.

4. Е.В. Федоров, С.Б. Кулибаба Характер изменения параметров метановыделения при переходе очистного забоя в надработанный участок горного массива / Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых // Материалы 16 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – М.: ИПКОН РАН. – 2023. – С. 122–125.

**УДК 622.83:622.016**

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ УСТЬЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ШАХТНОГО СТВОЛА**

**Голдин С.В., Хохлов Б.В., Ягмур А.Б.**

*ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк*

В настоящее время в Донбассе происходит затопление выработанного пространства ликвидируемых нерентабельных и заброшенных шахт, что приводит изменению гидрогеологической обстановки в горных массивах на больших площадях.



Регулирование гидрогеологической обстановки в горных массивах осуществляется путем установления оптимального уровня затопления горных выработок для обеспечения безопасной эксплуатации объектов земной поверхности и безаварийной работы соседних рентабельных шахт. Для управления уровнями затопления, в основном, применяется технология создания водоотливных комплексов (ВОК) с погружными насосами, расположенными в сохранных вертикальных шахтных стволах.

В связи с физической ликвидацией шахты № 3-бис и необходимостью обеспечения гидробезопасности действующей шахты «Прогресс», было принято решение о строительстве ВОК с погружными насосами, размещенными в вентиляционном стволе шахты № 3-бис.

Устойчивая работа водоотливного комплекса в первую очередь связана с долговременной геомеханической устойчивостью шахтного ствола, в котором размещены погружные насосы. Важнейшим фактором, влияющим на устойчивость вертикального ствола в целом, является состояние его устья, на котором базируются основные элементы ВОК.

При выполнении работ по обустройству котлована на глубину 2,5-3 м для фундамента ВОК, обнажилась наружная часть крепи устья вентиляционного ствола (рис. 1).

Обследование состояния обнажившейся части бетонной крепи вентиляционного ствола показало, что верхняя часть бетонной крепи устья имеет ряд горизонтальных, вертикальных и наклонных трещин по всему периметру, нарушающих целостность крепи. Вероятно, что данная ситуация произошла вследствие доливки бетона при монтаже нулевой площадки вентиляционного ствола при его эксплуатации шахтой.

С западной стороны (рис. 2.а) в верхней части устья ствола наблюдаются горизонтальные, наклонные и вертикальные трещины на высоту 0,5-0,6 м с разрушением бетонной крепи на отдельные блоки. С северной и южной (рис. 2.б) сторон наблюдаются горизонтальные и наклонные трещины по высоте 0,8-1,2 м без разрушения на отдельные блоки. С восточной стороны наблюдаются в основном наклонные и горизонтальные трещины на расстоянии 1,4-1,5 м от нулевой отметки устья. По всему периметру ствола наблюдается высыпание бетонной крепи на стыке между основной бетонной крепью устья и дозаливкой бетона при монтаже нулевой площадки.



**Рисунок 1 - Котлован вокруг устья вентиляционного ствола**

а)



б)



**Рисунок 2 - Нарушения крепи устья ствола: а) западная стенка, б) южная стенка**

Опыт эксплуатации шахтных водоотливных установок показывает, что динамические явления, сопровождающие процесс эксплуатации насосных агрегатов, а также силы, возникающие при различных видах движения их элементов и узлов, обуславливают появление вибрации, которая приводит к ряду негативных последствий.

Даже учитывая тот факт, что основание кольцевого фундамента ВОК будет находиться на 3 м ниже «0» отметки и не связан с устьем вентиляционного ствола, вибрационные процессы в околоствольном массиве при длительной работе ВОК могут привести к разрушению нарушенной устьевой части бетонной крепи и падению частей крепи внутрь ствола, что неизбежно приведет к нарушению работы погружных насосных агрегатов.

Для восстановления несущей способности устьевой зоны и долговременной устойчивости ствола при воздействии вибрационных процессов было предложено провести следующие мероприятия.

1. Выполнить разборку нарушенной верхней части западной стороны устья в которой имеются горизонтальные, наклонные и вертикальные трещины с разрушением бетонной крепи на отдельные блоки.

2. Провести гидроструйную обработку наружной части бетонной крепи устья ствола по всему периметру.

3. Провести обработку очищенного бетона адгезионными составами.

4. На месте разобранный нарушенной верхней части западной стороны устья установить армокаркас из арматуры диаметром 12 мм.

5. По периметру устья связать арматурными стяжками ненарушенную часть бетонной крепи с армокаркасом и блоком бетона северной, восточной и южной сторон.

6. С наружной части устья возвести опалубку и произвести заливку бетона с вибрированием.

Внедрение разработанных мероприятий позволило без глобальной корректировки проекта по строительству защитного водоотливного комплекса восстановить несущую способность устьевой зоны вертикального ствола без увеличения сроков строительства и значительных финансовых затрат.

Результаты данных исследований были использованы при выполнении фундаментальной научно-исследовательской работы FRSR – 20230006 «Исследование устойчивости и трансформации напряженно-деформированного состояния обводненных массивов горных пород».

### Список литературы

1. КД 12.12.005-2001. Правила ликвидации стволов угольных шахт. – Утв. Министерством топлива и энергетики Украины 15.02.2001 г. – Донецк, 2001. – 122 с.

2. Дрибан В.А. Технология принятия решений по схемам ликвидации вертикальных стволов / В.А. Дрибан, С.В. Голдин // Наукові праці УкрНДМІ НАНУ: сб. науч. тр. – Донецк, 2009. – №5(1). – С. 477-489.

3. Голдин С.В. Классификация аварийных ситуаций при ликвидации вертикальных шахтных стволов / С.В. Голдин, Б.В. Хохлов, А.Б. Ягмур / Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – М: ИПКОН РАН, 2019. – с. 76-78.

4. Голдин С.В. Аварийные ситуации в районе расположения устьев вертикальных стволов / С.В. Голдин // Наукові праці УкрНДМІ НАНУ: сб. науч. тр. – Донецк, 2010. – №6. – С. 413-422.

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ  
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ  
НА ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ГОРНЫЕ  
ПОРОДЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
РАЗРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.  
СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ**

**Ефремовцев Н.Н.<sup>1</sup>, Рухман А.А.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup> ИПКОН РАН, <sup>2</sup>ООО «Новые нефтяные технологии»*

Актуальность проводимых исследований обусловлена необходимостью повышения интенсивности, энергетической эффективности и экологической безопасности разработки полезных ископаемых в связи с увеличением глубины разработки месторождений, крепости горных пород, повышением объемов добычи вязких углеводородов. Одним из путей решения возникающих при этом проблем, является применение комбинированных физико-химических воздействий, как на средства разрушения горных пород, так и на разрушаемые среды, обеспечивающих повышение энергетической эффективности, экологической безопасности и полноты извлечения и комплексного использования ресурсов недр.

Под руководством академика РАН К.Н. Трубецкого в ИПКОН РАН выполнены работы по обоснованию эффективности применения взрывного и механического способа разрушения горных пород с применением рыхлительно-бульдозерных агрегатов на Белоручейском месторождении флюсовых известняков, обеспечивающих синергетический эффект снижения потерь и повышения эффективности комплексного освоения недр за счет увеличения номенклатуры и стоимости выпускаемой продукции.

Новизна исследований заключается в том, что предлагаемая методология исследований базируется на изучении изменений свойств и морфологии энергонасыщенных материалов и горных пород, реологических свойств углеводородов в результате акустического, магнитно-импульсного и СВЧ воздействий в средах специально разработанных поризующих эмульсий.

Выполнены исследования морфологии компонентов взрывчатых веществ (ПВВ), изменения во времени впитывающей и удерживающей способности плотной аммиачной селитры при применении акустического воздействия и разработанных составов поризующих эмульсий топливных смесей (ПТС), заменяющих дизельное топливо. Важнейшим эффектом применения ПТС и УЗ является многократное увеличение

площади соприкосновения топлива, окислителя и сенсibiliзирующих твердых энергетических добавок, плотности центров передачи детонации, обеспечивающих рост полноты взрывчатого превращения, скорости выделения энергии и дробящей способности ПВВ. Построена и запущена в эксплуатацию установка для получения ПТС. Разработанная технология производства и применения Гранулита ЕФ-П (ТУ 7276-002-94120064-2009) на основе эмульсий ПТС включена Роснано в каталог «зеленых технологий».

Сформирована методика комплексной оценки в условиях полигона дробящего и вредных действий взрыва зарядов ПВВ различной конструкции, перераспределения энергии расходуемых на полезные и бесполезные формы работы. Методология исследований предусматривает системный анализ и численную оценку потенциальной химической энергии ВВ, химических потерь в результате неполного химического превращения, баланса полезных форм работы взрыва на деформирование и разрушение горных пород и вредных действий энергии зарядов ПВВ. При том, критерием оценки является численные значения изменения долей энергии расходуемых на дробление с целью формирование необходимого фракционного состава горных пород и вредные формы работы взрыва, включая увеличение содержания вредных газов и мелкодисперсной пыли, образование некондиционных мелкодисперсных фракций, энергию расходуемую на сейсмическое воздействие и действие ударной воздушной волны, которые могут быть определены с применение следующих формул:

$$E_{сей} = K \int_{t_0}^t \left( \frac{sv^2}{2} \right) * 2 * \pi * R^2 * dt; E_{yзв} = \frac{K}{\rho c} \int_{t_0}^t \Delta P^2 * dt * 2\pi R$$

где  $E_{сей}$  – полная энергия сейсмической волны, Дж/м<sup>2</sup>;  $s$  – плотность среды (породы), кг/м<sup>3</sup>;  $v$  – скорость векторная колебаний грунта;  $R$  – расстояние до прибора, м,  $\Delta P$  – избыточное давление Па;  $2\pi R^2$  площадь полусферы, м<sup>2</sup>;  $\rho$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – скорость звука, м/с;  $K$  – параметр, характеризующий суммарное численное значение коэффициентов, учитывающих свойства пород, трещиноватость массива, направления трещин и порядок иницирования скважин, высоту и материал забойки, диаметр, глубину и число скважин, применяемые средства и схемы иницирования, параметры замедления, плотность ПВВ, величину зазора между стенкой скважины и зарядом.

С применением метода сглаженных частиц исследованы синергетические эффекты влияния формы свободной поверхности на локализацию трещин в горных породах.

Авторами статьи проведены совместные исследования комбинированного физико-химического воздействия на образцы горных пород с применением ультразвуковой установки контактного типа мощностью до 5 кВт. В процессе эксперимента использовались образцы среднезернистых гранитов, габбро-диабаз, а также породы, имитаторы коллекторов вязкой нефти с целью последующего изучения изменений их проницаемости после обработки ультразвуком.

Для оценки мощности воздействия на образец единичного импульса, а также контактного гармонического ультразвука составлена математическая модель с использованием преобразования Фурье. В результате выполненных экспериментальных работ установлено, что контактное акустическое воздействие мощностью 1,2 кВт с рабочей частотой 18 кГц на среднезернистый красный полевошпатный гранит, предварительно обработанный эмульсией содержащей ПАВ, обеспечил формирование сети вновь образованных трещин со средним расстоянием - 3,15 мм, а без предварительной обработки эмульсией – 5,2 мм. Индекс трещинообразования составил соответственно - 5,6 и 9,23. Закономерности локализации трещин на поверхности образцов гранита свидетельствуют об положительном синергетическом эффекте взаимодействия прямых и отраженных от поверхности раздела сред волн напряжений. При этом существенное влияние, на плотность вновь образованных трещин оказывают зернистость и прочность образцов горных пород, а также эффект ослабления межзатомных связей при применении пропитывающих эмульсий.

**УДК 622**

## **ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА РУДНИЧНОЙ ПЫЛИ НА ЕЕ ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

**Копорулина Е.В., Докучаева А.И., Блохин Д.И.,  
Закоршменный И.М., Кобылкин А.С.**

*ИПКОН РАН*

Одной из опасностей, характерной для угледобывающих предприятий, являются термические процессы, возникающие при определенных условиях в рудничной пыли и приводящие не только к пожарам в горных выработках и выработанном пространстве, но и к более катастрофическим процессам – взрывам как самой пыли, так и во взаимодействии с метаном [1]. Так как рудничная пыль в горных выработках включает в себя как частицы угля, так и частицы вмещающих пород, то риск возможности возникновения термической реакции в том числе определяется и ее минеральным составом, а точнее процентным содержанием угля и минеральных включений.

Предназначенные для лабораторных испытаний пробы рудничной пыли были отобраны по стандартным методикам на действующих шахтах АО «СУЭК – Кузбасс». Нумерация проб и места их отбора (название шахты и угольного пласта) приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Нумерация проб и места их отбора**

<b>№ пробы</b>	<b>Название шахты</b>	<b>Название угольного пласта</b>
1	Шахта им. С.М. Кирова	Болдыревский
2	Шахта им. С.М. Кирова	Поленовский
3	Шахта им. В.Д. Ялевского	50
4	Шахта им. В.Д. Ялевского	52
5	Комсомолец	Бревеский

На первом этапе исследований проводились эксперименты по выявлению наличия минеральных включений и оценке их процентного содержания в исследуемых пробах рудничной пыли. Состав породных минералов изучался на аналитическом сканирующем электронном микроскопе Leol420 VP с системой микроанализа INCA 350. Сравнительная оценка содержания в пробах компонентов вмещающих пород проводилась по данным АСЭМ на основании количественного анализа изображений в отраженных электронах методом сегментации по пороговому значению с использованием модульного программного пакета Gwyddion [2]. Для каждой пробы было проанализировано по 5 полей зрения размером 408 мкм на 206 мкм.

В ходе выполнения исследований на АСЭМ также были получены данные по минеральному составу проб (микроанализ системой INCA 350).

На основе данных электронной микроскопии была сформирована таблица 2. В ней отображены преобладающие в исследуемых пробах минералы, а также усредненное по пяти измерениям значение их процентного содержания.

Таблица 2

**Характеристика образцов рудничной пыли для ТГА**

<b>№</b>	<b>Преобладающие породные минеральные включения</b>	<b>Процентное содержание породных минеральных включений, %</b>
1	Иллит, кальцит	11,46
2	Иллит, кальцит	6,49
3	Кальцит	5,39
4	Кальцит	15,29
5	Иллит	19,05

Для выявления особенностей протекания термодеструкционных процессов в исследуемых пробах рудничной пыли был использован

метод термогравиметрического анализа [3]. Результатом ТГА являются ТГ – кривые – зависимости массы  $m$  (или изменения массы) испытываемого образца от температуры или времени. Анализ так называемых ДТГ – кривых, представляющих собой производные от термограмм (скорость изменения массы), позволяет установить момент времени или температуру, соответствующие максимальной скорости изменения массы образца.

Для проведения термогравиметрических исследований из каждой пробы, минеральный состав которых ранее был определен с помощью АСЭМ были подготовлены образцы пыли фракции <50 мкм (таблица 3).

Таблица 3

### Характеристика образцов рудничной пыли для ТГА

Номер образца	1	2	3	4	5
Масса образца	0,23	0,30	0,23	0,29	0,30

Испытания образцов рудничной пыли проводились на термогравиметрическом анализаторе Лесо TGA–701 в интервале температур от 24 до 900°C. Нагрев образцов осуществлялся с постоянной скоростью изменения температуры без блокировки доступа кислорода. Величина скорости нагрева в экспериментах принималась равной 3°C/мин [4]. Полученные в ходе экспериментов производные термограмм (ДТГ – кривые) представлены на рисунке 1.

Анализируя ДТГ – кривые, можно установить, что их характер в положительной области координатного поля существенно меняется в достаточно четко фиксируемых точках резкого увеличения скорости изменения массы, обозначенных на графиках рисунка 1 как  $T_{ign}$ . Определенные значения  $T_{ign}$  соответствующие началу интервала термодеструкции частиц пыли, также содержатся в таблице 4.

Таблица 4

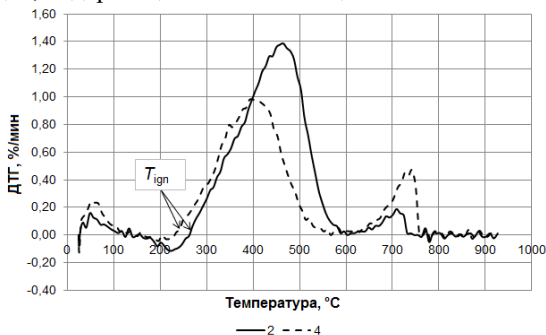
### Результаты ТГА

Номер образца	1	2	3	4	5
Потеря массы, %	74,8	77,6	87,3	65,1	56,8
$T_{ign}$ , °C	268	269	248	235	259

Сопоставляя эти данные с результатами электронной микроскопии (таблица 2) можно заметить, что с увеличением содержания в пробе рудничной пыли минеральных включений снижается потеря ее массы в ходе термодеструкционных процессов. Результаты оценки нижних границ интервалов термодеструкции ( $T_{ign}$ ) для испытываемых образцов рудничной пыли, показали существенную зависимость этого параметра от состава минеральных включений. Показано что в пробах рудничной пыли, содержащих иллит (или иллит и кальцит), значения начала интервала термодеструкции  $T_{ign}$  лежат в области более высоких температур,



по сравнению с аналогичными значениями, определенным для образцов, содержащих только кальцит.



**Рисунок 1 – Пример ДТГ – кривых для двух образцов № 2 и № 4**

Продемонстрированные различия в данных термических испытаний, указывают на необходимость учета минеральных включений при разработке мероприятий по повышению уровня промышленной безопасности угольных предприятий.

#### **Список литературы**

1. Кобылкин С.С., Тимченко А.Н., Кобылкин А.С. Применение компьютерного моделирования при выборе параметров работы пылеотсоса, встраиваемого в проходческие комбайны // Безопасность труда в промышленности. — 2021. — № 3. — С. 21-27.
2. Nečas D. and Klapetek P. Gwyddion: an open-source software for SPM data analysis // Central European Journal of Physics. – 2012. – Vol. 10. – p. 181–188.
3. Ульянова Е.В., Малинникова О.Н., Докучаева А.И., Пашичев Б.Н. Влияние неоднородности структуры угольного вещества на склонность угля к самовозгоранию / Химия твердого топлива. – 2022. – № 6. – С. 18–24.
4. Докучаева А. И. Особенности газообменных процессов при нагреве в углях, склонных к самовозгоранию // Маркшейдерия и недропользование. — 2023. — № 2 (124). — С. 56–61.

**УДК 622.83**

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН**

**Закоршменный И.М., Блохин Д.И.**

*ИПКОН РАН*

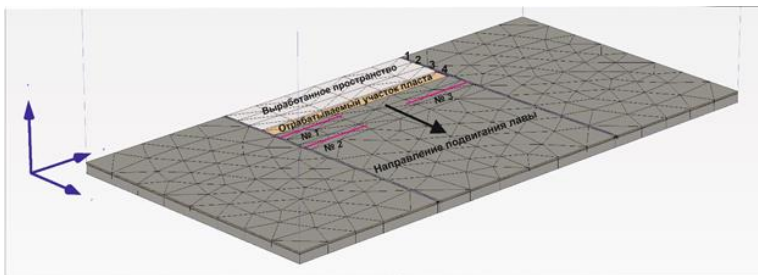
Одними из важнейших факторов, влияющих на ритмичность работы очистного забоя, являются геомеханические процессы, сопутствующие

интенсивной отработке угольных пластов и тесно связанные с изменениями метанообильности выемочных участков [1–3].

В работе описываются результаты численных экспериментов, проведенных с использованием средств ПК PLAXIS, позволяющие анализировать изменения напряженно – деформированного состояния углепородного массива, вмещающего скважину, пересекающую слой слабых водонасыщенных пород и предназначенную для дегазации нижележащего сближенного пласта, с целью описания характера потери ее устойчивости в результате приближения забоя. Топологические особенности рассматриваемой геотехнической системы, а также геомеханические свойства вмещающих пород задаются исходя из данных, полученных на шахте им. С.М. Кирова АО «СУЭК – Кузбасс».

Значения геометрических параметров добычного участка в рассматриваемой модели соответствуют характеристикам лавы 24 – 64 пласта Болдыревского. Длина выемочного столба – 2425 м, лавы – 350 м. Выемочный столб подготовлен парными штреками, расстояние между которыми составляет 40 м. Глубина отработки лавы изменяется от 610 м у монтажной камеры до 485 м у линии доработки. Угол падения по прилегающим выработкам изменяется от 2° до 6°. Средняя мощность пласта – 2,3 м, вынимаемая – 2,39 м.

Рассматриваемая задача решается методом конечных элементов с использованием критерия разрушения Кулона – Мора [4]. В рамках указанных условий было выполнено поэтапное моделирование напряженно – деформированного состояния обрабатываемого угольного пласта для 4-х участков с последовательным приближением к дегазационным скважинам с шагом 10 м. (рис. 1). Значение шага перемещения очистного забоя выбрано приблизительно равным шагу обрушения непосредственной кровли в лаве 24 – 64 пласта Болдыревский шахты им. С.М. Кирова. Всего рассматривается 5 этапов моделирования, при этом 1-й этап соответствует моменту времени, предшествующему началу ведения горных работ на участке 1. На финальном этапе моделирования проводятся расчеты для участка 4, прилежащего к области пласта, вмещающей ближайшую дегазационную скважину (скважина № 1). В расчетную схему математического моделирования величины деформационно–прочностных параметров геоматериалов, заполняющих выработанное пространство, назначались в два раза ниже соответствующих показателей пород основной кровли. Скважины представлены в виде цилиндрических элементов, заполненных материалом со значениями физико-механических характеристик, назначенных для выработанного пространства.

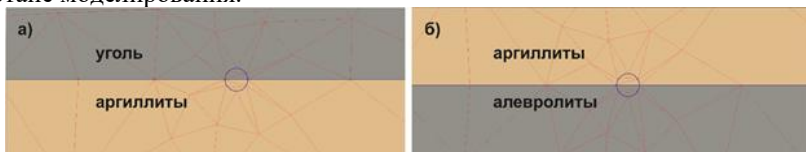


**Рисунок 1 - Этапы моделирования напряженно–деформированного состояния обрабатываемого угольного пласта**

Для каждого этапа изменения напряженно – деформированного состояния получены значения перемещений за счет подъема пород почвы при снятии части напряжений (разгрузке при выработке пласта в пределах расстояния равного шагу обрушения кровли). Выявлено максимальное значение смещений горного массива, в зоне влияния которого находится дегазационная скважина, составляющее  $\approx 0,37$  м.

Оценка изменений параметров напряженно–деформированного состояния участка массива вблизи контура скважины производится для ситуации, когда на рассматриваемом объеме задаются перемещения, значения которых назначаются исходя из результатов предыдущего цикла моделирования.

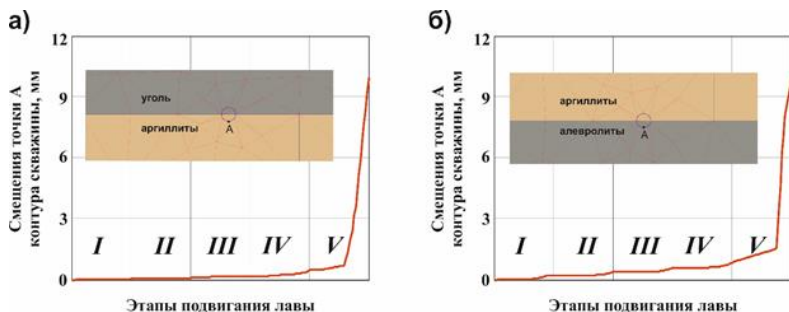
На рис. 2а – 2б представлены два подобных варианта расположения контура скважины относительно границы скального и слабого (аргиллитового) слоев массива, которые и рассматриваются на следующем этапе моделирования.



**Рисунок 2 - Варианты расположения контура скважины относительно границы различных слоев угленосного массива:**

- а) Граница между угольным пластом и слоем слабых аргиллитов;
- б) Граница между слоем слабых аргиллитов и основной почвой (алевролиты)

Результатами моделирования являются распределения значений перемещений, произвольно выбранных на контуре скважины точек в зависимости от расположения скважины относительно забоя. Указанные зависимости для точки А для двух вариантов расположения контура скважины представлены на рис. 3.



**Рисунок 3 - Смещения точки контура дегазационной скважины на различных этапах продвижения лавы**

Как видно из графиков, представленных на рис. 2а и 2б, смещения контура скважины для обоих приведенных случаев достигают значений более 1 мм только на последнем этапе, когда расстояние от груди забоя до скважины составляет расстояние, которое очистной забой проходит за время, превышающее сутки интенсивной работы. Смещение контура скважины сопровождается резким увеличением фильтрационных свойств вмещающего массива, и дегазационная скважина теряет свое функциональное назначение. В результате снижается эффективность системы дегазации по мере приближения забоя лавы к скважине и метан поступает через трещины в почве лавы в призабойное пространство, создавая вероятность местных скоплений и, следовательно, дополнительных остановок технологического оборудования, что, в конечном счете, ведет к снижению уровня промышленной безопасности.

### Список литературы

1. Захаров В.Н., Шляпин А.В., Трофимов В.А., Филиппов Ю.А. Изменение напряженно-деформированного состояния углеродного массива при отработке угольного пласта // Горный информационно – аналитический бюллетень. – 2020. – № 9. – С. 5–24. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-5-24.
2. Шинкевич М.В., Плаксин М.С. Связь геомеханики и метанообильности выработок при ведении подземных горных работ // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – № 5. – С. 15 – 24.
3. Блохин Д.И., Загоршменный И.М., Кубрин С.С., Кобылкин А.С., Поздеев Е.Э., Пушилилин А.Н. Численные исследования влияния изменений напряженно – деформированного состояния углеродного массива на устойчивость дегазационных скважин // Горный информационно – аналитический бюллетень. – 2023. – № 11. – С. 17–32.
4. Мирный А.Ю., Тер-Мартirosян А.З. Область применения современных механических моделей грунтов // Геотехника. – 2017. – № 1. – С. 20–26.

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛАСТИ СДВИЖЕНИЯ ПОРОДНЫХ СЛОЕВ НАД ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ ЛАВ

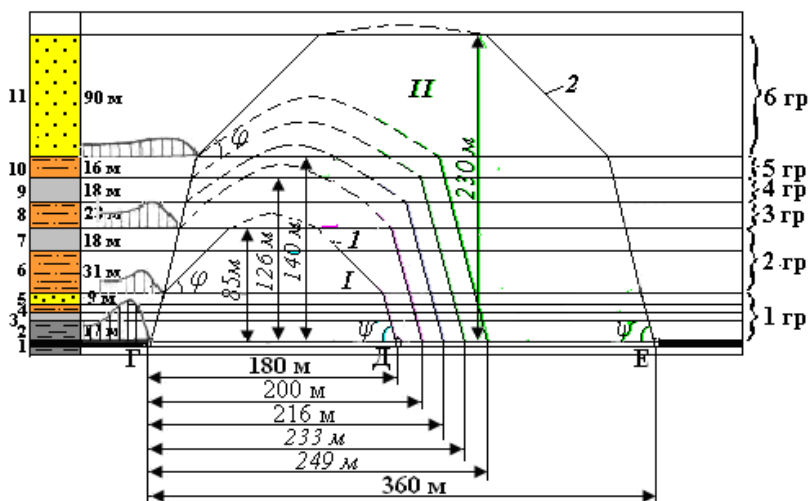
Лобков Н.И., Радченко А.Г.

ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк

**Состояние вопроса.** В процессе ведения очистных работ образуется выработанное пространство, над которым происходит сдвигание породных слоев слоистого породного массива, вмещающего угольные пласты. Первоначально, до разрушения и обрушения, породные слои изгибаются над выработанным пространством в пределах упругости [1], формируя область интенсивных сдвижений кровли. В этой области отмечаются не прогнозируемые обрушения кровли, приводящие к завалам лав, потерям добычи угля. После разрушения и обрушения породных слоев, в массиве происходит пластическое деформирование пород, под действием которых, происходят сдвигания поверхности. Поэтому, исследование формирования области сдвигания породных слоев является актуальной задачей. В связи с этим, **целью данной работы** является: 1) изучение последовательности формирования зоны интенсивных сдвижений породных слоев; 2) изучение основных закономерностей формирования зоны сдвигания под действием пластического деформирования обрушенных пород.

**Основные результаты.** Изучение процесса формирования зоны сдвигания породных слоев над выработанным пространством возможно с применением метода физического моделирования на моделях из эквивалентных материалов [2]. На рисунке 1 приведена модель слоистого породного массива, построенная в соответствии с геологоразведочной скважиной шахты «Прогресс».

В результате отработки первой лавы (линия Г - Д) обрушилась первая группа породных слоев, в состав которой входят: несущий слой №2 и слои пригрузки №3, №4, №5. Угол обрушения  $\psi$  составил  $78^\circ$ . Слои породы №6 и №7, представленные алевролитом мощностью 31 метр и аргиллитом мощностью 18 метров, зависли над выработанным пространством, т. к. их предельный пролет превышает величину обнажения, созданную обрушением первой группы слоев. Первая группа слоев, а также вторая группа слоев, зависшая над первой, образовали область сдвигания пород (I), при отработке первой лавой (линия Г - Д) всего выемочного поля. Изменения размеров зоны интенсивных сдвижений породных слоев кровли при работе первой лавы могут происходить с изменением строения породного массива. Максимальная высота области интенсивных сдвижений ориентировочно равна  $2/3$  длины лавы.



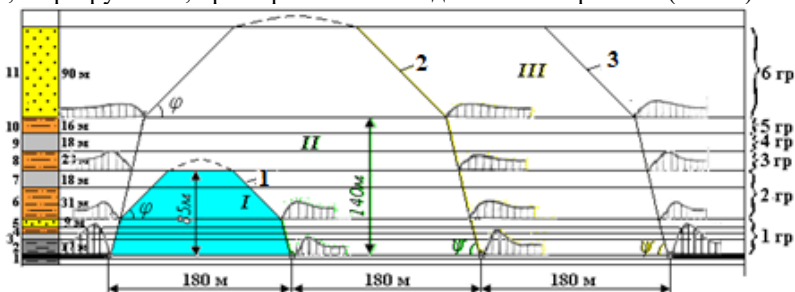
**Рисунок 1 – Модель слоистого породного массива при отработке последовательно двух лав: 1гр – 6гр – группы породных слоев; I и II – области сдвижения пород кровли при работе одной и двух лав соответственно;  $\varphi$  и  $\psi$  – углы наклона к горизонтالي линий изгиба и обрушения слоев соответственно**

Породные слои, входящие в первую группу сдвижения, участвуют в формировании давления: на призабойную крепь, опорного давления на призабойную часть пласта и подготовительные выработки Г и Д.

Дальнейшее увеличение размера выработанного пространства в модели до 200 метров привело к обрушению второй группы породных слоев. Третья группа слоев, представленная слоем №8, зависла. При увеличении длины выработанного пространства на 233 метра обрушились слои третьей и четвертой группы, представленные слоями №8 и №9 соответственно. При длине выработанного пространства 249 метров обрушилась пятая группа слоев, представленная слоем №10. Шестая группа слоев, представленная песчаником мощностью 90 метров, зависла. В дальнейшем, при увеличении длины выработанного пространства до 360 метров или равной длине двух лав, величина изгиба слоя №11 (шестая группа слоев), составила 0,5 мм в модели, что в натуре составило бы 150 мм без обрушения. Это означает, что мощный слой песчаника служит экраном, сдерживающим пригрузку вышележащих породных слоев при последовательной отработке двух лав. Таким образом, образовалась вторая область сдвижения пород (2), не выходящая на поверхность, образованная над выработанным пространством в результате

отработки двух лав (линии Г-Д и Д-Е). Высота области сдвижения равна ориентировочно 2/3 длины двух лав. В формировании горного давления на призабойную крепь, призабойную часть пласта лавы (линия Д-Е) и подготовительные выработки участвуют породные слои, входящие во вторую область сдвижения пород кровли.

Мощный, экранирующий слой песчаника (6 группа слоев) изгибается, не разрушаясь, при отработке последовательно трех лав (Рис. 2).



**Рисунок 2 – Развитие области сдвижения пород при отработке трех лав**

При ширине выработанного пространства 540 метров экранирующий слой песчаника изгибается в пределах упругости. Максимальная величина изгиба, в пересчете на натуру, достигает 200 мм, и слой зависает не обрушаясь. В формировании горного давления принимают породные слои, входящие в зону (3).

Выводы.

В слоистом породном массиве, в котором присутствуют слои «породы мостов», формирование области сдвижения пород происходит с учетом обрушаемости этих слоев. При достижении предельного пролета «породы моста», происходит его обрушение. Формирование горного давления происходит за счет сдвижения породных слоев, входящих в область сдвижения.

### Список литературы

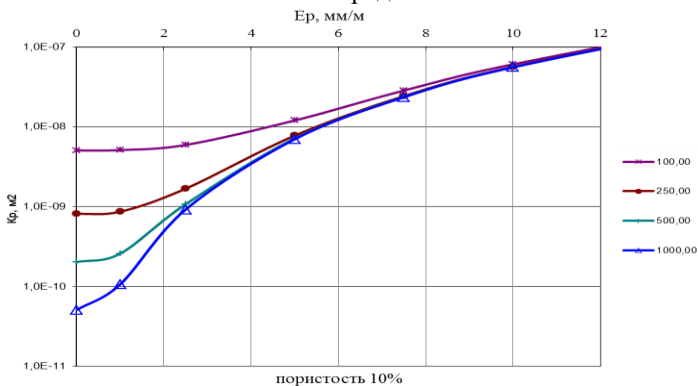
1. Канлыбаева Ж.М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве [Текст] // Ж.М. Канлыбаева. - Изд-во «Наука», 1968, - 108 с.
2. Лобков Н.И. Особенности сдвижения вмещающего массива в процессе разработки угольного пласта [Текст] // Н.И. Лобков - Технологическая платформа «твердые полезные ископаемые»: технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений: II между. научно-практ. конф. 2-4 декабря 2015 г.: сб. докл. [электронный ресурс]. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2015. – 437с.

## ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ НОВОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОДРАБОТАННОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Дрибан В.А., Хохлов Б.В., Дуброва Н.А., Рожко М.Д.

*ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк*

В работе [1] получена оценка изменения проницаемости трещиноватой деформируемой среды под воздействием предельных и запредельных деформаций, для чего было проведено имитационное моделирование. Основная его идея заключается в том, что под воздействием больших деформаций, сопровождающихся разрушением пород, последние сосредотачиваются дискретно на отдельных трещинах максимального раскрытия. Как показали расчеты, это принципиальным образом отличается от допредельного деформирования. На основании анализа полученных результатов (рисунок 1) установлено, что горные породы различным образом реагируют на воздействие деформаций растяжения в зависимости от естественных структурных особенностей их строения. Так, очень хорошо и хорошо проницаемые породы под воздействием запредельных деформаций изменяют свою проницаемость не более чем на 1-2 порядка, среднепроницаемые на 3-4 порядка, слабопроницаемые и практически монолитные на 4-5 порядков.



**Рисунок 1 – Изменение проницаемости горных пород пористостью 10%**

Анализ полученных результатов показал, что при увеличении деформаций растяжения до 5-7 мм/м, происходит скачкообразный рост проницаемости на 3-5 порядков в зависимости от их исходной структуры, а при



дальнейшем росте деформаций до 15-20 мм/м проницаемость увеличивается не более чем на 1-2 порядка и характеризуется слабым стабильным ростом.

Предложенный подход к оценке проницаемости был применен на практике при выполнении работы на шахте «Павлоградская», где в область сдвижения массива горных пород от работы лавы № 423 пласта  $c_4+c_4^H$  попадает полигон твердых бытовых отходов (ТБО). Целью работы являлось максимальное извлечение запасов угля при минимизации рисков проникновения вредных загрязняющих веществ в водоносные горизонты питьевой воды и горные выработки при подработке полигона ТБО.

На основании предложенной методики выполнена оценка изменения проницаемости под воздействием подработки.

Согласно данным исследований РАНИМИ [2], где были изучены водно-физические свойства покровных отложений на основании испытаний проб, отобранных при бурении контрольно-разведочных скважин на полях ряда шахт Западного Донбасса, коэффициент фильтрации пород Бучакского водоносного горизонта изменяется в широком диапазоне - от 0,005 м/ч до 0,625 м/ч, что согласно классификации водопроницаемости горных пород по Плотникову Н.А. соответствует проницаемым и хорошо проницаемым породам ( $10^{-12}$ – $10^{-10}$ м<sup>2</sup>).

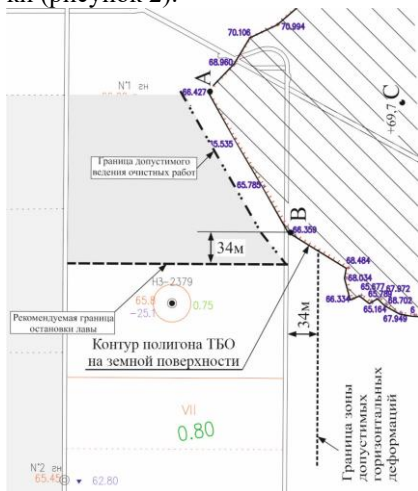
При этом отметим, что оценка экологических последствий деформирования горного массива должна учитывать его кольматационные свойства. Известно, что отложения Бучакской свиты весьма склонны к набуханию и размоканию, которое происходит в течение 0,5-1 часа. Следовательно, слагающие массив аргиллиты проявляют свойства, присущие глинистым пластичным породам, для которых характерен реологический характер деформирования. Более того, по лавам аналогам при первичной посадке кровли происходило усиленное поступление воды с притоком 15-25 м<sup>3</sup>/ч, но при стабилизации приток уменьшился и составил 5-10 м<sup>3</sup>/ч. Таким образом, имеет место высокая интенсивность кольматационных процессов, снижающая проницаемость массива в 5 и более раз.

Совместный анализ результатов расчетов изменения проницаемости массива горных пород и численных оценок кольматационных процессов позволил сделать следующие выводы.

При деформациях растяжения массива до 2 мм/м (см. рис. 1) его проницаемость с учетом кольматации увеличится не более чем в 2–4 раза, что не окажет существенного влияния на протекание фильтрационных процессов и с точки зрения экологической безопасности допустимо. При увеличении деформаций, например, до 4 мм/м изменение проницаемости будет носить значительно более интенсивный характер в 20–100 раз, что приведет к кардинальному изменению геофильтрационных

характеристик массива. Учитывая очень высокие градиенты полей деформаций при подработке, что, в первую очередь, связано с малой глубиной отработки пласта  $s_4+s_4^H$ , параметры очистной выработки следует выбирать таким образом, чтобы деформации земной поверхности не превышали величину 2 мм/м.

Прогноз сдвижений и деформаций земной поверхности [3] показал, что расчетные деформации, превышающие значение 2 мм/м, могут возникать на расстоянии в плане менее 34 м от контура очистной выработки (рисунок 2).



**Рисунок 2 - Схема отработки 423-й лавы при движении вдоль границы допустимого ведения очистных работ**

Таким образом, предложенный универсальный подход к оценке изменения проницаемости массива горных пород при подработке может быть использован при решении широкого класса практических гидрогеомеханических задач.

### Список литературы

1. Дуброва Н.А. Прогноз изменения фильтрационных свойств деформируемого массива горных пород в условиях Центрального района Донбасса [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.20 / Н.А. Дуброва; [РАНИМИ]. - Донецк., 2017. - 19 с.
2. Хохлов Б.В. О прогнозе сдвижений и деформаций околоствольного массива в зоне влияния очистных работ на вентиляционный ствол № 2 шахты «Терновская» при наличии обводненного слоя горных пород [Текст] / Б.В. Хохлов, М.Д. Рожко // Труды РАНИМИ: сб. науч. тр.– Донецк, 2023. – №23 (38). – С. 21-26.
3. ГСТУ 101.00159226.001-2003. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом. – Введ. 28.11.03. – 128 с.

**ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА  
ПРИ ЩИТОВОЙ ПРОХОДКЕ ТОННЕЛЕЙ  
МЕТРОПОЛИТЕНОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА  
РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

**Насибуллин Р.Р., Набатов В.В.**

*НИТУ МИСИС*

Подземное строительство новых объектов происходит в условиях плотной городской застройки, что вынуждает осваивать ранее непригодные территории. При этом довольно часто наблюдается негативное воздействие на сооружения, расположенные в зоне влияния работ [1]. Решением здесь является использование прогнозных моделей поведения оснований сооружений. Однако, в ряде публикаций [2, 3, 4] отмечены сложности, возникающие в процессе разработки таких моделей. Точность этого прогноза довольно часто оказывается низкой, по этой причине в процессе строительства предпринимается инструментальный контроль деформаций.

При мониторинге влияния щитовой проходки на основание наземных сооружений (в частности, железно-дорожных путей) в большинстве случаев ведется только геодезический мониторинг, и лишь в редких случаях он дополняется комплексным геотехническим мониторингом [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] с использованием инклинометрии, экстензометрии и других методов. Стоит отметить, что использование только геодезических наблюдений позволяет выявить процессы деформаций лишь в последний момент, когда они уже возникли на поверхности, что снижает эффективность противоаварийных мероприятий. Использование же геотехнического мониторинга позволяет минимизировать негативное воздействие.

В описываемой работе с помощью геотехнического мониторинга была проведена оценка влияния на породный массив щитовой проходки тоннелей Московского метрополитена под системой интенсивно эксплуатируемых железнодорожных путей. Инклинометрические скважины закладывались в грунтовый массив (по оси щитовой проходки в плане и с отступом от оси на 5-7 метров с обеих сторон) согласно [12]. На рисунке 1 представлена схема установки наблюдательной скважины для одного из участков. Инклинометрические измерения показали, что в горизонтальном направлении грунт смещался в направлении к условной оси щитовой проходки, величина деформации увеличивалась снизу вверх (от щитовой проходки к поверхности) до 2 см (см. рисунок 2).



5. Рыкова В.В. Геотехнический мониторинг: анализ информационных массивов зарубежных и российских баз данных // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 15(67). С. 199–208.

6. Иванова А.В., Соловьева Т.А., Бугакова Т.Ю. Геотехнический мониторинг – основа жизненного цикла зданий и сооружений // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019. Т. 6. № 1. С. 214–220.

7. Ломов П.О., Попов А.М., Ковалева О.В., Сподарева Л.А. Геотехнический мониторинг при возведении многоэтажных зданий // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2020. № 4(55). С. 86–93.

8. Brandi I.V., Barbosa M.R., Guimarães de Paula R., Araújo R.N., Vieira de Moura R.S., Mota de Lima H. Instrumented geotechnical monitoring of a natural cave in a near mine operation – Towards a sustainable approach to mining and preservation of speleological heritage // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 239. 118040. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118040.

9. Rocchi I., Gagnano C.G., Govoni L., Bittelli M., Gottardi G. Assessing the performance of a versatile and affordable geotechnical monitoring system for river embankments // Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 2020. Vol. 117. 102872. DOI: 10.1016/j.pce.2020.102872

10. Cheskidov V.V., Lipina A.V., Melnichenko I.A. Integrated monitoring of engineering structures in mining // Eurasian Mining. 2018. No. 2. P. 18–21. DOI: 10.17580/em.2018.02.05.

11. Дымбренев Т.Н., Насибуллин Р.Р., Буштак Н.В., Лейзер В.И. Система автоматизированного геотехнического мониторинга при строительстве перегонных тоннелей метрополитена под эксплуатируемыми железнодорожными путями // Горный журнал. 2021. № 5. С. 53–57. DOI: 10.17580/gzh.2021.05.04.

12. СП 305.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве. – М.: Стандартинформ, 2017. – 61 с.

**УДК 662**

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ УГЛЕЙ КАМЕННЫХ И БУРЫХ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБЛАСТИ**

**Докучаева А.И., Пашичев Б.Н., Малинникова О.Н.**

*ИПКОН РАН*

Физико-химические свойства ископаемых углей обуславливают факторы образования, иными словами факторы генезиса, к которым относится состав растительного материала, условия накопления и разложения угольного вещества и метаморфизм. Склонность к самовозгоранию как одно из свойств угля также зависит от факторов образования угля.

С повышением степени метаморфизма происходит снижение выхода летучих веществ и содержание кислорода в угле, увеличение содержания углерода и повышение теплоты сгорания. Свойство углей самовозгораться уменьшается от бурых углей до полуантрацита, антрациты считаются не склонными к самовозгоранию. Но метаморфизм не является главным фактором, определяющим степень самовозгораемости углей [1], так как с увеличением степени метаморфизма сорбционная способность угля по отношению к кислороду воздуха уменьшается независимо от склонности к самовозгоранию. Температурные интервалы с уменьшением степени метаморфизма смещаются в сторону более низких температур, количество поглощенного углем кислорода и выделенного углекислого газа увеличивается. Это объясняется уплотнением макромолекул угля под действием метаморфизма.

Экспериментально подтверждено, что для углей одной степени метаморфизма интенсивность поглощения кислорода углем увеличивается с увеличением температуры угля; но при одной и той же температуре в склонных к самовозгоранию углях интенсивность протекания реакции поглощения кислорода выше.

В настоящее время согласно ФНиП № 469 от 27.11.2020 г. все пласты бурого угля относят к склонным к самовозгоранию.

С помощью разработанной методики определения склонности углей к самовозгоранию методом ТГА проведено исследование термического разложения каменного и бурого углей Монголии [2]. при нагревании до 500°C со скоростью 10°C/мин в среде с кислородом [3]. Описание исследуемых образцов приведено в таблице 1.

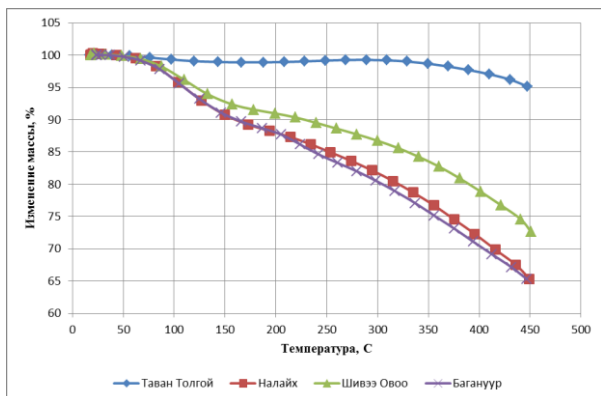
Таблица 1

**Характеристика исследуемых образцов**

№	Степень метаморфизма	Место отбора проб*
N1	Каменный	Монголия, Таван Толгой
N2	Бурый	Монголия, Налайх
N3	Бурый	Монголия, Шивээ Овоо
N4	Бурый	Монголия, Багануур

\* Результаты взяты из работы [2].

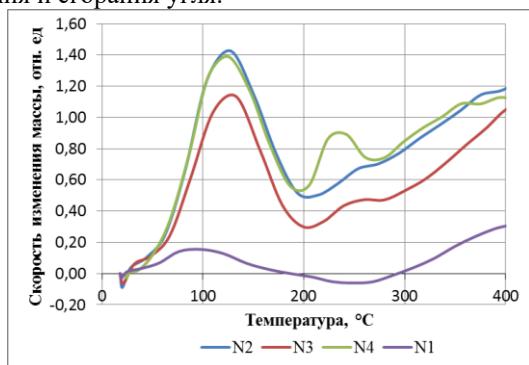
Исследование проводилось при нагревании угля до 500°C со скоростью 10°C/мин с доступом воздуха (среде с кислородом) [3]. В результате получены ТГ-кривые (рисунок 1).



**Рисунок 1 - ТГ-кривые углей Монголии**

На рисунке 1 по ТГ-кривым видно, что образцы углей Налайх, Шивээ Овоо и Багануур быстро теряют массу и при достижении 450°C потери массы составляют до 35% массы, в то время, как образец угля Таван Толгой теряет только около 5% своей массы и демонстрирует прирост массы в интервале температур от 200 до 300°C. То есть, протекание реакций при термическом разложении каменного угля (№№ N1) и бурых углей (№№ N2-N4) существенно отличаются.

По ДТГ-кривым (рисунок 2) углей №№ N1-N4 можно судить о разделении стадий выхода влаги (завершается около 100÷120°C), окисления и сгорания угля.



**Рисунок 2 - Скорость изменения массы углей**

Рисунок 2 показывает, что графически с помощью ТГА хорошо различаются бурые и каменные угли. Разделение стадий выхода влаги, окисления и сгорания угля происходит только на образце каменного угля, а кривые бурых углей демонстрируют наложение этих стадий, так как их кривые скорости изменения массы нигде не достигают нуля, то есть при равных условиях проведения анализа бурые угли только теряют

массу и не демонстрируют прироста массы на стадии, характерной для реакции окисления, в отличие от каменных углей. То есть определение склонности угля к самовозгоранию методом ТГА по набору массы при поглощении кислорода в низкотемпературной области нагревания для бурых углей не подходит из-за наложения процессов выхода влаги на процесс поглощения кислорода.

Планируется изучить поведение предварительно подсушенных бурых углей, антрацита и исследовать угли разной степени метаморфизма при нагревании и термическом разложении в различных условиях ТГА, в том числе в изотермических.

### **Список литературы**

1. Линденау Н.И., Маевская В.М., Вахрушева Е.С. и др. Каталог углей СССР, склонных к самовозгоранию. М.: Недра, 1981. – 416 с.

2. Подгаецкий А.В., Горр Д.А., Жуков Е.Б. Научно-практические направления расширения и комплексного освоения угольной сырьевой базы Монголии // Химия твердого топлива. – 2022. – № 4. – с. 62–72.

3. Ульянова Е.В., Малинникова О.Н., Докучаева А.И., Пашичев Б.Н. Влияние неоднородности структуры угольного вещества на склонность угля к самовозгоранию / Химия твердого топлива. – 2022. – № 6. – С. 18–24.

**УДК 552.1+622.2**

## **ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ РАЗРУШЕНИЯ УГЛЕЙ НА ОБРАЗОВАНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНОЙ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ**

**Козырев М.М., Коссович Е.Л., Эпштейн С.А.**

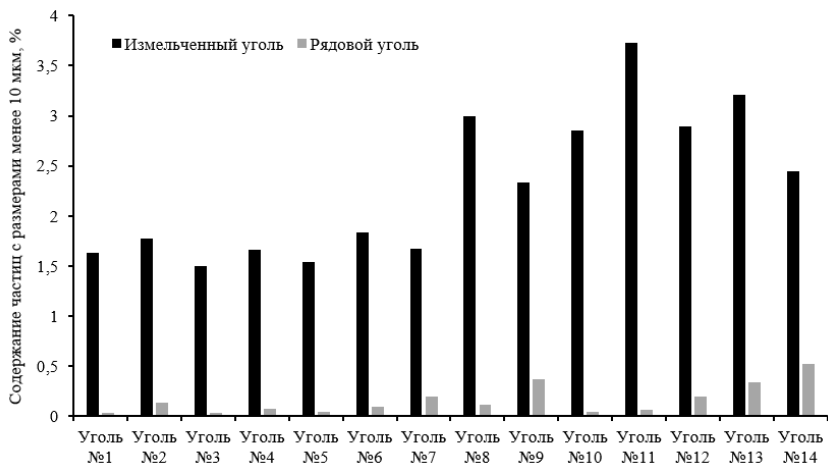
*НИТУ МИСИС, НИИЛ «Физико-химии угля»*

Уголь – это осадочная горная порода, образовавшаяся в результате сложных природных изменений из растительного сырья [1]. В процессе добычи и переработки уголь подвергается различным механическим воздействиям, которые приводят к разрушению угля и образованию пыли. При этом следует отметить, что количество и гранулометрический состав образованной пыли будет зависеть не только от вида механического воздействия на угли, но и от их физико-механических свойств. Пыление является одной из основных проблем на угольных предприятиях. Наибольшую опасность представляет тонкодисперсная пыль, диаметр частиц которой менее 10 мкм. Данная пыль может нести большую опасность для здоровья людей и окружающей среды. Она может приводить к возникновению профессиональных легочных болезней не только у работников предприятий, но и у людей, живущих в регионах



добычи угля [2]. Наиболее распространенными среди заболеваний органов дыхания являются такие болезни легких как пневмокониозы, разновидности которых представляют антракозы и антракосиликозы. Эмиссия угольной пыли в окружающую среду может пагубно сказываться на качестве воды, почвы и атмосферного воздуха. Одним из очевидных примеров является загрязнение воздуха мелкими частицами угля, которые в свою очередь оседают на листьях растений, блокируя поры и затрудняя фотосинтез и дыхание [3]. Ее проникновение в почву и водные объекты может ухудшать развитие растительности и пагубно сказываться на качестве воды. При попадании в пыли в водоемы уменьшается количество кислорода, необходимого для нормального существования всех экосистем [3]. Угольная пыль также может быть одной из причин взрывов в шахтах. В связи с этим для планирования эффективных работ по пылеподавлению необходимо иметь информацию, как различные механические воздействия будут влиять на пылеемкость углей.

Для оценки влияния вида механического разрушения на образование тонкодисперсной угольной пыли были проведены работы по определению гранулометрического состава взвешенной пыли, выделенной из добытых углей и проб углей, полученных путем дробления на промышленных молотковых дробилках после их добычи. В качестве объектов исследования были выбраны угли разных марок и месторождений Российской Федерации, отличающиеся по петрографическому составу, зольности, произвольному показателю отражения витринита и т.д. В качестве метода определения гранулометрического состава угольной пыли использовали метод лазерной дифракции. Для прецизионного определения гранулометрического состава угольной пыли была использована аттестованная в установленном порядке «Методика измерений гранулометрического состава проб угольной пыли методом лазерной дифракции» (Свидетельство об аттестации методики измерений № 241.0032/RA.RU.311866/2022). Анализ полученных данных показал, что дополнительные механические воздействия на уголь могут приводить как к увеличению содержания в них пылевой фракции за счет дополнительного измельчения угольных частиц, так и к изменению долевого содержания в ней частиц с размерами менее 10 мкм. Последнее, по всей видимости, обусловлено дополнительным (при дроблении) разрушением угля с образованием новых частиц с размерами менее 10 мкм. На рисунке 1 представлен график сопоставления содержания частиц с размерами менее 10 мкм в механически измельченных и рядовых углях.



**Рисунок 1 - Сопоставления содержания частиц менее 10 мкм в измельченных и рядовых углях**

Исходя из представленного рисунка, интересно отметить, что прирост долевого содержания частиц с размерами менее 10 мкм в пылевой фракции происходит неравномерно. Отмечено, что содержание частиц с размерами менее 10 мкм в пылевой фракции механически измельченных углей и взвешенной пыли рядовых углей различно для углей близких марок. Следовательно, контроль содержания пыли в добытых углях и угольной продукции, подвергнутой механическим воздействиям, следует проводить индивидуально для каждого из видов продукции.

Работа выполнена в рамках Стратегического проекта «Технология устойчивого развития» Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».

#### **Список литературы**

1. Авгушевич И.В., Сидорук Е.И., Броновец Т.М. Стандартные методы испытания углей Классификации углей. – Москва: Реклама мастер, 2018. – 576 с.
2. Ворошилов Я.С., Фомин А.И. Влияние угольной пыли на профессиональную заболеваемость работников угольной отрасли // Уголь. – 2019. №4. С. 20–25.
3. Юркова А.А. Влияние угольной пыли на экологию // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2020. – № 3–1. – С. 11–13.

## О ВОЗМОЖНЫХ ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Бредихин А.Ю., Добрынин А.А.

*ИПКОН РАН*

Подземная добыча полезных ископаемых является одним из самых сложных направлений в горном деле. В шахтах и рудниках опасных по газу, угольной, сульфидной пыли, а также другим опасным факторам, которые, например, возникают вследствие нефтепроявлений, что в последнее время стало встречаться всё чаще в рудниках на глубинах более 1 км от земной поверхности. В связи с этим необходимо учитывать взрывоопасность окружающей среды и другие опасные факторы, а также реальные условия работы горных предприятий, чтобы правильно выбрать взрывчатые вещества (ВВ), взрывную или другую эффективную технологию и этому сейчас уделяется большое внимание учёных различных стран мира [1-5].

Одним из негативных факторов при использовании энергии взрыва при разрушении горных пород в подобных условиях является температура взрыва, от которой во многом зависит вероятность воспламенения окружающей ВВ взрывоопасной среды.

В отличие от ВВ, при взрыве которого имеет место детонационный процесс, температура воспламенения газогенераторов значительно ниже, поэтому вопрос экспериментального опробования газогенераторов в подземных условиях во взрывоопасных средах или в условиях имитации взрывоопасной среды сегодня актуален.

Газогенератор давления шпуровой (ГДШ) [6], например, применяется, при демонтаже зданий и сооружений, ликвидации негабаритов, добычи блочного камня и др.

Составы газогенераторов [5-8] представляют собой композицию из твердого окислителя и углеводородов, при этом возможно добавление алюминия или газогенерирующих добавок. Эти компоненты могут быть представлены разными веществами и в разных пропорциях. В составе ГДШ в качестве окислителя могут быть использованы:  $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ ,  $\text{NaClO}_3$ ,  $\text{KClO}_3$ ,  $\text{KClO}_4$  или их смеси. В качестве горючего могут быть использованы одно- и многоатомные спирты или их смеси: метанол, этанол, этиленгликоль, пропанол, пропиленгликоль, бутанол, 1,4 Будандиол, глицерин или нефтепродукты: бензин, керосин, дизельное топливо, низковязкие масла или их смеси, а также низкомолекулярные органосилоксаны, например: гексаметилдисилоксан или ундекометилпентасилоксан, или растительные масла: кукурузное, подсолнечное, рапсовое или смеси этих масел.

Главной задачей газогенераторов является создание избыточного давления в шпуре в режиме дозвукового горения – дефлаграции. Принцип действия, заключается в создании с помощью шпуров с газогенераторами линии концентрации напряжения, по которой произойдёт частичный откол горной породы от массива. Так как скорость реакции смеси в газогенераторах значительно меньше, чем у штатных ВВ, то это даёт определённые преимущества газогенераторов относительно ВВ:

- низкое сейсмическое воздействие на окружающий массив и охраняемые объекты, в т.ч. подземные коммуникации;
- образование слабой ударно-воздушной волны (УВВ);
- отсутствие бризантных свойств.

Отсутствие бризантного воздействия газогенератора эффективно помогает при добыче блочного (штучного) камня. Это наглядно продемонстрировано на примере Нижне-Санарского месторождения. Начиная с 2015 г. существенное повышение стоимости импортного оборудования, и особенно алмазного каната, привело к значительному увеличению затрат на подготовку блоков к выемке. Учитывая очень высокий расход алмазного каната в гранитных породах – 1 м на 7 м<sup>2</sup> пропила, на предприятии занялись поиском снижения затрат на отделение блоков камня от массива. Было принято решение применить комбинированный способ отделения монолитов от массива, который заключается в том, что горизонтальный пропил выполняется алмазно-канатной пилой, а вертикальные плоскости создаются с помощью ГДШ. В результате оценки эффективности с двух схем было установлено, что расходы на отделение монолита сокращаются на 47%, и это составляет 3,3 млн. руб. экономии в год [9].

Что же касается таких качеств как незначительное сейсмическое воздействие и слабая УВВ, то данные характеристики пригодились при работе в стеснённых условиях. ГДШ помогли выполнить задачу по демонтажу конструкции из армированного бетона на расстоянии всего 0,1 м от охраняемого объекта. При выполнении данной работы было обнаружено, что скорость колебаний грунта и интенсивность воздействия акустических взрывных волн при срабатывании патронов ГДШ примерно в 2 раза меньше, чем при взрыве заряда ВВ такой же массы [10].

В заключении можно отметить, что вопрос применения газогенераторов в условиях шахт и рудников опасных по газу, пыли и нефтепроявлениям изучен явно недостаточно, хотя приведённый краткий анализ и опыт зарубежных специалистов [5], показывают, что технология дробления горных пород с помощью газогенераторов в сложных, подземных условиях может оказаться достаточно безопасной и эффективной.

#### Список литературы

1. Вюников А.А., Ворожцов С.Г., Пуль Е.К., Хоютанова Н.В. Подземные работы в горном массиве рудника «Интернациональный», подверженном газодинамическим явлениям. // Горный журнал. 2021. № 1. С. 76–80.

2. Андрейко С.С. Современная ситуация, связанная с газодинамическими явлениями на действующих калийных рудниках. // Горное эхо. - 2019. - №2(75). - стр. 82–89.

3. Álvarez-Fernández M.-I., Prendes-Gero M.-B., Peñas-Espinosa J.-C., González-Nicieza C. Innovative techniques in underground mining for the prevention of gas dynamic phenomena. *Energies*. 2021. Vol. 14, Iss. 16. 5205.

4. Dingqi Li. Hydraulic drill hole reaming technology with large flow and draining of coal mine gas. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. Vol. 29, Iss. 6. pp. 925–932.

5. Özsarikamı S. E. The usage areas of the pyrotechnic rock breaker cartridges and the peak particle velocity estimation in the related rock formation. *Proceedings of the 8th Drilling and Blasting Symposium*. Istanbul, 2015.

6. Газогенератор давления шпуровой, картридж для изготовления газогенератора шпурового (варианты), приспособление для заполнения картриджа горючим, способ изготовления газогенератора давления шпурового непосредственно перед применением и способ закладки газогенератора в шпур (варианты). Брагин П.А., Маслов И.Ю., Наумов А.В. Патент на изобретение RU 2633606 С1, 13.10.2017. Заявка №2016136419 от 12.09.2016.

7. Газогенератор для направленного разрушения горных пород. Парамонов Г.П., Ковалевский В.Н., Кирсанов О.Н. Патент на изобретение RU 2477791 С1, 20.03.2013. Заявка №2011133733/03 от 10.08.2011.

8. Способ разрушения природных и искусственных объектов. Кирсанов О.Н., Кирсанов Н.О., Кирсанов И.О. Патент на изобретение RU 2153069 С1, 20.07.2000. Заявка №98121298/03 от 11.11.1998.

9. Применение газогенераторов хлоратных патронированных на Нижне-Санарском месторождении для добычи гранодиорита. Караулов Н.Г., Каримов Т.Р., Белесева К.В., Копрев И.Г. // В сборнике: Добыча, обработка и применение природного камня. Сборник научных трудов Международной технической конференции. Под редакцией Г.Д. Першина. - 2017. - С. 40-47.

10. Селявин А.И., Ненахов И.А., Фоменкова В.Е., Ганопольский М.И. Разрушение монолитного железобетонного фундамента с использованием невзрывных разрушающих средств // Взрывное дело. № 113-70. - М.: 2015. - С. 243-259.

**УДК 622.2.03; 662.25**

## **ОПЫТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭВВ НА УДОКАНСКОМ МЕДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**

**Кондрашов А.В., Ковальчук И.О., Добрынин А.А.**

*ИПКОН РАН*

Прежде чем проектировать и создавать серьёзное производство в промышленности, например, завод для изготовления эмульсионной

матрицы (ЭМ), которая является основой для получения в дальнейшем эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ), необходимо знать свойства ЭВВ, характеристики которых могли бы идеально соответствовать тем, которые требуются для разрушения горных пород на конкретном месторождении. Однако, если помнить, что каждое месторождение полезных ископаемых уникально, т.е. неповторимо в геологическом плане, то заранее совсем непросто угадать с той рецептурой ЭВВ, которая идеально подойдёт именно для какого-либо конкретного месторождения, которое ещё предстоит освоить и, как обычно бывает, ещё и доизучить в процессе его освоения. Поэтому прежде чем что-то начинать разумно провести отработку модельных составов ЭВВ одновременно с уточнением оптимальных параметров буровзрывных работ (БВР), причём в условиях реального месторождения полезного ископаемого на предварительной стадии его промышленного освоения.

Несомненно уникальным месторождением является Удоканское месторождение меди, расположенное в Каларском районе Забайкальского края, в 23 км к югу от пос. Новая Чара и одноименной железнодорожной станции Восточно-Сибирской железной дороги Байкало-Амурской Магистрали, в 650 км к северо-востоку от г. Чита.

Каларский район характеризуется сложными природно-климатическими условиями и относится к горно-таежным районам Крайнего Севера. Удоканское нагорное месторождение [1] расположено в высокогорной части хребта Удокан, Олекмо-Витимской горной страны (Станового нагорья). Район месторождения характеризуется высокогорным расчлененным рельефом. Абсолютные отметки поверхности в пределах участка работ составляют 1500-2160 м. Характерны сглаженные водоразделы, покрытые элювиальными глыбовыми россыпями. Склоны гор крутые около 35-40°, большей частью покрытые крупно- и средне-глыбовыми осыпями. Относительные превышения составляют 300-600 м. Широко развиты явления, присущие области распространения многолетнемерзлых пород, включая термокарстовые воронки, курумы, каменные потоки и поля, высокогорные террасы, бугры пучения, наледи, полигональный и грядовый рельеф.

Мощность основного меденосного горизонта месторождения изменяется в пределах 100-350 м. Кроме того есть отдельные пласты медистых песчаников, разобшённые мощными прослоями безрудных пород.

Рудные тела с промышленными содержаниями меди внутри горизонта распространены, в основном, в западной от долины р. Наминги части месторождения. При общей длине выхода меденосного горизонта, равной здесь 14,5 км, промышленное оруденение установлено

на протяжении 11,2 км. В части месторождения, лежащей к востоку от долины р. Наминги, длина выхода меденосного горизонта составляет 10,5 км, а суммарная протяжённость участков с промышленным оруденением – всего лишь 3,3 км.

Меденосный горизонт сложен, в основном, кварц-полевошпатовыми и кварцевыми песчаниками, и алевролитами с кварцево-серицитовым, карбонатно-кварцево-серицитовым и серицитовым цементом; количественные соотношения компонентов в обломочной фракции и в цементе варьируют в широких пределах. Песчаники тонко- и мелкозернистые различных оттенков серого цвета, имеют кварцитовидную структуру с большим многообразием текстурных рисунков. Выделяется несколько разновидностей песчаников: известковистые с различным содержанием карбонатного материала в цементе, «железистые», в которых слоистость подчеркнута минералами тяжёлого шлиха (главным образом, мартит и магнетит).

Даже небольшая справка о геологии месторождения показывает, что осваивать его не просто, при этом необходимо будет отработать все технологические параметры БВР, напрямую зависящие от эффективности ЭВВ разных рецептур, которые необходимо подобрать под конкретные горные породы месторождения. Учитывая, что планируемый объём добычи меди только на начальном этапе составляет не менее 12 млн. т руды в год, а далее не менее 36 млн. т в год, то указанные исследовательские работы в большом объёме следует выполнить довольно оперативно, не дожидаясь, когда будет запущен основной производственный комплекс. К его запуску должно быть получено чёткое понимание того, какие составы ЭМ и ЭВВ необходимо надо будет делать и какие параметры БВР для разных видов горных пород будут оптимальны.

Для отработки рецептур ЭМ и ЭВВ в апреле 2024 г. на месторождение был поставлен мобильный модульный технологический комплекс с небольшой производительностью. После завершения необходимых научно-исследовательских работ и запуска основного химического производства модульный комплекс может быть оперативно переброшен на другое месторождение полезного ископаемого для решения подобных задач уже там.

Мобильный модульный технологический комплекс позволяет, вблизи места производства взрывных работ, развернуть производство ЭМ и раствора газогенерирующей добавки (ГГД), для чего требуется только подключение к электроснабжению.

Конструктивно комплекс выполнен в виде 2-х 40 футовых контейнеров и состоит из производственного и вспомогательного модулей,

которые перевозятся к месту работы на стандартном полуприцепе контейнеровозе.

Для приведения технологического комплекса в рабочее положение необходимо: установить контейнеры на ровную твердую поверхность; подключить электрические кабели, в т.ч. кабель внешнего электропитания; присоединить переходные технологические шланги; запустить модули расходными компонентами; заполнить систему нагрева технологических емкостей, оборудования, отопления водой из встроенной емкости; выгнать воздух и запустить котельное оборудование. И всё - комплекс готов к работе.

Технологический комплекс предназначен для приготовления следующих невзрывчатых компонентов ЭВВ: ЭМ - конечный продукт, раствор окислителя (водный раствор аммиачной селитры) – полуфабрикат, топливный раствор (смесь жидкого топлива и эмульгатора) – полуфабрикат; раствор газогенерирующей добавки (ГГД) – конечный продукт. Данные о производительности комплекса и о потребляемой им электроэнергии представлены в табл. 1.

Таблица 1

#### Производительность и потребление электроэнергии

Техническая характеристика	Норма показателя
Производительность	За 8-ми часовую смену: 24 т ЭМ и 500 кг ГГД. При 250 рабочих днях в году, при односменной работе: годовая производительность 6000 т ЭМ
Потребление электроэнергии	37 кВт либо автономный генератор

После изготовления ЭМ и ГГД перекачиваются в смесительно-зарядную машину, которая отвозит компоненты на заряжаемый блок, где в процессе зарядания скважин формируется заряд ЭВВ.

**Вывод.** На Удоканском месторождении практически закончен монтаж пилотной установки - модульного технологического комплекса (научной лаборатории), который обеспечит возможность проведения исследовательских работ с целью определения оптимальных рецептур ЭМ и ЭВВ, по результатам чего, в дальнейшем, будут установлены наиболее оптимальные параметры буровзрывных работ для всего многообразия горных пород, представленных на месторождении.

#### Список литературы

1. Ильин С.А. Технология открытой разработки нагорных месторождений (часть 1). Учебное пособие. М.: МГИ, 1991. – 58 с.



## УЧЕТ СТРУКТУРНЫХ НАРУШЕНИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Дмитриев С.В.

*ГoИ КНЦ РАН*

При ведении горных работ как открытым, так и подземным способом, негативным фактором является тенденция усложнения горнотехнических и горно-геологических условий. Интенсивность горных работ, воздействие тектонических напряжений, а также наличие разного рода и масштаба разломных структур требуют заблаговременного учета и анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород при геомеханическом обосновании и проектировании горных работ. Ряд технологических проблем при выемке полезных ископаемых связан с процессами, происходящими на контактах и при взаимодействии различных материалов на границах сред. Сдвиг по структурным неоднородностям в нарушенном массиве представляет собой смещение блоков массива горных пород друг относительно друга, что может приводить к потере устойчивости элементов горной технологии. Поведение пород со структурными нарушениями под нагрузкой зависит не только от типа и величины прикладываемых нагрузок, но и от различных свойств трещин — жесткости и прочности, геометрии трещин, ориентации, устойчивости и т.д. Поэтому, при моделировании напряженно-деформированного состояния массива горных пород, как на уровне моделей месторождений и их блоков, так и отдельных элементов горной технологии, важно учитывать геометрические и прочностные параметры на контакте разломных структур. В рамках конечно-элементного анализа НДС с учетом геологических структур возможно применение специальных контактных элементов, позволяющих задавать прочностные параметры интерфейса между блоками.

В проведенных ранее работах [1,2,3] установлено, что использование контактных элементов наиболее эффективно при моделировании трещин закрытого типа. В качестве объекта исследования был выбран участок месторождения Олений ручей, расположенного на юго-восточном фланге ийолит-уртитовой дуги Хибинского массива. Исследовано поле напряжений в окрестности подводящей выработки к РС-6 (20/-100) на глубине около 650м от дневной поверхности, пересеченной закрытой трещиной без явного наличия заполнителя (рис. 1). Уровень

сжимающих напряжений в нетронutom массиве по данным натуральных измерений  $30 \text{ МПа} < \sigma_{\text{max}} < 40 \text{ МПа}$ . По геодинамической характеристике массива (получена от службы прогноза и предотвращения горных ударов рудника), участок выработки до пересечения с трещиной классифицируется категорией состояния «Г», после пересечения - категорией состояния - «В».

Категория состояния «В» характеризуется действующими напряжениями  $\sigma_d \leq 0,5\sigma_c$ , где  $\sigma_d$  - компонента главных напряжений, направленная по нормали к выработке;  $\sigma_c$  - предел прочности пород на одноосное сжатие. Возможные формы проявления горного давления: постепенные отслоения по трещинам, шелушение, незначительное (очаговое) динамическое заколообразование, время созревания заколов после обезопасивания – дни/недели.

Категория состояния выработок – «Г», характеризуется действующими напряжениями  $0,5\sigma_c < \sigma_d \leq 0,7\sigma_c$ . Наблюдаемые формы проявления горного давления в выработке: интенсивное шелушение, динамическое заколообразование пород на контуре выработки.



**Рисунок 1 - Кровля  
подводящей выработки  
к РС-6 (-20/-100) пересеченной  
закрытой трещиной**

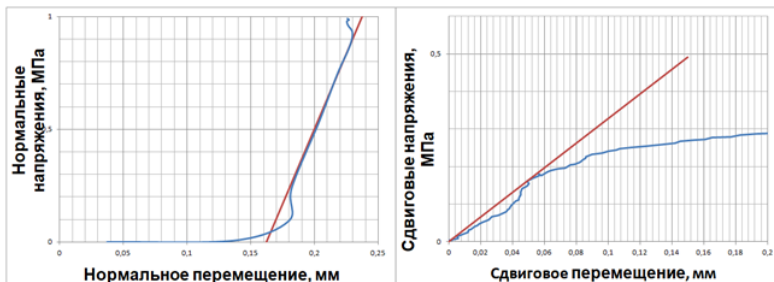
По фактической геологической характеристике, массиву в окрестности выработки присвоена 2 категория по прочности, интенсивность трещиноватости 4-ой категории (сильнотрещиноватые) и устойчивость 3-ей категории (слабоустойчивые). Выработка пройдена по вмещающим породам и подсечена крутопадающей трещиной с углом падения  $70^\circ$  и простиранием на северо-восток.

В лаборатории «Инструментальных исследований состояния горных пород Арктической зоны РФ» ГоИ КНЦ РАН на автоматизированном испытательном комплексе «АСИС» были произведены лабораторные испытания образцов керна уррита на сдвиг и получены величины нормальной и тангенциальной жесткости.

Нормальная и тангенциальная жесткость представляют собой механические характеристики неоднородности, которые влияют на дефор-

мируемость трещиноватых пород под действием напряжений. Образец отбирают из трещиноватой горной массы, готовят и проводят испытание на прямой сдвиг в условиях постоянного нормального нагружения [4]. Далее строится график зависимости деформаций от приложенных нормальных и тангенциальных нагрузок (рис. 2). К полученным кривым строятся касательные, угол которых характеризует отношения:

$$k_s = \frac{\Delta \sigma_s}{\Delta u_s}; \quad k_n = \frac{\Delta \sigma_n}{\Delta v_n} \quad (1)$$



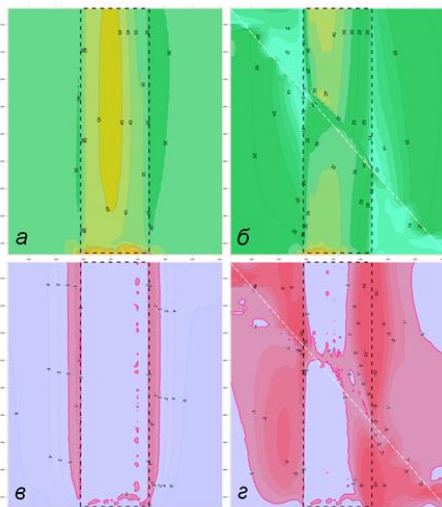
**Рисунок 2 - Графики зависимостей деформации от приложенной нагрузки, при испытании на сдвиг образца ургита**

Получены значения нормальной и тангенциальной жесткости:  $k_n = 1.33e^4 \frac{\text{МПа}}{\text{см}}$  и  $k_s = 3.27e^3 \frac{\text{МПа}}{\text{см}}$ . Эти величины используются для описания контакт-элементов в дальнейшем исследовании.

Поскольку трещина имеет определенную протяженность, контактная жесткость будет представлена интегральной величиной по всему слою контактных элементов, аналогично модулю Юнга и коэффициенту Пуассона, характеризующим конечные элементы для отдельных типов пород модели.

Оценка максимальной компоненты главных напряжений  $\sigma_{\max}$  показала, что модель без внедрения контактного элемента характеризуется однородностью поля напряжений, тогда как при внедрении слоя контактного элемента по поверхности трещины наблюдается анизотропная картина (рис. 3).

По минимальной компоненте имеют место зоны концентрации растягивающих напряжений, переходящих из кровли в стенки выработки. При этом в стенках выработки фиксируются более низкие значения сжимающих напряжений  $\sigma_{\max}$ , а по минимальной компоненте имеют место зоны выраженных растягивающих напряжений.



**Рисунок 3 - Распределение напряжений в кровле выработки а) -  $\sigma_{\max}$  без учета трещины; б) -  $\sigma_{\max}$  с учетом трещины; в) -  $\sigma_{\min}$  без учета трещины; г) -  $\sigma_{\min}$  с учетом трещины**

В результате проведенного исследования были определены особенности НДС приконтурного массива выработки с учетом крутопадающей структурной неоднородности и параметров техногенного поля напряжений, при действии максимальных сжимающих напряжений под углами, отличными от нормального направления, по отношению к самой структуре. Получены результаты, подтверждающие фактическую геодинамическую характеристику участка массива в окрестности исследуемого объекта.

### Список литературы

1. Дмитриев, С.В. Выявление особенностей распределения напряженно-деформированного состояния массива при вариации контактной жесткости разлома / С.В. Дмитриев, И.Э. Семенова // Горная промышленность. – 2023. – № S1. – С. 110-115. – DOI 10.30686/1609-9192-2023-S1-110-115.
2. Дмитриев, С. В. Обеспечение гетерогенности сетки при внедрении контактных элементов в трехмерные модели напряженно-деформированного состояния / С.В. Дмитриев, И.Э. Семенова, А.А. Шестов // Цифровые технологии в горном деле: Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции, Апатиты, 16–18 июня 2021 года / Горный институт Кольский научный центр Российской академии наук, 2021. – С. 23.
3. Dmitriev, S. The numerical modeling of heterogeneities by the finite element method in 3D setting / S. Dmitriev, I. Semenova, A. Shestov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : Proceedings of the EUROCK 2021 Conference on Rock Mechanics and Rock Engineering, Turin, Italy, 20–25

сентября 2021 года. Vol. 833. – Turin, Italy: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012094. – DOI 10.1088/1755-1315/833/1/012094

4. Shahverdiloo, Mohammad & Zare, Shokrollah. (2021). Studying the normal stress influential factor on rock joint stiffness using CNL direct shear test. Arabian Journal of Geosciences. DOI: 14. 10.1007/s12517-021-08449-6.

**УДК 622.1:622.016:622.83**

## **ОСОБЕННОСТИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОВАЛООПАСНЫХ ЗОН**

**Колесник М.В., Дуброва Н.А.**

*ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк*

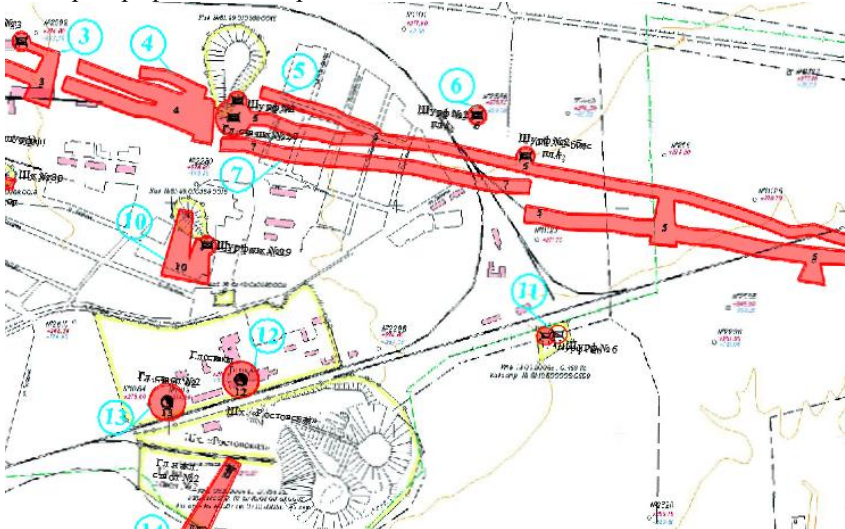
Добыча каменного угля в Донбассе ведется с начала XVIII века. За это время горными работами около 2500 шахт подработана земная поверхность площадью более 8 тыс. км<sup>2</sup>. Из недр извлечено порядка 11,5 млрд. тонн горных пород, при этом в массиве горных пород остались пустоты в очистных, капитальных и подготовительных выработках, так как в подавляющем большинстве случаев, закладка пустот не производилась. Такая активная техногенная деятельность привела к значительному изменению состояния массива горных пород и земной поверхности, но, несмотря на это, имело место состояние определенного равновесия. Массовое закрытие шахт спровоцировало новые кардинальные изменения свойств и состояния подработанного массива горных пород, активизацию геомеханических процессов с последующей самоликвидацией пустот и повысило риски образования провалов на земной поверхности. Известно, что на территории Донбасса насчитывается более 13 тыс. старых горных выработок, имеющих выход на земную поверхность и являющихся потенциальными источниками образования провалов [1-3]. При этом информация о местоположении многих из них была безвозвратно утеряна. Поэтому, проблема выявления и картирования провалоопасных зон никогда не теряла свою актуальность и обострилась в связи с массовой ликвидацией угледобывающих шахт.

На данный момент РАНИМИ выполняет работу по созданию карты провалоопасных зон г. Донецка на основании методики, изложенной в [1, 2]. С целью обобщения, унификации и систематизации имеющейся информации, а также визуализации провалоопасных зон на актуальной картографической основе, что является критически важным аспектом для оценки возможных негативных последствий, разработана геоинформационная система провалоопасных зон г. Донецка.

В качестве картографической основы возможно использовать один из многих бесплатных картографических сервисов (например Яндекс

Карты, OpenStreetMap, Google Карты). Все предварительные графические построения выполняются в САПР AutoCAD, что весьма удобно для построений и измерений, но не дает возможности отображения зон, опасных по провалам, на актуальной карте земной поверхности (рис. 1).

Так как все визуально-ориентированные картографические сервисы работают в собственной системе координат (СК), то для переноса с высокой степенью точности геометрии объектов (контуров провалоопасных зон) возникает задача переопределения местоположения объектов в СК картографического сервиса.



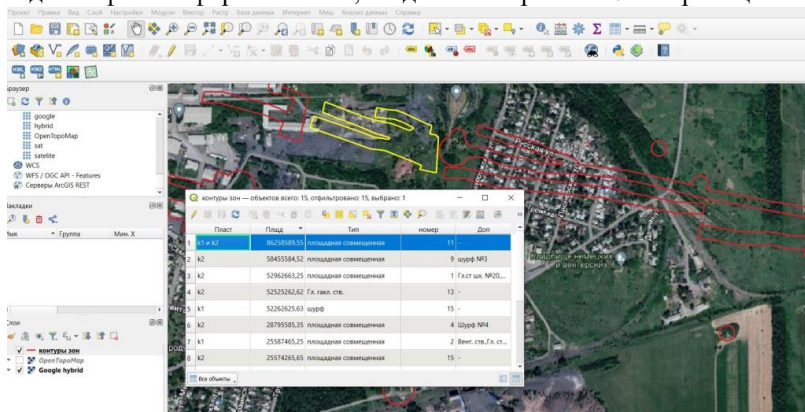
**Рисунок 1 - Пример построенных провалоопасных зон в САПР AutoCAD**

Для переопределения координат картографической основы совместно с геометрией провалоопасных зон используем фрагмент снимка идентичной области земной поверхности области в СК выбранного картографического сервиса. Для его получения применима, например, программа SASPlanet [4] – полностью открытая бесплатная портативная программа, позволяющая скачать произвольный фрагмент карты из картографического сервиса в высоком разрешении. Отметим, что фрагмент карты может быть скачан в привязке к СК путем создания изображения в формате GEOTIF, обеспечивающего представление растровых данных в формате TIFF совместно с метаданными о географической привязке, или же путем формирования отдельного привязочного файла. Обратим внимание, что выбранный участок местности должен иметь ряд

характерных, четко видимых объектов, которые будут использованы как опорные точки при ориентировании. Величина приближений определяется экспериментально в зависимости от желаемого разрешения картографической основы.

Полученный фрагмент карты импортируется в AUTOCAD CIVI или AUTOCAD Raster Design с привязкой к местоположению. По опорным точкам выполняется переопределение координат картографической основы вместе с геометрией провалоопасных зон в реальную СК выбранного картографического сервиса.

Предложенный способ переопределения координат позволяет отображать контуры провалоопасных зон на актуальной картографической основе открытых сервисов, импортировать в различные геоинформационные системы, например, в QGIS (рис. 2), в Google Earth с помощью создания файлов формата KML, создавать открытые html-страницы.



**Рисунок 2 - Результат отображения зон опасных по провалам в QGIS**

**Выводы.** Предложен способ переопределения координат и визуализации провалоопасных зон на актуальной картографической основе открытых картографических сервисов.

### Список литературы

1. Хохлов Б.В. Методика построения и обследования зон, опасных по провалам [Текст] / Б.В. Хохлов, В.А. Дрибан, С.В. Голдин, А.М. Терлецкий, М.Д. Рожко // Труды РАНИМИ: сб. научн. трудов. — Донецк: 2019. — С. 142-157.
2. Хохлов Б.В. Методика обследования провалоопасных зон [Текст] / Б.В. Хохлов // Труды РАНИМИ: сб. науч. тр. – Донецк, 2020. – №10-11 (25-26). – С. 31-35.

3. Дрибан В.А. Использование методов искусственного интеллекта для прогноза провалоопасности подработанных участков земной поверхности [Текст] / В.А. Дрибан, Б.В. Хохлов, Д.М. Хламов, А.В. Антипенко // Журнал «Маркшейдерия и недропользование». – № 4 (126).– 2023.– С. 36-42. DOI: 10.56195/20793332\_2023\_4\_36\_42., eLIBRARY ID: 54326537, EDN: CQHXUJ, ISSN: 2079-3332, ВАК, CrossRef.

4. О проекте / [Электронный ресурс] // SASGIS Веб-картография и навигация: [сайт]. — URL: <https://www.sasgis.org/o-proekte/> (дата обращения: 27.03.2024).

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАССИВА ПОРОД ЖДАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОГО ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ**

**Кулькова М.С.**

*Горный институт КНЦ РАН*

Ждановское месторождение, расположенное на северо-западе Мурманской области, является одним из крупнейших месторождений медно-никелевых руд в России. Запасы Ждановского месторождения разрабатывают подземным рудником «Северный» с производительностью 6 млн. т руды в год, при этом актуальная глубина ведения горных работ составляет порядка 650 метров. Такие значительные объемы добычи стимулируют процесс понижения фронта очистных работ, что осложняет геомеханическую ситуацию [5, 2, 3].

Процессы, связанные с проявлениями горного давления, как правило, развиваются постепенно, и для возникновения условий динамического разрушения должны быть выполнены два условия. Первым условием является то, что породы и руды, слагающие месторождение, должны иметь способность накапливать значительное количество упругой энергии под действием напряжений в массиве с дальнейшей ее реализацией в виде хрупкого разрушения. Вторым необходимым условием потенциального динамического разрушения является действие таких величин напряжений, значения которых близки или превышают пределы прочности массива горных пород при сжатии [1, 4]. В связи с этим, геомеханическое обоснование и прогноз трансформации напряженно-деформированного состояния массива горных пород являются актуальными и необходимыми условиями для обеспечения безопасности ведения горных работ.

С целью оценки склонности горных пород к хрупкому разрушению и удароопасности выполняют лабораторные испытания образцов,



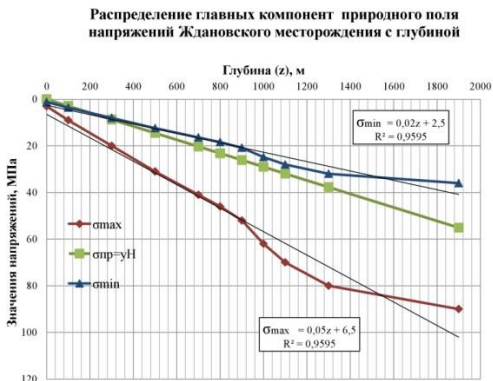
включающие исследования широкого спектра физико-механических характеристик. В результате обработки и систематизации результатов лабораторных исследований физико-механических свойств основных породных разностей Ждановского месторождения определено, что они все относятся к прочным скальным горным породам, способны к накоплению упругой энергии и разрушению в динамической форме. Все типы пород Ждановского месторождения являются удароопасными.

Для оценки прочностных свойств массива пород Ждановского месторождения выполнено определение качественных характеристик геологической среды. Установлено, что прочностные характеристики массива пород Ждановского месторождения снижаются в среднем в 2-4 раза относительно прочности при сжатии в образцах в зависимости от литотипа. Наиболее ослабленным является массив вмещающих туфогенно-осадочных пород с коэффициентом структурного ослабления  $k_c=0,25$ . Для массива рудных тел, представленного интрузивами основного состава (перидотиты, пироксениты)  $k_c=0,36$ . Наименее ослабленным структурной неоднородностью является вмещающий массив интрузивов ультраосновного состава (диабазы, габбро, габбро диабазы):  $k_c=0,44$ .

Для определения величин и направлений действия главных компонент напряжений выполняют комплекс натурных исследований в условиях массива горных пород. В результате исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород Ждановского месторождения натурными методами, включающими визуальное обследование состояния выработок и применение метода полной разгрузки в торцевом варианте определено, что тип поля напряжений изучаемых месторождений является гравитационно-тектоническим с преобладанием тектонической составляющей. Главные компоненты тензора  $\sigma_{max}$  и  $\sigma_{min}$  отклоняются от горизонтали в диапазоне  $\pm 25^\circ$ , вектор  $\sigma_{max}$  направлен вдоль простирания рудных тел с азимутом  $\approx 120^\circ$ . Промежуточная компонента является гравитационной.

На основании комплексных данных, полученных по результатам лабораторных испытаний основных породных разностей Ждановского месторождения и натурных исследований напряженного состояния для определения параметров поля напряжений нетронутого массива пород Ждановского месторождения выполнена реконструкция геомеханической ситуации с использованием метода численного моделирования в программном комплексе Sigma GT. В результате реконструкции природного поля напряжений определено, что соотношение главных компонент тензора напряжений составляет:  $\sigma_{max}:\sigma_{np}:\sigma_{min}=1:0,5:0,4$ , при этом изменение тектонических компонент природного поля напряжений

с глубиной описывается зависимостями:  $\sigma_{max}=0,05 \cdot z+6,5$ , МПа;  $\sigma_{min}=0,02 \cdot z+2,5$ , МПа (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Линейная аппроксимация изменения главных компонент природного поля напряжений массива пород Ждановского месторождения с глубиной**

Для геомеханического обоснования безопасного ведения горных работ, прогноза трансформации напряженно-деформированного состояния и определения областей развития критических состояний массива пород Ждановского месторождения в процессе ведения горных работ был разработан комплекс разномасштабных численных геомеханических моделей.

На основании анализа результатов численного моделирования напряженного состояния массива определено, что на моделируемом этапе ведения горных работ значения максимальных напряжений в некоторых областях достигают уровня критических для реализации динамического разрушения горных пород. С учетом склонности пород и руд Ждановского месторождения к динамическому разрушению, при достижении критических значений напряжений на глубинах ниже 700 м возможно создание условий для реализации потенциальной удароопасности. Разработаны способы разгрузки массива на нескольких масштабных уровнях и обоснованы варианты развития горных работ.

Полученные в работе результаты исследования напряженно-деформированного состояния и параметров массива пород Ждановского месторождения могут быть использованы при прогнозе устойчивости элементов горной технологии на глубинах свыше 700 метров от дневной поверхности. Помимо этого, закономерности распределений напряжений с глубиной, в том числе в процессе ведения горных работ, могут быть учтены при исследованиях и эксплуатации месторождений, схожих по геологическим и горнотехническим условиям.

## Список литературы

1. Козырев А.А., Семенова И.Э., Земцовский А.В. Об оценке удароопасности массива горных пород Ждановского месторождения // Труды Фермановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. - 2017. - №14. - С. 300-303.
2. Рассказов И.Ю. Геомеханическая оценка условий разработки глубоких горизонтов полиметаллического месторождения «Южное» / И.Ю.Рассказов, Г.А.Курсакин, М.И.Потапчук // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 5. С. 125-134.
3. Сидоров Д.В. Методология снижения удароопасности при применении камерно-столбовой системы разработки Североуральских бокситовых месторождений на больших глубинах // Записки Горного института. 2017. Т. 223. С. 58. DOI: 10.18454/PMI.2017.1.58
4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 г. № 505.
5. Li J., Tang S., Tang L. et al. Study on the characteristics of rockbursts in deep-buried tunnels based on microseismic monitoring // Environ Earth Sci. 2023. Vol. 82, p. 357.

УДК 622.272.63

### ЛАБОРАТОРНАЯ АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ПРОГНОЗА ВЫБРОСООПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ, ОСНОВАННОГО НА РЕШЕНИИ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ

Назарова Л.А.<sup>1</sup>, Николенко П.В.<sup>2</sup>, Назаров Л.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ИГД СО РАН, г. Новосибирск

<sup>2</sup>НИТУ МИСИС, г. Москва

**Введение.** Механизированная выемка угля комбайновой или струговой установкой сопровождается быстрым изменением напряженного состояния в углеродном массиве и может стать триггером катастрофических явлений [1]. Нарушения сплошности – наиболее «чувствительны» к таким измерениям, поэтому с ними ассоциировано большинство динамических событий [2]. Некоторые участки контакта угольного пласта с вмещающими породами зачастую представляют собой тонкие включения (линзы и прослойки) глинистых углей [3] с низкой прочностью на сдвиг. С приближением фронта очистных работ в окрестности этих слабых зон (WZ) возникают области горизонтального растяжения, которые могут стать очагами разрушения – такой механизм внезапного выброса, а также метод обнаружения WZ с помощью активного прозвучивания пласта с последующим решением обратной задачи предложен в

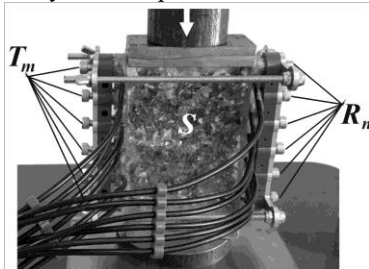
[4]. В настоящем сообщении описаны лабораторные эксперименты, подтверждающий теоретические результаты.

**Схема эксперимента.** Из эпоксидной смолы, хаотично заполненной слюдой, изготовлены образцы-параллелепипеды  $S$  (длина  $L=100$  мм, высота  $H=140$  мм, толщина 10 мм, рис. 1), акустические и деформационные свойства которых близки к таковым для углей средней крепости. Предварительные испытания (квазистатическое одноосное нагружение образца и УЗ измерения) позволили найти эмпирическую зависимость скорости продольных волн  $V$  от среднего напряжения  $\sigma$ :

$$V(\sigma) = A - B \exp(-\alpha \sigma), \quad (1)$$

где  $A=2040$  м/с,  $B=325$  м/с,  $\alpha=0,124$  МПа<sup>-1</sup>.

На вертикальных гранях были установлены по 6 пьезодатчиков ( $T_1 \dots T_6$  и  $R_1 \dots R_6$ ), которые выступали в качестве и источников, и приемников. WZ моделировались тонкими силиконовыми прослойками  $25 \times 10$  мм на краевых участках горизонтальных граней между образцом и плитами нагружающего устройства Instron 300DX. Образец подвергался ступенчатому вертикальному сжатию (напряжение  $s=1,2, \dots, 6$  МПа), на каждом шаге нагружения осуществлялось зондирование: источник  $T_m$  генерировал сигнал, который регистрировали (абсолютная точность 0.1 мкс) приемники  $R_n$  на противоположной грани. Время пробега  $t_{mn}$  продольной волны вычислялось по первому вступлению: в табл. 1 приведены значения  $t_{mn}$  при  $s=6$  МПа. Несимметрия ( $t_{mn} \neq t_{nm}$ ) обусловлена случайным расположением включений.



**Рисунок 1 - Образец в нагружающем устройстве (стрелка показывает направление сжатия) и расположение датчиков**

Таблица 1.

**Время  $t_{mn}$  пробега волны между датчиками при  $s = 6$  МПа**

	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
1	2	3	4	5	6	7
$S_1$	55.3	56.6	60.5	66.4	73.8	82.4
$S_2$	56.6	55.3	56.7	60.5	66.4	73.8

продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
$S_3$	60.5	56.7	55.4	56.7	60.5	66.3
$S_4$	66.3	60.5	56.7	55.4	56.7	60.4
$S_5$	73.7	66.3	60.5	56.7	55.3	56.6
$S_6$	82.2	73.7	66.3	60.5	56.6	55.3

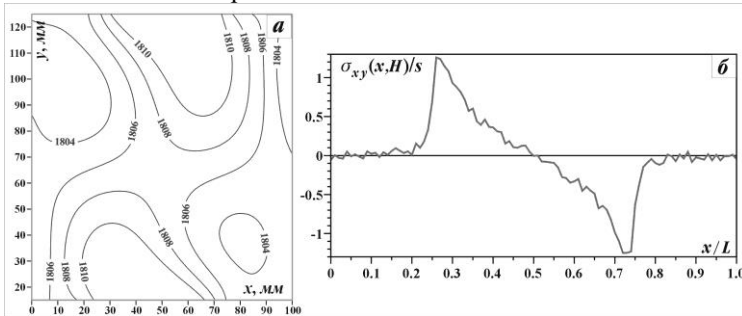
*Интерпретация данных эксперимента.* Томография образца проводилась по временам  $t_{mn}$  с использованием оригинальной процедуры [5]. На рис. 2а показано восстановленное поле скоростей продольных волн  $W(x,y)$  в освещенной области  $\{15 \leq x \leq L-15, 0 \leq y \leq H\}$  (ось  $x$  направлена горизонтально, ось  $y$  – вертикально вверх) при системе наблюдений  $\{T_m, R_n\}$  для  $s=6$  МПа.

По найденному полю скоростей с использованием (1) вычислялось распределение среднего напряжения

$$\Sigma(x, y) = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{B}{A - W(x, y)},$$

которое служило входными данными для реконструкции поля напряжений во всей области расчета  $\{0 \leq x \leq L, 0 \leq y \leq H\}$  на основе решения граничной обратной задачи [4].

Рисунок 2б демонстрирует восстановленное распределение касательного напряжения  $\sigma_{xy}$  при значении вертикального усилия  $s=6$  МПа. Можно видеть, что в краевых частях границы  $0 \leq x \leq 25$  и  $25 \leq x \leq L-25$  величина  $\sigma_{xy}$  мало отличается от нуля, что свидетельствует о «способности» предложенного в [4] подхода локализовать слабые зоны на границе «угольный пласт – вмещающие породы», являющиеся потенциальными очагами внезапных выбросов.



**Рисунок 2 - Восстановленное поле скоростей  $W(x,y)$  (м/с) (а); распределение касательных напряжений на верхней грани образца, найденное по  $W$  (б)**

**Заключение.** На физической модели верифицирован метод определения контактных условий на интерфейсной границе «уголь–порода», основанный на последовательном решении двух обратных задач по данным активной сейсмической томографии. Метод позволяет определить текущее напряженное состояние углепородного массива при ведении горных работ, поэтому его можно рассматривать как элемент системы контроля выбороопасности при выемке угольных пластов.

Работа выполнена в рамках проекта НИР (номер гос. рег. 124020700085-5).

### **Список литературы**

1. Забурдяев В.С., Малиникова О.Н., Трофимов В.А. Метанообильные шахты: добыча угля, газовыделение, метановая опасность. Калуга: Изд-во Манускрипт. - 2020. - 334 с.

2. Farmer I.W. Bursts and Instability. In: Coal Mine Structures. Springer, Dordrecht. 1985. P. 259-287.

3. Миронов К.В. Справочник геолога-угольщика. - 1988. - 363 с.

4. Карчевский А.Л., Назарова Л.А., Захаров В.Н., Назаров Л.А. Оценка напряженного состояния угольного пласта при произвольных условиях контакта с вмещающими породами на основе решения обратной задачи. // Горный журнал. - 2017. - № 11. - С. 37-40.

5. Захаров В.Н., Назарова Л.А., Протасов М.И. и др. Оценка горизонтальных компонент внешнего поля напряжений шахты «Воркутинская» по данным сейсмической томографии. // ФТПРПИ. - 2017. - № 6. - С. 23-31.

**УДК 622.831.6**

## **НОВЫЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗУ ПРОВАЛООБРАЗОВАНИЯ В ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЗОНЕ ОБВОДНЕННЫХ МАССИВОВ**

**Хохлов Б.В., Дрибан В.А.**

*ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк*

Многолетняя добыча угля в Донбассе привела к подработанности обширных техногеннонагруженных территорий на малых глубинах. К 1917 г. в Донбассе работало 1604 шахты, причем 95% из них работали на глубинах до 100 м. В период восстановления, после Великой Отечественной войны, для быстрого получения угля в бассейне было заложено свыше 600 мелких наклонных шахт с горными работами на малых глубинах.

В 2000 г. в Донбассе было около 200 шахт, в 2023 г. менее 20. Подавляющее число шахт, затапливается. Затопление выработанного пространства приводит к изменению физико-механических свойств горных

пород, активизации процессов сдвижения и образованию провалов земной поверхности. А в условиях крутого падения Центрального Донбасса образуются повреждения земной поверхности по линии выходов пластов под наносы по несколько десятков ежегодно.

Для обеспечения безопасной жизнедеятельности и восстановления техногеннонагруженных территорий Донбасса, необходимо иметь полную картину участков опасных по провалам, провалоопасных зон. На сегодняшний день не существует единого нормативного документа устанавливающего правила построения границ провалоопасных зон на дневной поверхности. Предлагалось несколько методик определения провалоопасных зон [1, 2]. Все они опираются на несколько нормативных документов, в которых уделялось внимание вопросам провалообразования над горными выработками. Применяемые в них расчетные формулы встречаются еще в нормативных документах 70-х годов прошлого века, и выводились они без учета возможности подтопления потенциально провалоопасных территорий и возраста горных выработок. В этих методиках нет прогноза провалообразования, на планах поверхности выделяются провалоопасные зоны и их считают опасными на неопределенный период.

Суммарная площадь провалоопасных зон, во всей площади горного отвода шахты довольно велика и составляет порядка 5-30% и в большинстве случаев, в частности на Донбассе, они расположены в населенных пунктах. Кадастровая стоимость таких земель весьма невелика, и поэтому, нам нужно иметь реальный прогноз провалообразования во времени.

В связи с этим в ФГБНУ «РАНИМИ» было принято решение применить метод прогноза на основе методов искусственного интеллекта. Составлена база данных повреждений земной поверхности над старыми горными выработками, эти данные использовались при тренировке нейронной сети [3] для прогноза образования провалов на земной поверхности над старыми горными выработками. Тренировка нейронной сети производилась по шести входным параметрам: глубина расположения выработки, степень метаморфизма пород, угол падения слоев пород, угол наклона самой выработки, фактор техногенных условий (учитывает влияние тектонических нарушений, горных работ на соседних пластах, затопления и др.) и возраст выработки. В настоящий момент нейросеть способна давать прогноз точностью до 94,6%.

Подавляющее большинство шахт Донецкого бассейна, включая восточный Донбасс (Ростовский), затоплено. В 2018-23 гг. в ФГБНУ «РАНИМИ» выполнялись работы по геодинамическому мониторингу горных отводов ликвидируемых шахт, который включал в том числе

и провалоопасных зон и их картирование на планах поверхности. В течение указанного периода были проведены геодинамические мониторинги на горных отводах 128 шахт.

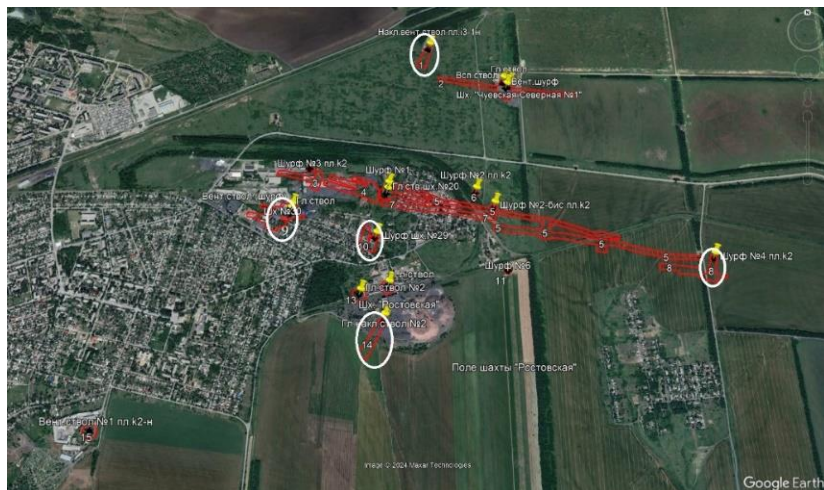
Новый подход к прогнозу провалообразования в приповерхностной зоне обводненных массивов заключается в том, что в начале производится построение и картирование нормативных провалоопасных зон на планах поверхности, а затем, с помощью нейронной сети, эти зоны оцениваются на предмет провалообразования в настоящее время. Опасность вертикальных горных выработок, имеющих выход на дневную поверхность очевидна, более того, они остаются опасны даже после ликвидации с учетом всех правил и требований и состояние их устьев подлежит регулярному мониторингу. Поэтому методика на основе нейронных сетей концентрирует внимание на объектах, представляющих менее очевидную опасность, а именно подземных протяженных выработках и наклонных стволах. В первую очередь отсеиваются площади (зоны), на которых процессы провалообразования уже должны были завершиться. Эти зоны уже достаточно безопасны и могут быть возвращены к хозяйственному использованию, в то время как по нормативной методике они остаются провалоопасными навсегда. Учет фактора времени провалообразования для различных условий, вероятно главное достоинство методики на основе нейронных сетей. При этом период провалоопасности на временной шкале может оказаться в прошлом (участок уже безопасен), в настоящем (участок опасен) или будущем (участок пока безопасен). К более детальному рассмотрению выделяются участки опасные на сегодняшний день и в ближайшем будущем на период до 20 лет.

Таким образом, в 2021-23 гг. были выполнены прогнозы провалообразования в приповерхностных зонах обводненных массивов 13 шахт Донбасса.

Так, например, на горном отводе шахты «Ростовская» Гуково-Зверевского углепромышленного района Донбасса, по результатам исследований было определено и картировано на плане поверхности шахты 15 нормативных провалоопасных зон. При обследовании указанных зон было выявлено три провала земной поверхности.

Как показали расчеты по нейронной сети, достаточно безопасными на сегодняшний день можно считать участки дневной поверхности над старыми выработками до глубины расположения по карбону около 20-30 м, где процессы провалообразования уже должны были завершиться и обнаруженные провалы и проседания земной поверхности, расположены именно в этих участках.





**Рисунок 1 - Поле шахты «Ростовская» с нанесенными нормативными провалоопасными зонами и зонами нейронной сети**

На поле шахты «Ростовская» выделено пять зон на которых остаются риски образования провалов в течении ближайших 20 лет, из этих пяти зон можно выделить одну зону №9, расположенную в жилой застройке, в которой в первую очередь, необходимо проводить регулярный геодинамический мониторинг. И таким образом существенно сокращается объем геодинамического мониторинга горного отвода шахты.

### Список литературы

1. Методическое руководство «О порядке выделения провалоопасных зон и выбора комплекса технических мероприятий по выявлению и ликвидации пустот на ликвидируемых шахтах Восточного Донбасса». – М.: ИПКОН РАН, 2007. – 34 с.
2. Хохлов Б.В. Методика построения и обследования зон, опасных по провалам / Б.В. Хохлов, В.А. Дрибан, С.В. Голдин, А.М. Терлецкий, М.Д. Рожко // Труды РАНИМИ: сб. науч. тр. – Донецк, 2019. – № 7 (22). – С. 142-157.
3. Driban V. Vorhersage des erdoberflächeabsturzes oberhalb der alten kohlenrubenräumen / V. Driban, V. Nazimko, A. Feofanov, I. Khalymendyk // Altbergbau – Kolloquium. – Freiberg. – 04. bis 06. November 2010. – P. 391-400.

## **ВЫДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА ИЗ ЗАШУМЛЁННЫХ ДАННЫХ ПРИ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ**

**Анциферов А.В., Мартынов Г.П., Грицаенко А.Ю., Сафин А.А.**

*ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк*

Рассмотрена проблематика записи и обработки малоамплитудных сигналов микросейсмических колебаний различными типами датчиков при проведении опытных исследований по обнаружению зон трещиноватости и скоплений метана на угольных шахтах в рамках работы № FRSR 2023-0007.

Сейсморазведочные работы по изучению угольных месторождений Донбасса начаты ещё в 1970-х годах. Основанием для их развития стало то, что разрывные нарушения пластов с относительным смещением блоков пород величиной менее 10 метров практически не выявляются данными разведочного бурения. Помимо тектонического строения при изучении ядерного материала производится оценка трещиноватости горных пород и выделение систем трещин, но при наклонном залегании пород разрешающая способность геологоразведки существенно падает [1, 2].

Проведение подземных работ на шахтах сопряжено с повышенной опасностью из-за аномальных скоплений метана, которые также не всегда выявляются во время геолого-геофизических исследований углеводородных скважин. Непредвиденное вскрытие коллекторов метана в горном массиве приводит к внезапным выбросам газа и авариям [3]. Для обнаружения скоплений метана наряду с активной сейсморазведкой всё чаще используются приём и обработка пассивных сейсмосигналов [4]. Поэтому перспективным геофизическим методом поиска скоплений метана является мониторинг низкочастотного сейсмического фона (микросейсмика), который позволяет оценить напряжённо-деформированное состояние углеродного массива, а также исследовать динамику образования и пространственные характеристики газоносных трещинных структур [5]. Это возможно благодаря тому, что спектр естественного сейсмического фона в частотном диапазоне 0,05-20 Гц для геологических структур, содержащих газ, существенно отличается от спектра структур, вмещающих только воду. Кроме этого, микросейсмические исследования позволяют выявлять закономерности проявления и источники сейсмичности в условиях сильных техногенных помех, исходящих от горно-шахтного оборудования [6, 7].

Датчики микросейсмических колебаний и сейсмостанции регистрируют низкоамплитудные сигналы в низкочастотном диапазоне [8, 9].

В качестве сейсмоприёмников чаще всего используют достаточно чувствительные широкополосные датчики с малым уровнем собственных шумов. Так, для лучших молекулярно-электронных и микромеханических велосиметров типовая чувствительность находится на уровне 2000 В/м/с, а нижний порог частотного диапазона начинается от 0,033 Гц при достаточно линейной АЧХ. При этом микросейсмические записи упругих колебаний горных пород «зашумлены» всевозможными помехами природного и техногенного происхождения, что затрудняет выделение малоамплитудных сигналов и определение их частот. Для достоверного выделения фоновых значений помимо низкочастотной фильтрации высокоамплитудных помех применяют специальные методы цифровой обработки данных [10, 11].

Один из подходов – это усреднение амплитудных спектров сигналов, когда запись разделяется на блоки, для каждого из которых посредством преобразования Фурье вычисляются и усредняются единичные амплитудные спектры [12]. Тогда с ростом длины записи микросейсмического шума спектры сглаживаются, но при достижении определённого числа блоков (предела усреднений) спектры не меняются.

Преодолеть ограничения данного метода можно посредством применения анализа зашумлённых сигналов на основе вейвлет-преобразования и искусственных нейронных сетей. При этом для повышения точности идентификации сигналов используется стохастическая оптимизация (адаптация) параметров непрерывного вейвлет-преобразования посредством нейросети. Недостатком методов этой группы является сложность подбора алгоритма обучения сети и необходимость достаточно продолжительной записи фоновых данных микросейсм в случае техногенной природы трещиноватости пород, поскольку тогда повторяющиеся микросейсмические события приобретают нестационарный характер.

Другой группой методов являются дифракционное суммирование и метод максимума правдоподобия [13], которые теоретически позволяют восстанавливать частотные и временные характеристики микросейсмических событий из зашумлённых данных с точностью до частоты дискретизации сигнала сейсмоприёмником. Очевидное ограничение этих методов связано с точностью датчиков и величиной соотношения сигнал/шум. Повысить же точность определения координат микросейсмического события по сигналам конечной длительности позволяют методы сверхразрешения, в общем относящиеся к спектральным методам. С их помощью время возникновения микросейсма вычисляется с точностью пропорциональной интервалу накопления данных. Обе группы методов представляют микросейсмические сигналы в виде суммы шума и полезного

сигнала. При этом полная матрица ковариации полезного сигнала представляется суммой матрицы ковариации шума, матрицы ковариации сигнала и матрицы взаимной ковариации шума и сигнала (матрица рассеивания). Недостатком данных методов в приложении к локализации коллекторов метана на угольных шахтах является низкая достоверность из-за предположения равенства нулю матрицы рассеивания.

В практике поверхностных наблюдений микросейсм соотношение сигнал/шум много меньше единицы из-за интенсивных объёмных и поверхностных волн, источником которых является горнодобывающее оборудование. Хотя во время предобработки данных пассивного мониторинга частотный анализ позволяет отфильтровать данные гармонические сигналы, проблемным остаётся выделение и локализация на фоне естественного шумового фона низкоэнергетических событий, порождаемых коллекторами метана. Установлено, что поверхностные волны от заглублённых источников формируются в верхней части разреза в результате интерференции на многослойной структуре пачек и представляют собой сложные колебаний различной природы, но основной составляющей являются волны Рэлея разной частоты.

Поэтому при существующей зависимости между скоростями продольных волн и амплитудами спектра на разных частотах сложно увеличить соотношение сигнал/шум, поскольку они разделяют одну полосу частот. Решением проблемы является алгоритм, способный уменьшить корреляцию сигнала по отношению к помехе. Это осуществимо средствами применения морфологического подхода к синтезу адаптивных фильтров, что позволяет выполнять более эффективную декомпозицию. Для построения алгоритма промежуточного преобразования предлагается использовать в качестве модельного сигнала достаточно гладкую кусочно-однородную функцию, например, на основе вейвлета Рикера. Такой подход позволяет синтезировать фильтр с гаусовским преобразованием входных данных.

Применение описанного подхода на этапе первичной обработки данных микросейсмического мониторинга позволяет на порядок увеличить соотношение сигнал/шум в выбранной полосе частот. Так, после цифрового моделирования применения адаптивного алгоритма фильтрации мощность помехи существенно уменьшилась, в то время как амплитуда полезного сигнала той же частоты осталась прежней.

### **Список литературы**

1. Анциферов А.В. Газоносность угольных месторождений Донбасса. Монография / А.В. Анциферов, М.Г. Тиркель, М.Т. Хохлов и др. – Киев: Наукова думка, 2004. – 232 с.

2. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. Донецк, 2003. – 312 с.

3. Иванов Л.А. Скоростные параметры аномального скопления метана определенные по петрофизическим данным / Л.А. Иванов // Труды РАНМИИ: сб. науч. тр. – Донецк, 2023. – № 22-23 (37-38) – С. 50-60.

4. Горбатиков А.В. Технология глубинного зондирования земной коры с использованием естественного низкочастотного микросейсмического поля / А.В. Горбатиков и др. // Изменение окружающей среды и климата: монография. – М. ИФЗ РАН. 2008. – Т.1 – Ч.2. - С. 223-236.

5. Иванов Л.А. Структурно-геодинамические предпосылки использования микросейсм для поиска аномальных скоплений метана / Л.А. Иванов, В.В. Туманов, А.В. Савченко // Труды РАНМИИ: сб. науч. тр. – Донецк, 2022. – № 16-17 (31-32). – С. 46-59.

6. Анциферов А.В. Помехи и шумы микросейсмических сигналов на примере мониторинговых наблюдений в Донбассе / А.В. Анциферов, В.В. Туманов, Л.А. Новгородцева, Г.П. Мартынов, Д.С. Бородин, Е.А. Ялпуга // Труды РАНМИИ: сб. науч. тр. – Донецк, 2023. – № 22-23 (37-38). – С. 137-147.

7. Камбурова Л.А. Приём и первичная обработка геофизических пассивных сигналов / Л.А. Камбурова, Г.П. Мартынов, А.Ю. Грицаенко // Труды РАНМИИ: сб. науч. тр. – Донецк, 2023. – № 22-23 (37-38). – С. 101-111.

8. Райфельд М.А. Пассивная сейсмическая локация: аппаратное и базовое программное обеспечение / М.А. Райфельд, Д.О. Соколова, А.А. Спектор // Вычислительные технологии: журн. ФИЦ ИВТ СО РАН – Новосибирск, 2016. Том 21, № 1, 2016. С. 116-126.

9. Туманов В.В. Регистратор микросейсм / В.В. Туманов, Г.П. Мартынов, Н.Б. Молошникова, И.В. Деговцов, И.Э. Горбунов, А.А. Сафин // Труды РАНМИИ: сб. науч. тр. – Донецк, 2023. – № 20-21 (35-36). – С. 27-32.

10. Зверев В.А. Стромков А.А. Выделение сигналов из помех численными методами. – Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2001. – 188 с.

11. Азаров А.В. Комплекс программ обработки данных микросейсмического мониторинга разработки меторождений полезных ископаемых / А.В. Азаров, А.С. Сердюков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва: Горная книга, 2023. №2, 2023. С. 58-71.

12. Лисейкин А.В. Определение частот собственных колебаний сооружений по малоамплитудным сейсмическим сигналам / А.В. Лисейкин, В.С. Селезнев, А.Ф. Еманов, Д.В. Кречетов // Российский сейсмологический журнал. ФИЦ ЕГС РАН – Новосибирск, 2023. Том 5, № 2, С. 32-50.

13. Биряльцев Е.В. Выбор метода микросейсмических исследований в зависимости от решаемой задачи / Е.В. Биряльцев, М.Р. Камилов // Георесурсы, журн. – Казань, 2018. – Том 20, №3, Ч.2, С. 217-221.

## **БУРЕНИЕ ПРОТЯЖЕННОЙ НАПРАВЛЕННОЙ ТРАССЫ СКВАЖИНЫ ИЗ ВЫРАБОТКИ**

**Забурдяев В.С., Шляпин А.В., Белоусов Ф.С.**

*ИПКОН РАН*

Основной целью работы является создание безопасных условий труда за счёт организации работ по эффективной дегазации, геодинамическим и газодинамическим явлениям, утилизации шахтного метана в условиях шахты им. С.М. Кирова.

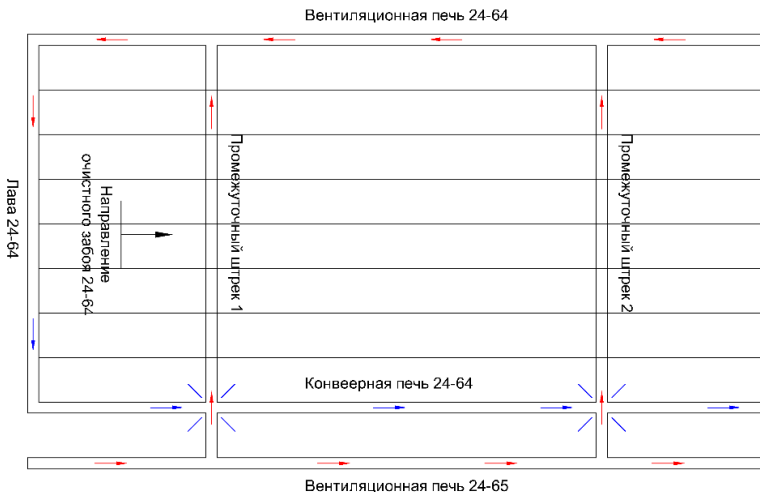
Разработка Паспорта способствует увеличению эффективности очистного забоя и обеспечивает возможность создания оптимальных подземных сетей для извлечения метана. Это также позволит повысить уровень безопасности подземных горных работ за счет сокращения вероятности взрывов из-за метана, предотвращения аварийных ситуаций и соблюдения нормативных требований. В результате, производительность и объем добычи угля будут увеличены, а безопасность горных работ при работе с газом будет повышена.

Способ дегазации обрабатываемого угольного пласта осуществляют следующим образом. По технологической схеме подготовки выемочно-го участка к последующей отработке проводят оконтуривающие участок подготовительные выработки в соответствии с паспортом их проходки, включая технику разрушения угля, его транспорта, проветривание выработок, управление газовыделением, размещение буровой техники, параметры дегазационных скважин.

Перед бурением скважин предлагаемой направленной трассы в плоскости обрабатываемого пласта определяют показатели газоотдачи массива угля, прилегающего к подготовительной выработке, размер зоны естественной дегазации массива угля, степень дегазирующего влияния подготовительной выработки с учётом величины метаносности пласта угля, времени её проведения.

По двустороннему дегазирующему влиянию подготовительных выработок устанавливают необходимую площадь недегазированного выработки участка угольного пласта Болдыревского, которую предстоит дегазировать скважинами в промежутке между подготовительными выработками (рис. 1). При определении параметров дегазации пласта скважинами используют прогнозные показатели газоотдачи пласта в дегазационные скважины.

Определение исходных данных по дегазации разрабатываемого угольного пласта, технологию ведения дегазационных работ, степень как естественной, так и искусственной дегазации угольного массива осуществляют в соответствии с положениями нормативных документов [1-3].



**Рисунок 1 – Схема бурения скважин предварительной дегазации по пласту Болдыревскому**

Скважины направленной трассы в плоскости обрабатываемого угольного пласта Болдыревского проводят с помощью буровой установки VLD-1000 или другой, близкой по технической характеристике буровой машины. Как показал опыт, данная буровая установка позволяет в условиях шахты им. С.М. Кирова выбуривать скважины длиной более 400 метров.

Буровой комплекс размещают в промежуточном штреке. Параметры предварительной дегазации разрабатываемого угольного пласта скважинами направленной трассы, буримыми в плоскости обрабатываемого пласта соосно подготовительным выработкам участка, определяют по прогнозным показателям газоотдачи пласта в скважины в условиях природной проницаемости угольного пласта.

Положительный эффект достигается за счёт значительного сокращения объема работ по бурению скважин и герметизации их устьев, повышения уровня дегазации пласта в природных условиях его залегания.

Способ включает проведение выработок в плоскости пласта, их проветривание, газовоздушную съёмку в подготовительных забоях, бурение параллельных скважин в плоскости пласта соосно подготовительным выработкам участка, герметизацию их устьев от подсосов рудничного воздуха, подсоединение скважин к дегазационному трубопроводу и извлечение метана.

Новизна способа предварительной дегазации пласта Болдыревского заключается в том, что на выемочном участке выделяют зоны различной степени естественной дегазации угля, в неподверженных естественной дегазации зоне пласта между подготовительными выработками выемочного участка используют прогнозные показатели газоотдачи пласта в дегазационные скважины.

#### **Список литературы**

1. Инструкция по дегазации угольных шахт. Серия 05. Вып. 22. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2020. – 240 с.

2. Артемьев В.Б., Рубан А.Д., Забурдяев В.С. и др. Промышленный регламент технологии извлечения и утилизации шахтного метана в процессе разработки высокогазоносных угольных пластов подземным способом // Уголь. - 2010. - №2. - С. 18-20.

3. Забурдяев В.С., Федоров Е.В., Белоусов Ф.С. Дегазация разрабатываемых пластов угля направленной трассы скважинами // Безопасность труда в промышленности. - 2023. - № 9. - С. 59–64. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-9-59-64.

**УДК 622.235**

### **ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ И МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА МИКРОЧАСТИЦ ПРИ ВЗРЫВНОМ РАЗРУШЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ**

**Кочанов А.Н.**

*ИПКОН РАН*

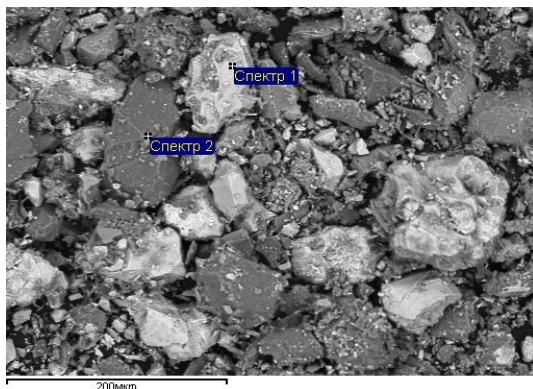
При разработке полезных ископаемых открытым способом и ведении взрывных работ происходит выброс в окружающую природную среду значительных объемов отдельных частиц в виде пылегазового облака, выход которых, как это следует из производственного опыта, может достигать примерно 10% от общей массы отбиваемой горной породы. Данной проблеме уделялось достаточно внимания, но подойти к ее решению с новых методических позиций стало возможным благодаря исследованиям, выполненным под руководством академика Трубецкого К.Н., посвященных изучению условиям образования нано- и субмикронных частиц в технологических процессах горного производства [1-2]. В рамках данной проблематике выполнены исследования в лабораторных условиях при квазистатическом и взрывном разрушении образцов горных пород с оценкой размеров субмикронных частиц [3-6].

В настоящей статье приводятся результаты исследований частиц микронных размеров, образованных при массовом взрыве на карьере

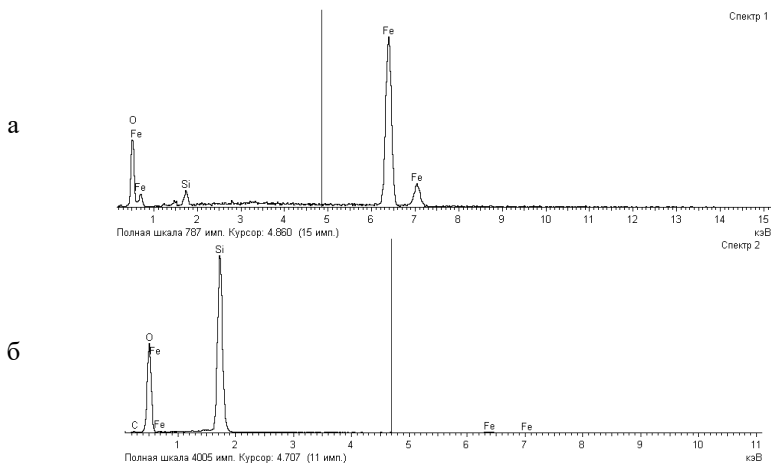


Михайловского горно-обогатительного комбината при отбойки железистых кварцитов, в составе которых преобладают кварц (45-50%), магнетит (30-35%), гематит (5-10%), реже встречается карбонат (~5%). При проведении исследований после отбора проб частиц с помощью фильтров АФА ВП20 путем взвешивания была определена массовая доля отдельных фракций частиц, образовавшихся при взрыве и осажденных из пылегазового облака. По результатам ситового анализа установлено, что преобладают фракции размером менее 71 мкм, содержание которых достигает 68,8%, в том время как содержание фракций +160 мкм составляет 4,1%.

С помощью оптической и электронной микроскопии получены изображения частиц для оценки их размеров. При анализе дисперсного состава минеральных частиц методом оптической и электронной микроскопии использовался микроскопы «Olympus» SZ 61 с фиксацией изображений цифровой камерой DP-12 и сканирующий электронный LEO 1450VP. (рис. 1). Электронная микроскопия отображает наличие частиц двух классов по размерам: крупные частицы 200-300 мкм и многочисленные частицы размером менее 10 мкм. Минимально наблюдаемый размер частиц при анализе цифровых изображений составляет 0,1-0,3 мкм. Наличие детектора совместно с электронным микроскопом позволяет производить элементный анализ отдельных областей и характеризовать минеральный состав частиц (рис. 2). По оптическому признаку в поле зрения электронного микроскопа получено следующее распределение минералов: содержание кварца составляет 74,4%, а магнетита и гематита – 25,6%.



**Рисунок 1 - Изображения частиц, осажденных их пылегазового облака после массового взрыва, по данным электронной микроскопии**



**Рисунок 2 - Элементный состав частиц спектр1(а) и спектр 2 (б)**

С помощью лазерного счетчика частиц проведены исследования дисперсного состава осажденных частиц в диапазоне размеров 0,3–10,0 мкм. Отмечается преимущественная концентрация микрочастиц, осажденных из пылегазового облака при массовом взрыве, в диапазоне 1,0 мкм, содержание которых составляет 35-45% от общего количества минеральных частиц, в то время как содержание частиц размером 0,3 мкм составляет всего 10-15%.

Основным источником образования частиц при взрыве принято считать прилегающую к заряду область горной породы, подвергающаяся воздействию ударных волн и продуктов детонации. В этой области реализуется механизм дробления аналогично условиям всестороннего сжатия с быстрой разгрузкой. Механизм образования частиц при взрыве также обусловлен развитием трещин, общей фрагментацией горных пород и образованием новых поверхностей. При распространении трещин освобождается энергия, которая расходуется на деформационный нагрев, происходят физико-химические процессы, наблюдается электромагнитное излучение, а также критическое сдвигение и отрыв поверхностных микроструктурных фрагментов. Механизм генерации частиц, обусловленный фрагментацией и образованием новых поверхностей, является наиболее общим и реализуется независимо от вида воздействия.

Таким образом, проведены исследования частиц, осажденных из пылегазового облака после массового взрыва с применением рентгеноструктурного анализа, оптической и электронной микроскопии, лазерной спектрометрии размеров частиц. При анализе распределения частиц

размером менее 5,0-10 мкм с помощью лазерной спектроскопии отмечается их преимущественная концентрация в диапазоне 1,0 мкм, а минимальный размер составляет порядка 0,1 мкм. Микрочастицы представлены в большей степени кварцем, чем рудными минералами. Исследования по оценке минерального и дисперсного состава микронных частиц могут быть полезны для мониторинга экологической безопасности по пылегазовому фактору при ведении взрывных работ.

### **Список литературы**

1. Трубецкой К.Н., Викторов С.Д., Галченко Ю.П., Одинцев В.Н. Техногенные минеральные частицы как проблема освоения недр // Вестник Российской академии наук. - 2006. - т. 76. - №4. - С. 318-324.

2. Чантурия В.А., Трубецкой К.Н., Викторов С.Д., Бунин И.Ж. Наночастицы в процессах разрушения и вскрытия геоматериалов. // М.: ИПКОН РАН. - 2006. - 216 с.

3. Викторов С.Д. Образование субмикронных частиц при горном производстве и новый метод оценки катастрофических явлений // Вестник Российской академии наук. - 2013. - т. 83. - №4. - С. 1-7.

4. Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Одинцев В.Н., Осокин А.А. Эмиссия субмикронных частиц при деформировании горных пород // Известия РАН. Серия физическая. - 2012. - Т. 76. - №3. - С.339-341.

5. Викторов С.Д., Кочанов А.Н. Экспериментальное изучение закономерностей образования субмикронных частиц при разрушении горных пород // ФТПРПИ. - 2016. - №5. - С. 76-83.

6. Викторов С.Д., Кочанов А.Н. К вопросу о субмикронных частицах и их значение применительно к процессам горного производства. // 2-я Международная научная школа академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр», - 2016. - С. 44-47.

## **УДК 622.8**

# **ОБЗОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ (ТРЕЩИН) ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ НАГРУЗКЕ**

**Уваров С.В., Нефедов С.И.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

### **Введение**

Горные породы формируются в природе в различных геолого-климатических условиях. Они всегда рассечены трещинами и часто представлены как слоистыми пластами (дискретные образования), так и многокомпонентными композитными телами природного образования.

Свойства пород, их изменение под влиянием природных и техногенных факторов являются предметом постоянного детального анализа.

Выполненные ранее экспериментальные исследования показали, что для описания механического поведения слоистых и трещиноватых горных пород, как правило, нельзя пользоваться представлениями механики изотропной среды. Анизотропное упругое тело воспринималось экспериментаторами как изотропное с большим разбросом опытных данных при определении свойств в различных направлениях. Ч. Джегер [Джегер Ч., 1975] по этому поводу пишет: «Вначале горные породы испытывали теми же методами, что и бетон, но скоро стало очевидным, что они представляют собою материалы значительно более сложные... Анизотропия - одно из свойств, отличающих породу от бетона».

Автором указано, что распределение напряжений и деформаций в упругих анизотропных средах имеет не только количественное, но и принципиально качественное отличие. Например, линии равных напряжений в таких средах, моделирующих работу оснований, приобретают характерную «грибообразную» форму, трансформирующуюся в зависимости от угла наклона слоёв. Такое распределение напряжений является причиной уменьшения несущей способности оснований в одних случаях и увеличения - в других.

Таким образом, с учетом приведенной выше информации, можно сказать, что массивы горных пород характеризуются неоднородностью, анизотропией, к которой приводят трещиноватость и слоистость, а также начальным напряжённым состоянием. Кроме того, они обладают большой изменчивостью свойств под воздействием природных и техногенных факторов.

Горная промышленность играет важную роль в современном мире, обеспечивая ресурсы, необходимые для различных отраслей экономики. Однако, в условиях залегания и при добыче полезных ископаемых, неизбежно возникают поверхностные дефекты (трещины), которые могут изменить природные свойства горного массива и негативно сказаться на производительности горнодобычных работ и их безопасности.

Для обнаружения и измерения таких дефектов (трещин) горных пород в горнодобывающей промышленности используются различные средства измерений, такие как эндоскопы, ультразвуковые дефектоскопы, микроскопы, а также приборы, основанные на акустических методах.

### **1. Эндоскопы**

Эндоскопы – это инструменты, которые позволяют визуально осмотреть поверхность дефекта, не требуя разборки или разрушения [1]. Эндоскопы в горной промышленности используются для обнаружения и измерения поверхностных дефектов при нагрузке. Они могут быть использованы для проверки трещин, изъянов, коррозии и других дефектов на поверхностях различных горных пород.

#### *Преимущества эндоскопов:*

- высокое качество изображения;
- возможность доступа в труднодоступные места;
- возможность записи и документирования данных;
- минимальное воздействие на поверхности;
- удобство использования.

#### *Недостатки эндоскопов*

- ограниченная глубина проникновения;
- ограниченный угол обзора;
- высокая стоимость оборудования.

## **2. Ультразвуковые дефектоскопы**

Ультразвуковые дефектоскопы – это приборы, использующие ультразвуковые волны для обнаружения и измерения дефектов в материалах, в том числе горных породах [2]. Они широко применяются в горной промышленности для измерения глубины трещин, оценки плотности материала и определения размеров дефектов горного пласта. Ультразвуковые дефектоскопы позволяют оперативно обнаруживать поверхностные дефекты горного массива и принимать соответствующие меры по их устранению.

#### *Преимущества ультразвуковых дефектоскопов:*

- высокая точность измерений: Ультразвуковые дефектоскопы обеспечивают высокую точность измерений поверхностных дефектов на участках горных пород, что позволяет своевременно обнаруживать и принять необходимые меры для обеспечения безопасности их разработки;
- безопасность: Использование ультразвуковых дефектоскопов позволяет проводить контроль за состоянием горного массива без необходимости его дополнительного разрушения;
- эффективность: Ультразвуковые дефектоскопы позволяют проводить быстрые и точные измерения, что делает их идеальным инструментом для использования в горной промышленности.

#### *Недостатки ультразвуковых дефектоскопов:*

- высокая стоимость: Ультразвуковые дефектоскопы обычно являются дорогостоящими, что может стать преградой для их широкого использования в горной промышленности;
- необходимость подготовки и обучения: Использование ультразвуковых дефектоскопов требует определенной подготовки и обучения персонала, что может занять время и ресурсы.

## **3. Микроскопы**

Микроскопы используются для изучения мельчайших деталей поверхности дефекта [3]. В горной промышленности они применяются для измерения размеров микротрещин, оценки качества поверхности

и определения причин дефектов. Микроскопы позволяют проводить более детальное и точное измерение поверхностных дефектов, что в свою очередь способствует повышению безопасности и эффективности проводимых горных работ.

*Преимущества микроскопов:*

- высокая точность измерений: Микроскопы позволяют детально и точно измерять размеры и характеристики поверхностных трещин. Это позволяет оперативно выявлять потенциально опасные нарушения горной породы и принять соответствующие меры безопасности;

- визуальное наблюдение. Микроскопы позволяют визуально наблюдать поверхностные дефекты, что облегчает их последующий анализ и классификацию;

- возможность проведения экспериментальных исследований. Микроскопы позволяют проводить экспериментальные исследования таких характеристик как микротвердость и микроструктурный анализ, что дает возможность для более полного изучения поверхностных дефектов (трещин).

*Недостатки микроскопов:*

- ограниченная область видимости: Микроскопы имеют ограниченную область видимости, что может затруднить измерение дефектов на больших поверхностях или в труднодоступных местах;

- сложность работы: Использование микроскопов требует определенных навыков и обучения. Неопытные пользователи могут совершать ошибки при измерении и интерпретации результатов;

- высокие затраты: Микроскопы являются довольно дорогостоящими средствами измерений. Их приобретение и обслуживание могут быть недоступными для малых предприятий в горной промышленности.

#### **4. Приборы для измерения, основанные на акустических методах**

Приборы для измерения, основанные на акустических методах, используют звуковые волны для обнаружения и измерения поверхностных дефектов, в том числе трещин горного массива [4]. Они могут быть использованы для обнаружения трещин, пустот, коррозии и других дефектов на поверхностях различных горных пород. Приборы, основанные на акустических методах, обладают высокой точностью и чувствительностью, что позволяет эффективно контролировать состояние поверхности горного массива.

*Преимущества и недостатки акустических методов.*

Акустические методы измерений имеют свои преимущества и недостатки. Преимущества включают высокую точность и надежность результатов, возможность измерять поверхностные дефекты при нагрузке и быструю обработку данных. Кроме того, такие приборы обладают

широким диапазоном измеряемых параметров и способны работать в различных условиях.

Однако, у акустических методов есть и некоторые недостатки. Один из них - сложность в использовании и настройке приборов. Это требует наличия специализированного обучения и опыта, особенно для работы в сложных горных условиях. Кроме того, некоторые приборы могут быть дорогими, что делает их недоступными для небольших предприятий.

### **Заключение**

Обзор используемых средств измерений поверхностных дефектов (трещин) при нагрузке в горной промышленности показывает, что эндоскопы, ультразвуковые дефектоскопы, микроскопы, а также приборы, основанные на акустических методах, являются обязательной частью процесса контроля и обнаружения поверхностных дефектов на поверхности горных пород. Каждый из рассмотренных методов характеризуется своими достоинствами и недостатками, что требует достаточно конкретного подхода для их использования в условиях добычи горных пород, учета горно-геологических условий залегания горного массива и требуемых условий обеспечения безопасности его разработки.

Использование этих средств, несмотря на указанные сложности в обслуживании, позволяет оперативно обнаруживать и измерять дефекты (трещины) в горных породах, что способствует повышению безопасности и эффективности работы в горной промышленности, в том числе при добыче полезных ископаемых.

### **Список литературы**

1. Хацевич Т.Н., Михайлов И.О. Эндоскопы. Учебное пособие содержит основные сведения по назначению, классификации и принципам построения эндоскопов. Рассмотрены элементная база жестких и гибких эндоскопов, особенности расчета оптических схем, особенности конструкций, общие технические требования и методы испытаний. Все на примере медицинских эндоскопов, но основы годятся и для техники. 2002. – 135 с.

2. Зацепин А.Ф., Бирюков Д.Ю. Министерство образования и науки Российской Федерации Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Современные компьютерные дефектоскопы для ультразвуковых исследований и неразрушающего контроля. 2016 – с. 71–72.

3. Гужов В.И., Ильтимиров Д.В., Хайдуков Д.С., Чернов О.В., Полушинский С.Л. Новосибирский государственный технический университет. // Новосибирск, Россия. Модификация оптических микроскопов. – 2016. – № 2(16). – с. 71-72.

4. Клименко А.П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли. – 1978. – С. 97–100.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ВЫБРОСОВ МЕТАНА ИЗ ОЧИСТНОГО ПРОСТРАНСТВА В ЛАВЕ 64К-10В ШАХТЫ «САРАНСКАЯ» КАРАГАНДИНСКОГО БАССЕЙНА

Долгоносов В.Н., Пак Г.А., Щенников В.Н., Кубайдуллина У.А.

*Карагандинский технический университет имени А.Сагинова,  
Республика Казахстан*

По методике [1-3] была выполнена проверка достоверности прогнозов шагов обрушения и объемов газовыделения по лаве 64К-10В на шахте «Саранская». Шаги обрушения основной кровли в условиях лавы 64К-10В на первых 250 метрах подвигания лавы проявлялись только в виде повышенного горного давления, в результате которого происходил отжим угля с образованием раскоски и негабаритов, обрушением угольной пачки, куполообразованием до песчаника, выходом секций крепи на рабочее сопротивление. При этом происходило резкое увеличение метановыделения, предшествующее обрушению основной кровли.

В целом, горно-геологические условия отработки первых 250 метров подвигания лавы 64К-10В из 1200 метров общей протяженности выемочного столба можно назвать благоприятными. Лава находилась в целике пласта К-10 под отработанным ранее пластом К-14, в защищенной от горного давления зоне. Горное давление на очистной забой не достигло своего максимума, который прогнозируется при соединении двух ранее отработанных вышележащих лав и действующей (после 300 метров подвигания лавы).

На выемочном поле лавы 64К-10В имеются участки, подверженные совместному действию от двух до четырех зон повышенного горного давления (ПГД). На данных участках пласт и окружающие его породы непосредственной кровли и почвы были деформированы в результате мощного воздействия сил горного давления. Отработка лавы 64К-10В при подвигании свыше 300 метров от целика монтажной камеры велась в более сложных горно-геологических условиях, чем это было в выше рассмотренных и ранее отработанных лавах 62К-10В и 63К-10В, так как общая площадь очистной выемки увеличилась почти в 3 раза.

Сравнение расчетных значений первого и последующих шагов обрушения основной кровли в период с августа по октябрь 2008 г. с данными мониторинга фактических значений шагов обрушения, приведено в таблице 1.



Таблица 1

**Фактические и прогнозные значений шагов обрушения**

№	Дата обрушения	Прогноз, м	Факт, м
1	21.08.2008г.	56,2	60,0
2	28-29.08.2008г.	79,0	82,0–84,0
3	06-07.09.2008г.	102,5	104,0–107,0
4	17.09.2008г.	127,5	132,5
5	01.10.2008г.	154,3	159,0–161,0
6	10.10.2008г.	183,5	187,0
7	21.10.2008г.	202,0	205,0
8	29.10.2008г.	220,7	223,5

Результаты выполненных предварительных расчетов получили хорошее практическое подтверждение. Максимальное расхождение не превышает 7% и находится в пределах точности инженерных решений.

Фактические значения шагов обрушения зафиксированы и соответствующим образом документально подтверждены маркшейдерской и геологической службами шахты «Саранская».

Прогнозные и фактические объемы метановыделения по лаве 64К-10В представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Прогнозные и фактические объемы метановыделения**

№	Дата обрушения	Прогноз объема метана, тыс. м <sup>3</sup>	Фактический объем метана, тыс. м <sup>3</sup>
1	21.08.2008г.	1273,9	370,3
2	28-29.08.2008г.	1979,8	808,1
3	06-07.09.2008г.	2775,7	1509,5
4	17.09.2008г.	3935,3	2486,4
5	01.10.2008г.	5210,3	3734,5
6	10.10.2008г.	6672,7	4624,1
7	21.10.2008г.	7538,2	5638,2
8	29.10.2008г.	8418,8	6477,3

Анализ графиков метановыделения по лаве 64К-10В за период с августа по октябрь 2008 г. (рисунок 1) и совмещение с фактическими шагами обрушений (вертикальные линии на графиках) подтверждают взаимосвязь между шагами обрушения и газовыделением.

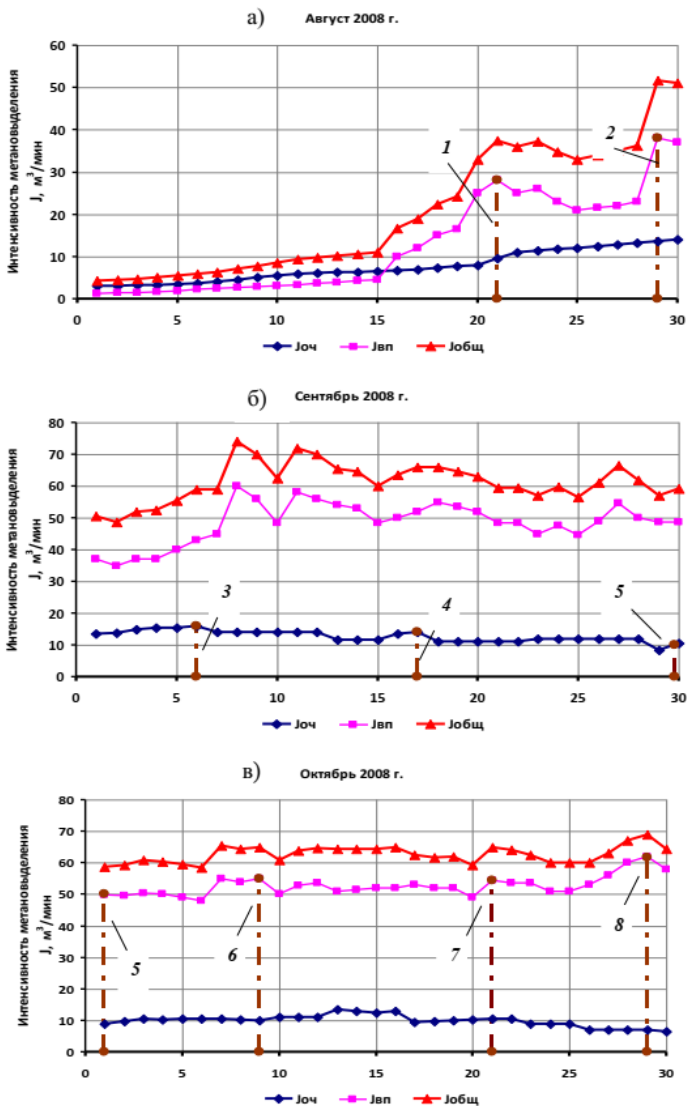


Рисунок 1 – Графики метановыделения по лаве 64К-10В за август-сентябрь-октябрь 2008 г.

После обрушения основной кровли выделение метана должно резко снижаться. Однако, в сентябре и октябре 2008 г. (рисунки 1 б,в) снижения не произошло, что свидетельствует о неэффективной работе системы дегазации, т.е. объем поступающего в лаву метана оказался больше, чем производительность всех средств дегазации. Объемы метановыделения, представленные в таблице 2, следует считать минимальными, так как методика расчета не учитывает тот объем метана, который мигрирует (уходит) через выработанные пространства и пустоты ранее отработанных участков по пластам К12 (лава 45К-12-1-3) и К14, заполняя их (а это не менее 30% от общего объема). Именно отсюда метан, как более легкий газ попадает через незаилованные оградительные переемы пласта К14 в исходящие струи всех четырех действующих вентиляционных стволов шахты. В связи с этим необходимо правильно вести расчет газообильности сначала по всей шахте, а затем вычитать из конечного результата среднюю газообильность всех действующих подготовительных забоев. Расчет участковой газообильности по предложенной методике более точно соответствует действительности.

Прогноз шагов обрушения и объемов газовыделения имеет исключительно важное значение для обеспечения безопасности ведения горных работ. Кроме того, знание точек обрушения позволит существенно увеличить объем добычи в любой лаве. Потери по лаве 64К-10В, связанные с уменьшением вынимаемой мощности пласта с 4,2-4,5 м до 3,7 м для снижения интенсивности куполообразования, составляли более 10%, а это свыше 100 тыс. тонн коксующегося угля. Помимо существенного экономического эффекта, данная технология позволит значительно сократить пожароопасные потери угля в завале [4].

#### Список литературы

1. Пак Г.А., Долгоносов В.Н. Расчет шагов обрушения основной кровли и газовыделения на шахтах Карагандинского бассейна. Новости науки Казахстана. – Алматы: НЦНТИ. - № 2. – 2009. - с. 43-49.
2. Долгоносов В.Н., Пак Г.А., Дрижд Н.А., Алиев С.Б., Низаметдинов Ф.К. Геомеханические и газодинамические процессы в угольных шахтах. // Караганда: Издательство КарГТУ. - 2012. – 214 с.
3. Пак Г.А., Долгоносов В.Н. Методика расчета шагов обрушения основной кровли и прогноз газовыделения на шахтах Карагандинского бассейна. // Безопасность труда в промышленности. – Москва. – 2010. - № 10. – с. 31–34.
4. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. – М, «Недра», 1973., 512 с.

## РАСЧЕТ ШАГОВ ОБРУШЕНИЯ В ЛАВЕ 62К-10В ШАХТЫ «САРАНСКАЯ» КАРАГАНДИНСКОГО БАССЕЙНА

Старостина О.В., Пак Г.А., Долгоносов В.Н., Мазалевский Н.С.

*Карагандинский технический университет имени А.Сагинова,  
Республика Казахстан*

По методике [1-3] была выполнен расчет шагов обрушения и объемов газовыделения по лаве 62К-10В на шахте «Саранская».

Лава 62 К-10-В введена в действие 18 августа 2000 года. В западной части участка по простиранию в 1180 м от монтажной камеры, лава пересекла ранее пройденный 6 восточный уклон К-10 и 6-бис восточный пограничный уклон К-10. Данные выработки заранее были перекреплены с металлической арочной крепи на деревянную. Во время переезда лавой они способствовали образованию куполов. Переход выработок осложнился геологическими нарушениями - взбросами с амплитудой  $H=1,5-2,5$  м. Вынимаемая мощность пласта в лаве 4,2 м (в том числе угольных пачек 3,7 м). Непосредственно над угольными пачками залегают тонкая пачка углистых аргиллитов, мощностью 0,3-0,35 м, очень слабая, постоянно образующая ложную кровлю. В непосредственной кровле залегают пачка аргиллитов мощностью 1,0-2,5 м с коэффициентом крепости  $f=0,8-2,5$ . Аргиллиты трещиноватые, трещины покрыты каолинитом, при обнажении будет происходить хаотическое обрушение с вывалами и образованием куполов в лаве. Основная кровля представлена крепкими монолитными песчаниками мощностью 25-32 м и крепостью  $f=6$ . Такая кровля считается тяжелой.

Основные исходные данные: лава 62 К-10-В, начало отработки - август 2000 г, комплекс 2КМ-144. Средняя глубина отработки  $H_{ср}=575$  м; средний по лаве угол падения 14 град.; средняя длина лавы 174 м.

Непосредственная кровля (аргиллиты): средняя мощность 3,0 м; предел прочности на сжатие 25 МПа. Основная кровля (песчаник): средняя мощность 28,5 м; предел прочности на сжатие 62 МПа. Расчетное сопротивление определено по формуле Ж.М. Канлыбаевой [2] и составляет 12 МПа.

Так как в кровле залегают мощные слои монолитных песчаников, для расчета предельных шагов строим вертикальный разрез (рисунок 1), где выделяем слои монолитных песчаников мощностью более 15 м (мосты).

Расчетная величина первичного шага обрушения составила 43,5 м, вторичного 17,8 м. Фактическое обрушение, по данным маркшейдерских замеров, произошло при отходе лавы от целика на 42,6 м.

Масштаб 1:2000

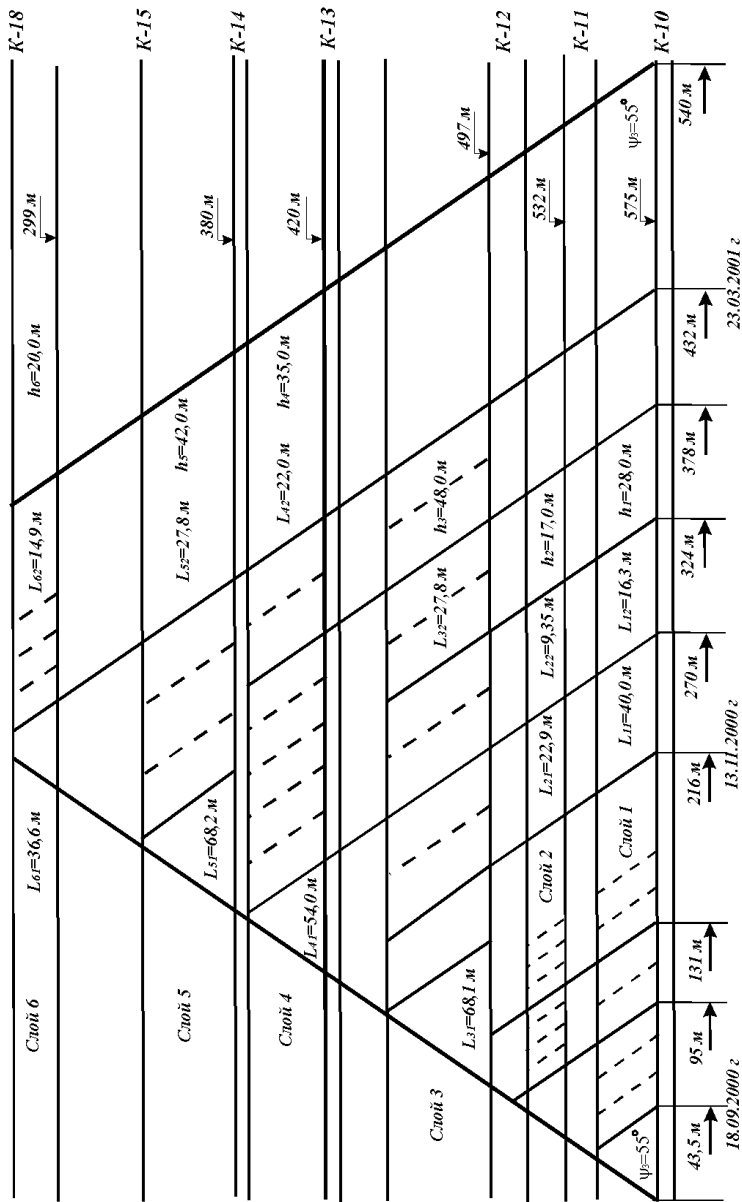


Рисунок 1 – Разрез по простиранню лавы 62К-10В

Производим расчёт величины предельного шага обрушения по каждому выделенному слою. Результаты расчета в сопоставлении с фактическими данными представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Сравнение фактических и прогнозных значений шагов обрушения по лаве 62К10-В**

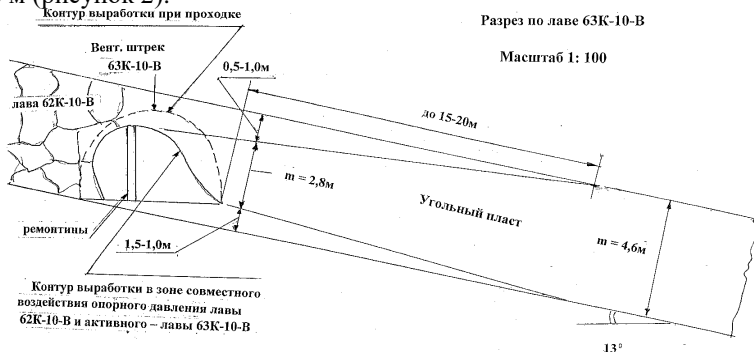
№	Дата обрушения	Фактическое расстояние от целика монтажной камеры, м	Прогноз, м
1	18.09.2000г.	42,6	43,5
2	05.10.2000г.	95,0	94,4
3	23.10.2000г.	131,0	128,7
4	13.11.2000г.	216,0	214,1
5	28.11.2000г.	269,0	265,0
6	21.02.2001г.	326,0	332,4
7	08.03.2001г.	386,0	382,7
8	23.03.2001г.	432,0	432,6

Первое обрушение основной кровли слоя №1 произошло при отходе лавы от целика монтажной камеры на расстояние 43,5 м; при отходе лавы на 95 м обрушились породы до слоя кровли №2; при отходе лавы на 131 м обрушились породы до слоя кровли №3; при отходе лавы на 216 м обрушился слой крепких песчаников №3; при отходе лавы на 270 м обрушились породы до слоя №4; при отходе лавы на 324 м обрушился слой №4 до слоя №5; при отходе лавы на 378 м обрушился слой №5; при отходе лавы на 432 м обрушились породы до слоя №6.

Первичное обрушение произошло при отходе лавы от целика монтажной камеры на 43,5 м. Вторичные шаги периодически происходили через каждые 17–18 м на протяжении 650 м подвигания. Затем шаг вторичного обрушения увеличился до 27,0 м (в целике). Наблюдения за работой лавы 62 К-10-В позволили выявить средние (через 54,0 м), сильные (через 108 м) и очень сильные (через 216 м) интервалы обрушения основной кровли, что наглядно представлено на рисунке 1.

При очень сильных обрушениях угольный забой раздавливался наперед до 8 м, а высота купола обрушения превышала 4 м. В зонах обрушения основной кровли происходило разрушение средней части (по высоте) угольного пласта, вывалы из груди забоя и интенсивное куполообразование. На краях очистных участков в зоне совместного действия опорного давления лавы 62К-10В и лавы 63К-10В отмечены

деформации угольного пласта глубиной до 15-20 м. Конвергенция почвы и кровли достигала 1,0 м, а мощность пласта уменьшалась с 4,6 до 2,8 м (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Деформации угольного пласта в зоне совместного действия опорного давления лавы 62К-10В и лавы 63К-10В**

Для предотвращения завалов и уменьшения отжима угля, как вынужденную меру при прохождении точки обрушения, предложено снизить вынимаемую мощность до 3,50 м, что позволит значительно улучшить работу лавы. Следует отметить высокую сходимость вычисленных и фактических данных, расхождения между которыми не превышают 5%.

#### **Список использованных источников**

1. Долгоносов В.Н., Пак Г.А., Дрижд Н.А., Алиев С.Б., Низаметдинов Ф.К. Геомеханические и газодинамические процессы в угольных шахтах. Караганда: изд-во КарГТУ, 2012. – 214 с.
2. Пак Г.А., Долгоносов В.Н. Методика расчета шагов обрушения основной кровли и прогноз газовыделения на шахтах Карагандинского бассейна. Безопасность труда в промышленности, № 10, 2010г, Москва, с. 31–34.
3. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. – М, «Недра», 1973., 512 с.

## **БУРЕНИЕ ПРОТЯЖЕННОЙ НАПРАВЛЕННОЙ ТРАССЫ СКВАЖИНЫ НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫЕ ПЛАСТЫ УГЛЯ**

**Забурдяев В.С., Шляпин А.В., Филиппов Ю.А., Белоусов Ф.С.**

*ИПКОН РАН*

Целью данного исследования является разработка методов обеспечения безопасности труда путем эффективной дегазации в условиях шахты им. С.М. Кирова. Создание Паспорта способствует повышению эффективности очистного забоя и позволяет оптимизировать подземные сети для извлечения метана. Это также способствует снижению риска

взрывов из-за метана, предотвращению аварийных ситуаций и соответствию нормам безопасности. В результате увеличится производительность и объем добычи угля, а также повысится безопасность горных работ при работе с газом.

Способ бурения направленной трассы скважины на сближенные пласты осуществляют следующим образом. В метанообильной шахте на выемочном участке проводят подготовительные выработки в плоскости отрабатываемого пласта, оконтуривают выемочный участок выработками, проветривают их, определяют темп подвигания очистного забоя, геометрические параметры залегания сближенных пластов угля относительно отрабатываемого, состав пород междупластья. Отбирают пробы угля, определяют в них содержание метана в соответствии с положениями Инструкции по определению и прогнозу газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведочных работах [1].

Место установки бурового комплекса осуществляют на промежуточных штреках пласта Болдыревского, определяют углы разгрузки пород кровли от горного давления, объемы извлечения метана из подрабатываемых пластов угля. Предъявляют требования к буровой установке и её техническим возможностям по бурению скважины направленной трассы через углепородный массив. Такой установкой принята VLD-1000, которая способна бурить скважины направленной трассы по угольным пластам и вмещающим породам, с последующим её бурением по сближенному угольному пласту.

Предварительно до начала бурения скважины по возможности ослабляют жесткость крепления штанг бурового снаряда, обеспечивают их частичную подвижность во время бурения по крепкому слою пород. Осуществляют это с помощью кольцевых шайб из менее прочного материала (отожженной меди, специальной податливой резины и пр.). Применительно к мощному слою крепких пород (4-5 м и более, по шкале буримости свыше 4). В ряде случаев допускается уменьшение длины штанг от стандартного в 1,5-2 раза. В соответствии с технической характеристикой буровой установки при необходимости снижают скорость вращения коронки и усилие подачи снаряда. До работы буровой установки предварительно определяют опытным путем или на стенде, оборудованном соответствующими датчиками и самописцами [2-4].

Исходные данные о составе горных пород на выемочном участке, их геометрических размерах, коэффициентах крепости и буримости пород принимают по результатам геологоразведочных работ, нормативной и справочной литературе, горнотехнической характеристике, изложенной в паспорте выемочного участка на ведение очистных работ и характеристики VLD-1000.



Реализация нового способа бурения скважины направленной трассы в подземных условиях будет способствовать повышению эффективности дегазации на выемочном участке газообильной шахты, уменьшению объема бурения скважин, числа устьев их герметизации.

В лавах по восстанию (падению) угольного пласта буровую установку размещают в промежуточном штреке, пройденном между печами по пласту Болдыревскому, вблизи вентиляционной и конвейерной печи. Используют стратиграфический разрез свиты пластов угля и пород, геометрические их размеры, характеристику вмещающих пород по шкале крепости и буримости пород. Угол разгрузки пород кровли обрабатываемого пласта устанавливают в соответствии с рекомендациями Инструкции по дегазации угольных шахт, либо показателем реперов, фиксирующих деформации пород в связи с их разгрузкой от горного давления или иным доступным для измерения методом, например, датчиками горного давления в контрольных скважинах.

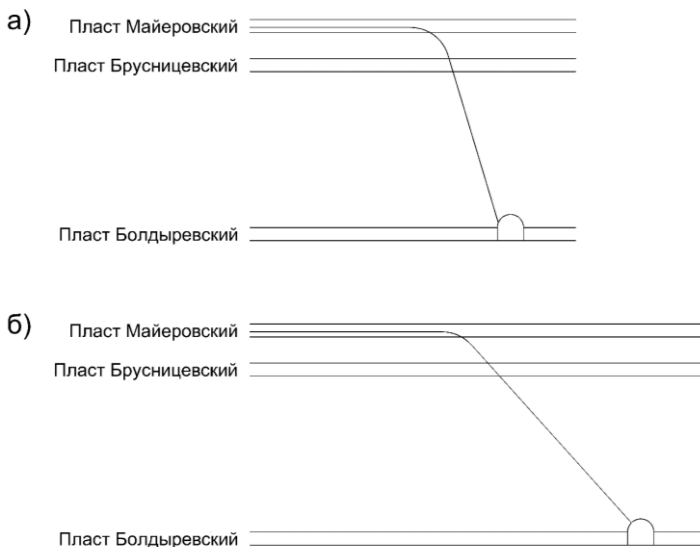
С помощью маркшейдерской службы, геологов и бурового мастера просчитывают маршрут скважины направленной трассы от её устья до сближенного угольного пласта и далее в плоскости сближенного пласта, подвергаемого дегазации.

Трассу скважины ориентируют в направлении забоя лавы вдоль участковой выработки на расстоянии 5-10 м от зоны разгрузки массива горных пород очистным забоем, сохраняя устойчивость скважины от разрушения. Протяженность скважины, пробуренной по сближенному угольному пласту, принимают равной расстоянию между промежуточными штреками, причем с превышением на 50-60 м.

Параметры выемочного участка, очистного забоя, проветривания выработок, транспорта разрушенного угля, управления кровлей принимают по информации, изложенной в паспорте выемочного участка. Измерение расхода каптируемой смеси, разрежения на устье скважины, контроль и эксплуатацию дегазационной системы на участке осуществляют в соответствии с положениями ПБ и Инструкции по дегазации угольных шахт.

Схема бурения скважины, представленной на рис. 1 а, предпочтительна при отсутствии во вмещающих породах слоя крепких пород (песчаники, известняки, мелкозернистые алевролиты) с коэффициентом  $f=4-5$  и более, мощностью менее 5м по нормали, а схема на рис. 1 б – при мощности крепкого слоя пород более 5м.

При длине лавы 300-350 м скважины направленной трассы на сближенные пласты угля проводя вблизи вентиляционной и конвейерной печи, подключают их к участковой дегазационной сети.



**Рисунок 1 - Схема бурения скважины направленной трассы на сближенные угольные пласты: а – прямолинейно до горизонтальной части скважины по сближенному пласту Майеровскому; б – направленной по вмещающим породам и прямолинейной по сближенному пласту Майеровскому**

Преимущество такого способа бурения скважины направленной трассы на выемочном участке состоит в высоких показателях дегазации сближенного угольного пласта (пластов), обеспечении заданного объема извлечения метана из сближенного пласта (пластов угля), нормализации газового режима на участке, повышении производительности очистного участка по газовому фактору и безопасности ведения горных работ, снижении объемов бурения и герметизации устьев скважин.

#### Список литературы

1. Инструкция по дегазации угольных шахт. Серия 05. Вып. 22. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2020. – 240 с.
2. Артемьев В.Б., Рубан А.Д., Забурдяев В.С. и др. Промышленный регламент технологии извлечения и утилизации шахтного метана в процессе разработки высокогазоносных угольных пластов подземным способом // Уголь. 2010. №2. С.18-20.
3. Забурдяев В.С., Федоров Е.В., Белоусов Ф.С. Дегазация разрабатываемых пластов угля направленной трассы скважинами // Безопасность труда в промышленности. 2023. № 9. С. 59–64. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-9-59-64.

4. Забурдяев В.С., Шляпин А.В. Дегазация сближенных угольных пластов направленной трассы скважинами // Безопасность труда в промышленности. 2023. № 10. С. 7–11. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-10-7-11.

УДК: 622.831.(575)

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ВОКРУГ ДВУХПУТЬЕВОГО БЕЗ НАПОРНОГО ТУННЕЛЯ С ТРАПЕЦИЕВИДНЫМ СЕЧЕНИЕМ

Ботоканова Б.А.

*Кыргызский государственный технический университет  
им. И. Раззакова, г. Бишкек*

**Аннотация:** С использованием метода Колосова-Мухелишвили и программной среды MATHCAD была разработана методика для анализа распределения напряжений и деформаций вокруг туннеля с учетом горного рельефа. Математическая модель напряженно-деформированного состояния массивов учитывает воздействие объемных и тектонических сил.

Результаты исследования представлены в виде изолиний напряжений и деформаций, учитывая особенности рельефа гор.

**Ключевые слова:** напряжения, деформация, конформное отображение, горный выработка, давление, численный анализ, аналитическая модель.

**Abstract:** Using the Kolosov-Muskhelishvili method and the MATHCAD software environment, a technique was developed to analyze the distribution of stresses and strains around the tunnel, taking into account mountainous terrain. The mathematical model of the stress-strain state of the massifs takes into account the influence of volumetric and tectonic forces.

The results of the study are presented in the form of stress and deformation isolines, taking into account the features of the mountain topography.

**Key words:** stress, deformation, conformal mapping, mine workings, pressure, numerical analysis, analytical model.

**Введение.** Анализ напряженно-деформированного состояния пород в окрестностях горных выработок применяются основные методики: метод разгрузки, метод конечных элементов, метод конечных разностей, а также методы, основанные на работах Колосова-Мухелишвили с использованием конформного отображение.

Для расчета напряженно-деформированного состояния массивов пород вокруг горных выработок, необходимо создать аналитическую

модель напряженного состояния массивов горных пород с учетом рельефа гор, возможного место расположения, действие гидростатического давления, объемных и тектонических в единой аналитической модели.

Методы исследования включает использование математического программного комплекса MATHCAD для конформных отображений; метод Колосова-Мухелишвили [1]; численный анализ и компьютерная графика на ПЭВМ.

**Основная часть.** Математическая модель напряженно-деформированного состояния массивов пород вокруг двух путевого без напорного туннеля с трапецевидным сечением отыскивается в виде суммы [5]:

$$\begin{aligned} \sigma_x^0 &= \sigma_x^n + \sigma_x^p + \sigma_x^m + \sigma_x^H, \quad \sigma_y^0 = \sigma_y^n + \sigma_y^p + \sigma_y^m + \sigma_y^H, \\ \tau_{xy}^0 &= \tau_{xy}^n + \tau_{xy}^p + \tau_{xy}^m + \tau_{xy}^H. \end{aligned} \quad (1)$$

Результаты исследований, описанные автором, были подробно изложены и ранее опубликованы в соответствующих работах. [5,6].

Начальное напряженное состояние в центре будущего туннеля вычислены:

$$S_x = -30 \text{ МПа}; S_y = -20 \text{ МПа}; S_{xy} = -10 \text{ МПа}$$

Расчетные формулы для определения формы и сетка разбиения исследуемой области используются полярные координаты  $\rho, \theta$ , которые описывают следующими параметрическими уравнениями [3-4]:

$$Y_2(\rho, \theta) = \text{Im}(\omega(\rho, \theta)), \quad X_2(\rho, \theta) = \text{Re}(\omega(\rho, \theta)), \quad k = 1 \dots 36,$$

Поле напряжений от влияния возникновения туннеля напряжений в массиве склона горы  $\sigma_\rho, \sigma_\theta, \tau_{\rho, \theta}$ , где начальное напряженное состояние в точке возникновения туннеля характеризуется компонентами  $S_x, S_y, S_{xy}$  и будет определено из граничных условий [2, 5-6]:

$$\begin{aligned} [R\Gamma\sigma + \phi(\sigma)] + [R\bar{\Gamma} + \overline{\phi'(\sigma)}] \cdot \left[ \frac{\omega(\sigma)}{\omega'(\sigma)} \right] + [R\bar{\Gamma}'\sigma + \overline{\psi(\sigma)}] &= 0; \\ [R\bar{\Gamma}'\sigma + \overline{\psi(\sigma)}] + [R\Gamma + \phi'(\sigma)] \cdot \left[ \frac{\omega(\sigma)}{\omega'(\sigma)} \right] + [R\Gamma'\sigma + \psi(\sigma)] &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Результаты контурных напряжений, где из трех компонентов напряжений – только одна – окружная компонента отлична от нуля, а другие два компонента равны нулю. Нормальная и касательная компоненты во всех точках близки к нулю.

Таблица 3

**Значения распределения напряжения вокруг туннеля**

$\sigma_p$ (МПа)	$\sigma_{\theta}$ (МПа)	$\tau_{p\theta}$ (МПа)
$-1.066 \cdot 10^{-14}$	-42.256	$-1.776 \cdot 10^{-15}$
$-7.105 \cdot 10^{-15}$	-46.237	$5.329 \cdot 10^{-15}$
$1.066 \cdot 10^{-14}$	-52.258	$7.105 \cdot 10^{-15}$
$-1.066 \cdot 10^{-14}$	-60.690	$5.329 \cdot 10^{-15}$
$2.487 \cdot 10^{-14}$	-72.616	$8.882 \cdot 10^{-15}$
$2.132 \cdot 10^{-14}$	-89.295	$3.553 \cdot 10^{-15}$
$-1.934 \cdot 10^{-14}$	-111.684	$6.395 \cdot 10^{-14}$
$-1.084 \cdot 10^{-14}$	-138.060	$1.590 \cdot 10^{-13}$
$2.185 \cdot 10^{-13}$	-159.290	$6.106 \cdot 10^{-14}$
$9.237 \cdot 10^{-14}$	-159.037	$-1.279 \cdot 10^{-13}$
$5.329 \cdot 10^{-14}$	-133.214	$-8.527 \cdot 10^{-14}$

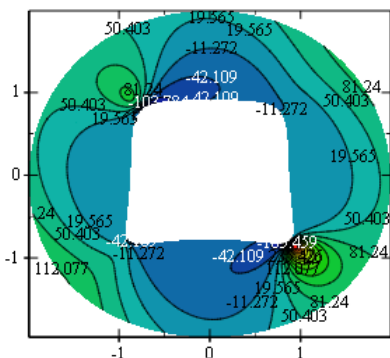
Граничные условия в этом случае выполняются с достаточной точностью, как показано в таблице 1 для компонентов напряжений.

Результаты расчета напряжений и относительных деформаций представлены на рис. 1.

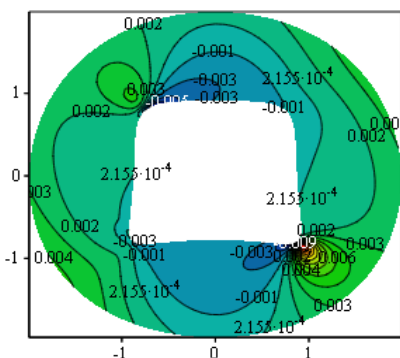
**Выводы.** Установлены новые закономерности распределения напряжений и деформаций вокруг горных выработок и туннелей при совместном и раздельном воздействии гравитационных сил и тектонического сжатия.

Определены значения горизонтальных, вертикальных и касательных напряжений в массиве вокруг туннеля. Численные показатели принимаются за граничные условия для определения их влияния на образованный туннель.

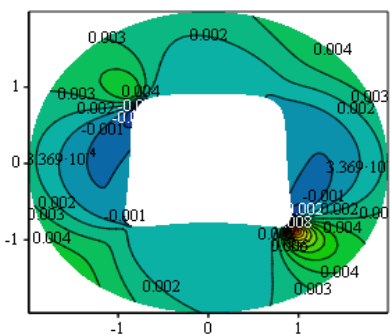
Для автоматизации расчетов напряженно-деформированного состояния массивов вокруг гидротехнических туннелей был разработан алгоритм с использованием программной среды MATHCAD [6].



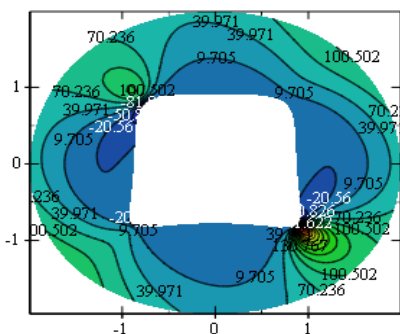
(CreateMesh( $\Sigma_{\sigma x}$  ,1,2,0,2 $\cdot\pi$  ,40,360))



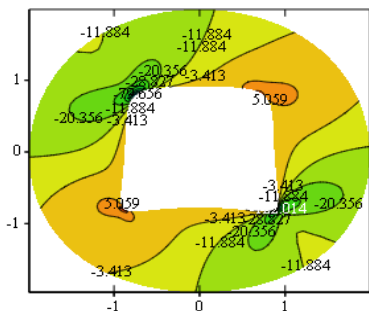
(CreateMesh( $\Sigma_{\epsilon x}$  ,1,2,0,2 $\cdot\pi$  ,40,120))



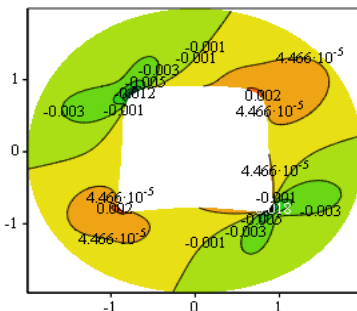
(CreateMesh( $\Sigma_{\sigma y}$  ,1,2,0,2 $\cdot\pi$  ,40,120))



CreateMesh( $\Sigma_{\sigma y}$  ,1,2,0,2 $\cdot\pi$  ,40,120)



(CreateMesh( $\Sigma_{\sigma xy}$  ,1,2,0,2 $\cdot\pi$  ,40,120))



(CreateMesh( $\Sigma_{\epsilon xy}$  ,1,2,0,2 $\cdot\pi$  ,40,120))

**Рисунок 1 – Распределение напряжений и относительных деформаций**

## Список литературы

1. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. // М.: Наука. - 1966. - 707 с.
2. Жумабаев Б. Распределение напряжений в массивах пород с горнистым рельефом. // Фрунзе: Илим, 1988. – 190 с.
3. Аманалиев А.А., Жумабаев Б., Ботоканова, Б.А. Методика и программа расчета напряжений вокруг туннелей (выработок, // Современные проблемы механики сплошных сред: сб. тр. Междунар. конф. «Проблемы геомеханики и освоения недр». – Бишкек, 2012. – Вып. 15: Гидрогазодинамика, геомеханика и геотехнологии. – С. 102-111. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28926297>.
4. Ботоканова Б.А. Жумабаев Б. Расчет напряжений и деформаций массивов вокруг напорного туннеля трапециевидным сечением // European Journal of. Technical and Natural Sciences. – Vienna, 2018. – № 3. – С. 16-27. <https://elibrary.ru/item.asp?id=36269620>.
5. Ботоканова Б.А., Жумабаев Б. Методика математического моделирования напряженного состояния вокруг напорного туннеля, расположенного в горном массиве // Естеств. и техн. науки. – М., 2018. – №8 (122). – С. 235-243. <https://elibrary.ru/item.asp?id=35574849>
6. Кирьянов Д.В. MATCAD 14 – СПб: БХВ – Петербург, 2007. – 685 с.

УДК 622.02

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУРЫ ГОРНЫХ ПОРОД НА ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ МИКРОТРЕЩИН ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ РАЗРУШЕНИИ

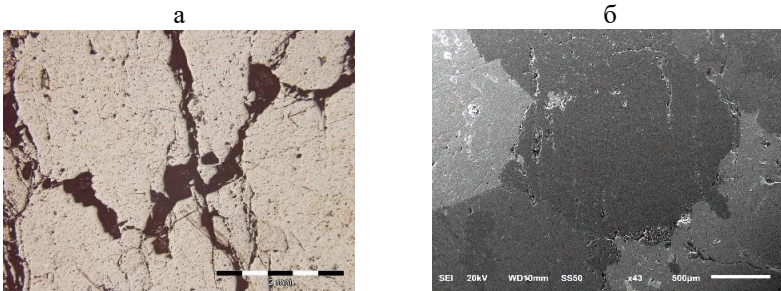
Кочанов А.Н., Бунин И.Ж.

*ИПКОН РАН*

Разрушение горных пород в условиях внешних энергетических воздействий представляет собой пространственно-временной процесс образования и развития трещин на различных масштабных уровнях, закономерности которого во многом определяются их структурой. Структурными (текстурными) элементами (физическими параметрами) горных пород являются зернистость, пористость, состав породообразующих минералов, микротрещиноватость [1]. Важная роль в процессе разрушения горных пород принадлежит микротрещинам, которые изначально присутствуют в большинстве минералов, горных пород и руд с момента их образования в результате геологических процессов и характеризуют начальную степень поврежденности среды. При описании механизма образования и развития микротрещин, важно отметить, что

большинство прочных горных пород представляют собой совокупность (природную композицию) зерен минералов, которые, как правило, отличаются по своим физическим свойствам, что обуславливает варьирование механических напряжений в масштабе зерна. Именно на этом структурном уровне проявляется эффект концентрации напряжений, под действием которых могут зарождаться и распространяться микротрещины, даже если напряжения значительно ниже предела прочности горной породы. Поэтому параметры и концентрация микротрещин зависит от структуры породы, например, для полиминеральных горных пород, существует значительное различие механических свойств минералов, входящих в их состав (для гранита – прочность кварца составляет 400 МПа, полевых шпатов – 120 МПа [1]). Это приводит к высокой концентрации напряжений и, следовательно, к формированию зон повреждений с высокой плотностью микротрещин. Мономинеральные породы, такие как мрамор, у которых различия свойств не столь значительные, характеризуются существенно меньшей плотностью микротрещин. В качестве примера на рис. 1 представлены система микротрещин в граните после взрывного воздействия.

Принято считать, что минимальная величина микротрещин, которую можно определить экспериментально, составляет порядка 0,1 мкм, так как в силу ряда причин выявить дефекты меньшего размера невозможно [2]. Проведенные нами исследования по изучению формирования микротрещин при взрывном и электромагнитном импульсном воздействиях (МЭМИ) на различные горные породы в целом подтверждают это положение. Установлен эффект образования микротрещин, величина раскрытия которых составляет несколько мкм, а минимальная величина порядка 0,1 мкм [3-4].



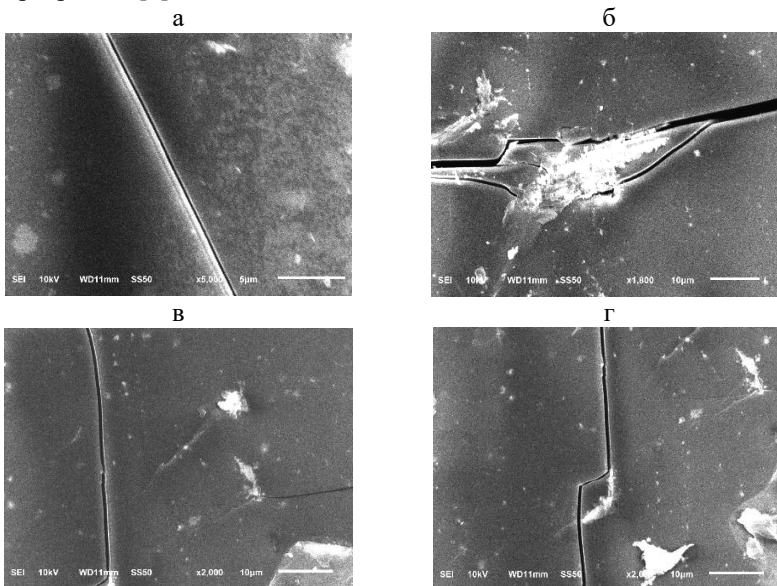
**Рисунок 1 - Вид микротрещин в граните после взрывного воздействия по данным оптической (а) и растровой электронной(б) микроскопии**

Следует также отметить, что в результате обработки МЭМИ на поверхности образцов угля происходило образование и распространение



микротрещин как по прямолинейным (рис. 2а, в), так и по извилистым траекториям (рис. 2б, г). Наличие минеральных микровключений в угле определяло морфологию образующихся микротрещин и характер наблюдаемой трещиноватости в целом. Диапазон изменения величины раскрытия трещин составлял от 0,2–0,5 до ~2,5 мкм. Наибольшим структурным изменениям (образованию и развитию микротрещин) в результате электромагнитного импульсного воздействия были подвержены образцы углей из выбросоопасных угольных пластов [4].

На характер образования (тип трещин) и развития микротрещин влияет фактор различия в размере зерен породообразующих минералов. По данным экспериментальных исследований в [5-6] установлена зависимость между неоднородностью распределения размеров зерен, механизмом и типом разрушения горных пород: с повышением показателя неоднородности размеров зерен число внутривитриновых микротрещин нормального отрыва увеличивалось, а межзеренных трещин сдвига – уменьшалось. Неоднородность структуры горных пород влияет также на параметры распространения (скорость и возможность ветвления) макротрещин [7].



**Рисунок 2 - Траектории распространения микротрещин в угле при отсутствии (а, в) и наличии (б, г) микровключений после обработки МЭМИ**

Таким образом следует отметить, что процесс развития микротрещин избирательный и зависит от типа и распределения окружающих минеральных зерен, степени неоднородности образцов горных пород, которая обусловлена их полиминеральным составом и различным размером зерен. Полученные экспериментальные результаты расширяют представления и имеют значение для понимания механизма и природы образования микротрещин при динамическом разрушении горных пород применительно к различным технологическим процессам.

### Список литературы

1. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. // М.: Недра. - 1978. - 390 с.
2. Черемской П.Г., Слезов В.В., Бетехтин В.И. Поры в твердых телах. // М.; Энергоатомиздат. - 1990. - 374 с.
3. Викторов С.Д., Кочанов А.Н. Развитие микротрещин при динамическом разрушении горных пород // Изв. РАН. Сер. физическая. 2015. Т. 79. №6. С. 820–822.
4. Кочанов А.Н., Бунин И.Ж., Малинникова О.Н. Экспериментальное исследование механизма образования микродефектов в горных породах при воздействии высоковольтных наносекундных импульсов // Изв. РАН. Сер. физическая. 2021. Т. 85. № 9. С. 1282–1286.
5. Zhenhua Han, Luqing Zhang, Rafiq Azzam. A statistical index indicating the degree and mechanical effects of grain size heterogeneity in rocks // Engineering Geology. 2021 DOI: 10.1016/j.enggeo.2021.106292.
6. Guang Liu, M. Cai, Ming Huang. Mechanical properties of brittle rock governed by micro-geometric heterogeneity // Computers and Geotechnics. 2018. DOI: 10.1016/j.compgeo.2017.11.013.
7. Kochanov AN Experimental Study of Dynamic Fracture in Structurally Heterogeneous Materials on the Example of Rocks // Reviews on Advanced Materials and Technologies. 2023. Т. 5. N 3. pp. 39-46.

УДК 6222.357.1:622.244.6:551.34

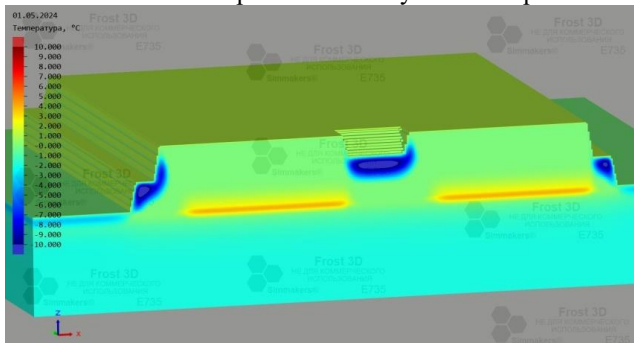
## МЕТОДОЛОГИЯ БЛОЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ РУДНОГО ШТАБЕЛЯ ПРИ КВ ЗОЛОТА В ХОЛОДНОМ КЛИМАТЕ

Каймонов М.В.

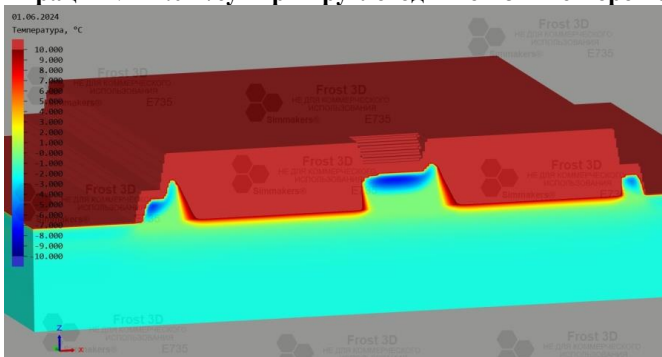
*ФИЦ ЯНЦ СО РАН, ИГДС СО РАН, г. Якутск*

В современных экономических условиях проектирование горных предприятий должно осуществляться в кратчайшие сроки и с сохранением при этом высокой точности и достоверности результатов, с глубиной,

зачастую многовариантной проработкой проектных решений. Представлены результаты разработки методики построения 3Д геоинформационной модели объектов горного производства. В качестве примера рассматривается прогноз теплового режима рудного штабеля при кучном выщелачивании золота в условиях холодного климата. «Цифровой двойник» рудного штабеля построен в программном комплексе Frost 3D. Введение «элементарных» блоков позволяет рассматривать различные варианты его формирования, режимов эксплуатации, орошения, теплоизоляции и др. Это позволяет выявить закономерности изменения теплового режима рудного штабеля, разработать рекомендации по управлению тепловым режимом, повысить экономическую эффективность данной технологии и применять её в условиях крайнего Севера.



**Рисунок 1 - Температурная диаграмма продольного среза штабеля в районе технологического съезда на 01.05.2024 г при скорости фильтрации  $v = 2.0$  м/сут при круглогодичном зимнем орошении**



**Рисунок 2 - Температурная диаграмма продольного среза штабеля в районе технологического съезда на 01.06.2024 г при скорости фильтрации  $v = 2.0$  м/сут при круглогодичном зимнем орошении**

## Список литературы

1. СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88 (с Изменением № 1), Москва, 2013.
2. Практическое пособие по Frost.Термо. – М.: ООО «НТЦ «Симмэйкерс», 2024. – 161 с.
3. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики. – М.: Научный мир, 2003. – 316 с.
4. Леонтьев Н.Е. Основы теории фильтрации. – М.: Изд-во ЦПИ при механикоматематическом факультете МГУ, 2009. – 88 с.
5. Самарский А.А. Теория разностных схем. // М.: Наука, 1989. – 616 с.
6. Павлов А.В. Расчет и регулирование мерзлотного режима почвы. – Новосибирск: Наука, 1980. – 240 с.
7. Гаврильев Р.И. Теплофизические свойства компонентов природной среды в криолитозоне: Справочное пособие. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 146 с.
8. Фельдман Г.М., Тетельбаум А.С., Шендер Н.И. и др. Пособие по прогнозу температурного режима грунтов Якутии / Отв. ред. П.И. Мельников. – Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО РАН СССР, 1988. – 240 с.
9. Хабиров В.В., Забельский В.К., Воробьев А.Е. Прогрессивные технологии добычи и переработки золотосодержащего сырья. – М.: Недра, 1994. – 268 с.
10. Игнатов А.А. Физико-химические процессы горного производства (математические модели выщелачивания руд и оттаивания мёрзлых пород). – М.: Наука, 1986. – 96 с.
11. Татауров С.Б. Трансформация и переработка золотосодержащего сырья в криолитозоне. – М.: Издательство «Горная книга», 2008. – 318 с.
12. Татаринов С.М., Хомутов А.В., Косяков О.В., Седых В.И. Применение кучного выщелачивания золота в условиях Крайнего Севера. // Цветные металлы. – 2010. – № 11. – С. 44-45.
13. Ковалёв В.Н., Муслимов Б.А., Клепиков А.С. Математическое моделирование кучного выщелачивания золота в зонах многолетней мерзлоты. // Горный журнал. – 2013. – № 7. – С. 37-40.
14. Кашуба С.Г., Лесков М.И. Кучное выщелачивание в российской практике – обзор опыта и анализ перспектив. // Золото и технологии. - 2014. - № 1(23). - С. 10–14.
15. McBride D., Gebhardt J., Croft T., Cross M. Modeling the hydrodynamics of heap leaching in sub-zero temperatures. Minerals Engineering, 2015, pp. 1-26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2015.11.005>.
16. McBride D, Gebhardt J, Croft N, CrossM. Heap Leaching: Modelling and Forecasting Using CFD Technology. Minerals. 2018, 8, 9; doi:10.3390/min8010009

17. Попов В.И., Каймонов М.В. Определение оптимальных параметров процесса выщелачивания в рудном штабеле при отрицательных температурах окружающей среды. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 11 (специальный выпуск 24). – С. 292-298.

18. Маринин М.А., Карасев М.А., Поспехов Г.Б., Поморцева А.А., Кондакова В.Н., Сушкова В.И. Комплексное изучение фильтрационных свойств окомкованных песчано-глинистых руд и режимов фильтрации в штабеле кучного выщелачивания // Записки Горного института. – 2023. – Т. 259. – С. 30-40. DOI:10.31897/PMI.2023.7

## **АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ И РУДНИКАХ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АКТИВИЗАЦИИ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ**

**Романевич К.В., Мулёв С.Н.**

*Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – межотраслевой научный центр «ВНИМИ»*

На большинстве месторождений в горнодобывающих районах мира ведется мониторинг сейсмической активности для контроля геодинамических процессов. Эксплуатация систем сейсмомониторинга позволяет выявлять опасные зоны, прогнозировать геодинамические явления, разрабатывать рекомендации по параметрам и креплению горных выработок, а также управлять геодинамическим риском с помощью противоударных мероприятий и выбора методов и направлений развития горных работ.

Институтом ВНИМИ разработана система сейсмомониторинга GITS, которая в настоящее время функционирует на 16 шахтах и рудниках [1]. Система GITS включает в себя сеть подземных сейсмопавильонов, оборудованных трехкомпонентными датчиками-акселерометрами, а также наземную часть с блоком регистрации и вычислительным центром. Управление системой, настройка параметров регистрации и обработка результатов производится с помощью удалённого подключения по сети Интернет [2]. Для связи с объектами контроля, а также для обработки и визуализации данных сейсмомониторинга разработан программный комплекс GITS2 [3], рассчитанный на работу с набором локальных или удаленных баз данных одновременно.

В процессе работы системы GITS по сети подземных сейсмопавильонов записываются сейсмограммы зарегистрированных сейсмических событий.

Предварительная обработка событий выполняется сменным оператором в круглосуточном режиме с помощью анализа сейсмограмм:

- определение временных границ события по каждому каналу, на сейсмограмме которого визуально можно определить начало и конец события (т.н. вступление и окончание);

- расчет энергии события (выполняется автоматически после указания вступлений и окончаний);

- расчет координат гипоцентра события;

- запись полученных данных в соответствующую базу данных.

Программные модули ПО позволяют привязывать возникающие события к горизонтальным планам и к трехмерному пространству шахты. Модуль для просмотра и анализа событий позволяет выгружать из баз данных информацию о событиях за требуемый период времени и осуществлять анализ этой информации, с помощью следующих функций:

- визуализация положения гипоцентров событий на горизонтальных и вертикальных планах шахты (рудника или карьера);

- визуальная идентификация событий на карте с помощью цветовой дифференциации по энергии, а также по давности события;

- отображение области действия события (радиусы влияния);

- выборка и анализ событий только в определенном пространственном объеме;

- выборка и анализ событий только с энергией в определенном диапазоне;

- просмотр графиков статистик – количества событий и их энергии в определенный период времени;

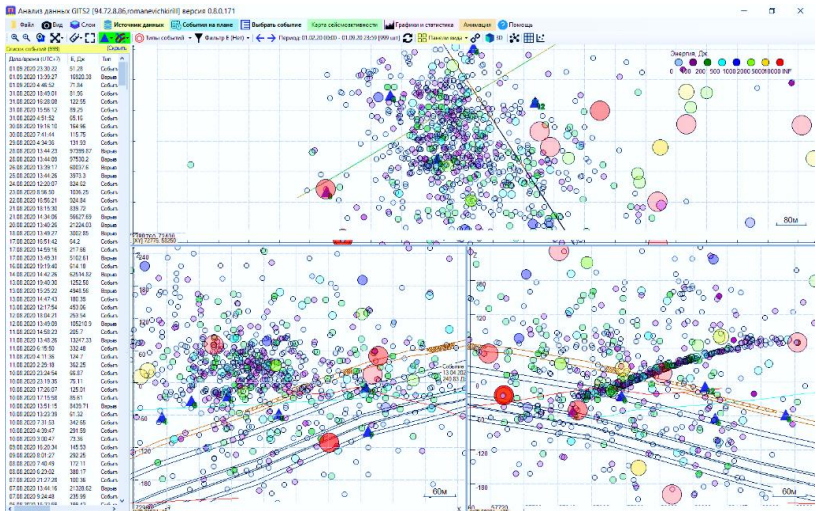
- измерение углов и расстояний;

- отображение самого нового события из представленных на карте;

- классификация различных типов сейсмических событий [4];

- генерация карт сейсмической активности по различным критериям с настраиваемыми параметрами и др.

Одной из задач сейсмомониторинга является эффективный и заблаговременный прогноз подготовки опасных геодинамических процессов и явлений, в частности активизации разрывных нарушений в массиве. Предположение об активизации существующего разрывного нарушения или формировании нового нарушения, например, по трещиноватости массива может быть сделано, когда система сейсмомониторинга начинает регистрировать события, проявляющие закономерное распределение в виде поверхностей (плоскостей) в породном массиве. На рисунке 1 показан участок угольной шахты по осям XZ с облаком накопленных сейсмических событий за февраль-сентябрь 2020 года.



**Рисунок 1 – Идентификация плоскости разрыва на угольной шахте по накоплению сейсмособытий в ходе мониторинга, окно программы GITS2**

Показанная активизация привела к разрушению горной выработки с тяжелыми последствиями. Для предотвращения аналогичных сценариев ВНИМИ разрабатывается алгоритм заблаговременной идентификации образования подобных структур в породном массиве.

Основой функционирования такого алгоритма является анализ данных мониторинга по системе GITS за определенный временной период. Итогом работы алгоритма является список найденных поверхностей, таблица и график количества, дат и энергии событий, формирующих каждую найденную поверхность, а также уравнения и координаты, найденных поверхностей.

В настоящее время проводится параллельное тестирование ряда алгоритмов, основанных на разных подходах:

- геометрические и регрессионные методы;
- кластерный анализ (k-means и DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise), для группировки точек данных, представляющих поверхности в пространстве);
- статистические методы (RANSAC (Random Sample Consensus), применяемый в компьютерном зрении, обработке изображений, компьютерной графике и в других областях. Преимущества метода RANSAC включают его способность к обработке больших объемов данных и его устойчивость к наличию выбросов в данных. Однако он также имеет

свои недостатки, такие как зависимость от выбора параметров и недетерминированность (результаты могут различаться при различных запусках из-за случайного выбора подмножеств)) и др.

Каждая обнаруженная поверхность может быть визуализирована и явно связана с планами шахты или рудника с помощью пространственной реконструкции. Это даст возможность еще в процессе формирования разрывного нарушения или на начальном этапе его активизации определить потенциально опасные участки выработок, выполнить необходимые разгрузочные мероприятия, усилить крепь, обезопасить персонал.

### Список литературы

1. Мулев С.Н., Питаль М.Н., Панин С.Ф., Тюхрин В.Г. Современные технологии сейсмического мониторинга угольных шахт и рудников. // Горный журнал. - 2019. - №9. – С. 68–72. <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.09.08>.

2. Рукавишников Г.Д., Мулёв С.Н., Гаврилов А.Г. Опыт применения и перспективы развития системы сейсмического мониторинга ГИТС на Таштагольском железорудном месторождении. // Горная промышленность. – 2023. - №S1. – С. 90–95. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-90-95>.

3. Питаль М.Н. Программный комплекс GITS2. Руководство по эксплуатации. ВНИМИ. - СПб. - 2023. - 117 с.

4. Романевич К.В., Мулёв С.Н. Автоматизация классификации сейсмических событий при сейсмомониторинге угольной шахты с использованием машинного обучения. // Горная промышленность. – 2023. – №5S. – С. 72–78. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-00-00>.

## ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ ТРЕЩИН В ГОРНЫХ ПОРОДАХ РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАСТЯГИВАЮЩИХ НАГРУЗОК

**Коровин Р.Д.<sup>1</sup>, Меженов М.Е.<sup>1,2</sup>, Зайцев Д.В.<sup>1,2</sup>, Панфилов П.Е.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Уральский федеральный университет, Екатеринбург;*

<sup>2</sup>*Уральский государственный горный университет, Екатеринбург*

Измельчение горной породы – основа многих технологических процессов в горной промышленности. Превалирующим каналом accommodation механических напряжений в твердых телах с ковалентными химическими связями, к которым относятся горные породы, является разрушение или зарождение и рост трещин. В докладе сравнивается морфология трещин, возникающих в горных породах и в материалах, приготовленных из измельченных горных пород разного генезиса, под действием растягивающей нагрузки. В качестве схем нагружения использовали диаметрально сжатие / бразильский тест и 3-х точечный изгиб. Трещины на боковых поверхностях образцов изучали на металлографических микроскопах. В качестве эталона хрупкого разрушения



приняли рост трещин в монокристаллах кремния, а поведение трещин в шейке поликристаллического алюминия выбрали в качестве примера вязкого разрушения. Модельными горными породами геологического генезиса стали серый гранит и сиенит, скорлупу куриных яиц взяли как минерал биологического происхождения. Компактированные образцы из измельченных горных пород и минералов были представлены глинистым грунтом и прессованным порошком из скорлупы куриных яиц с разными связующими. Образцы для диаметрального сжатия имели форму дисков диаметром от 6 до 12 мм, с отношением диаметра к высоте 2:1. Испытания на изгиб проводили на брусках размером 100x10x5 мм<sup>3</sup>. Испытания проводили на воздухе со скоростью перемещения traversы 0,1 мм/мин.

Анализ хода деформационных кривых модельных материалов показал, что во всех случаях они демонстрируют хрупкое деформационное поведение: инженерная кривая оказывалась близкой к прямой линии, а деформация до разрушения не превышала 1%. Изучение морфологии трещин показало, что (1) их траектория определяется геометрией приложенной нагрузки; (2) трещины имели ломаный профиль и состояли из слившихся и почти слившихся мелких трещин; (3) отношение длины и ширины трещин в модельных материалах оказалось существенно меньше, чем для трещин в кремнии. Следует отметить, что признаки (2) и (3) не свойственны хрупкому разрушению, но присущи разрушению пластичных металлов, таких как алюминий, в области шейки. Было обнаружено, что при изгибе серого гранита и сиенита, ширина трещин зависела от величины деформации образца: чем больше деформация, тем шире трещина. Это может означать, что в модельных горных породах вклад в аккомодацию внешних напряжений на микроскопическом масштабе вносит дополнительный (к росту трещины) канал. Изгиб образцов, вырезанных из скорлупы куриных яиц, непосредственно на оптическом микроскопе показал, что трещины в скорлупе можно подрачивать, увеличивая стрелу прогиба, причем как на воздухе, так и в воде. Морфология таких трещин не отличалась от морфологии трещин в модельных материалах под действием растягивающих нагрузок.

На основании полученных результатов можно заключить, что несмотря на хрупкое деформационное поведение модельных материалов на макроскопическом масштабе, их поведение на микроскопическом уровне отличается от поведения таких хрупких материалов как кремний и обладает рядом признаков вязкого поведения.

*Работа выполняется при поддержке РФФ (грант № 23-29-00253).*

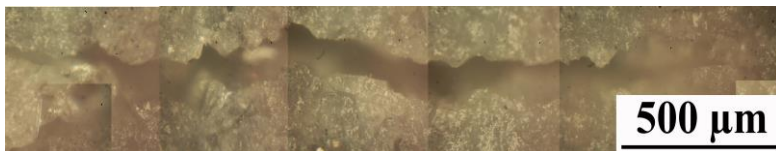


Рисунок 1 - Трещина в образце гранита, возникшая при изгибе



Рисунок 2 - Трещина в образце сиенита, возникшая при изгибе



Рисунок 3 - Развитие трещины в шейке поликристаллического алюминия при растяжении



Рисунок 4 - Трещина в образце из компактированного порошка скорлупы куриных яиц, возникшая при диаметральном сжатии

УДК 622.831.24:550.832

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ УГЛЯ ПРИ ВЕДЕНИИ ОЧИСТНЫХ И ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ

Харченко А.В.

ИПКОН РАН

*Определение газовыделения угольных пластов является важным параметром при прогнозе и предотвращение выбросов угля и газа, а также*

*позволяет прогнозировать и предотвращать остановки при работе комплексно-механизированного забоя по газовому фактору. Не всегда существующие методы позволяют точно определять содержания газа в угольных пластах. В работе рассматриваются вопросы определения текущего газовыделения в забое, проведенного на основе отбора и анализа проб угля и газа. Отбор проб угля и газа из угольного массива проводился как в действующей лаве, так и при проходческих работах. Предложенное экспериментальное определение текущей газоносности обнажения забоя является перспективным методом и рекомендуется к использованию в виде экспресс-анализа газовыделения в шахте.*

При ведении горных работ возникает много опасных факторов, один из них это скопления газов в трещиноватых зонах, в перемятых (выбросоопасных) пачках угля и выработанных пространствах как действующих, так и ранее отработанных выемочных участков. В выработанных пространствах аккумулируются взрывоопасные газовые смеси и тонкодисперсная угольная пыль, которые даже при слабых вспышках метана могут вызвать мощные взрывы метанопылевоздушных смесей с катастрофическими последствиями. В связи с этим определение газовой выделенности из угольного пласта играет важную роль.

Газоносность угольного пласта зависит от влияния многих факторов, таких как: геологические условия развития района, газопроницаемость вмещающих угольных пласты отложений, газоёмкость угля и вмещающих пород и др. Поэтому для прогнозирования газоносности угольного пласта необходимо иметь данные о физико-механических, реологических и сейсмоакустических свойствах угольного пласта и вмещающих пород.

В инструкции [1] говорится, что из-за невозможности принять во внимание все факторы, определяющие закономерности распределения газа в угленосной толще, а также из-за несовершенства применяемых технических средств и методов результаты определения газоносности угольных пластов на стадии геолого-разведочных работ должны уточняться по мере получения новых материалов при строительстве и эксплуатации шахт. Результаты выполненных работ по оценке текущей газоносности угольных пластов Болдыревский и Поленовский шахты им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс» представлены в [2].

Поскольку абсолютные величины объемов газовой выделенности из образцов зависят от множества факторов (физико-механических, фильтрационных, сорбционных свойств угля, фракционного состава, геомеханических условий отработки забоя и др.), полученные данные соотносились с измеренными объемами свободного газа в каждом образце. Именно по

этому показателю – процент (доля ед.) выделения из угля свободного газа во времени – и оценивалась динамика газовыделения пласта.

В таблице представлены результаты экспериментальных измерений текущей газоносности по методике, разработанной в ИПКОН РАН, а также ее сравнение с природной газоносностью пластов, полученной по результатам геологоразведки. Методика предусматривает определение объема полного газовыделения из пробы угля в несколько этапов: измерение объемов выделяющегося газа в шахте (пересчитываемые в объемы газа, «потерянные» при выбуривании керна) –  $V_1$ , объема газа, выделившегося из пробы в лаборатории при атмосферном давлении  $V_2$  и объемы остаточного газа, выделившегося из пробы при измельчении в герметичной мельнице до крупности 0,2 мм –  $V_3$ . Образцы угля отбираются непосредственно с груди очистного или проходческого забоев в герметичные пластиковые контейнеры и/или в керноотборники. После отбора проб производится определение количества выделившегося газа из угля и, используя зольность, влажность, плотность проб производится пересчет полученной газоносности на сухую беззольную массу, которая приведена в таблице 1.

Таблица 1

**Природная и экспериментально измеренная газоносность угольных пластов**

Шахта, пласт	Место отбора	Измеренная газоносность $Q$ $M^3/T_{сбм}$	Природная газоносность $M^3/T_{сбм}$	Процент от природной газоносности
ш. им. Ялевского, пл. 52	Лава 52-14	5,31	10,0	53,1
ш. им. Ялевского, пл. 52	Диag. просек 52-15-1	6,69	10,0	66,9
ш. им. Кирова, пл. Болдыревский	Лава 24-63	8,92	18,0	49,6
ш. им. Кирова, пл. Болдыревский	ВШ 24-63	10,41	18,0	57,8
ш. им. Рубана, пл. Полысаевский	Лава 818	2,09	5	41,8
ш. им. Рубана, пл. Полысаевский	Конь.штрек 818	4,76	5	95,2

Анализ приведенных данных позволяет сделать вывод, что при проходческих работах текущая газоносность выше, чем при очистных работах, т.е. ближе к природной и составляет от 95,2 % до 57,8% от природной. Так же, сравнение текущей газоносности с природной, позволяет оценить эффективность мероприятий по дегазации и работу системы проветривания выработок в зоне ведения горных работ.

#### **Список литературы**

1. Руководство по безопасности «Рекомендации по определению газоносности угольных пластов». – М. Серия 5, выпуск 48, –Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности». - 2017. - 44 с.

2. Федоров Е.В., Шенин Д.С. Результаты экспериментальной оценки газоносности разрабатываемых угольных пластов на шахте им. С.М. Кирова // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2019. - № 5. - С. 51–58. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-51-58с.

**УДК 622.235**

### **ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ БУРЕНИЯ И ВЗРЫВАНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ВЫБРОСОВ МИНЕРАЛЬНОЙ ПЫЛИ ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

**Жариков И.Ф., Докутович М.И.**

*ИПКОН РАН*

Достаточно интенсивными источниками регулярного образования минеральных субмикронных частиц при добыче полезных ископаемых являются процессы бурения [1]. Экспериментальные исследования образования высокодисперсных частиц в процессе бурения ограничивались в основном изучением фракций более 1 микрона. Натурные эксперименты, выполненные на одном из рудных карьеров, показали, что при бурении скважин диаметром 214 мм выделение фракций менее 1,5 мкм составляет 2-2,5 кг/м.

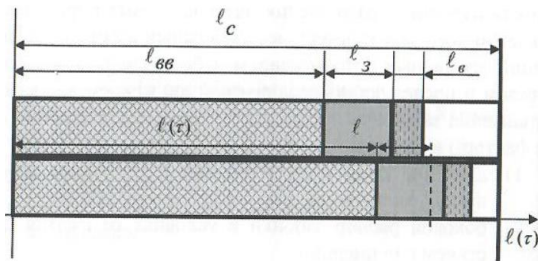
А также, существенным источником минеральных субмикронных частиц, в применяемых геотехнологиях, является процесс взрывного разрушения горных пород [2]. Необходимость обеспечения высоких количественных показателей взрывной отбойки различного масштаба делает неизбежным существенно избыточную энергонасыщенность разрушаемого объема, что приводит к образованию высокодисперсных частиц в объеме, значительно превышающем допустимый. В настоящее

время получено экспериментальное подтверждение факта образования при взрыве высокодисперсных частиц.

В учебнике безопасности ведения взрывных работ посвящены 2 главы [3], учитывающая актуальность и повышенные требования к безопасности ведения взрывных работ и повышенные экологические требования.

В справочнике [4] в разделе 5.8. «Методы управления взрывным разрушением массива скважинными зарядами» среди способов увеличения степени дробления массива указано, что эту цель можно достичь «Путем применения дополнительного заряда взрывчатого вещества в забойке». При этом «Сущность применения запирающих зарядов (самозаклинивающихся или активной забойки) заключается в помещении малого заряда взрывчатого вещества среди инертной забойки в скважине. При инициировании этого заряда одновременно с основным в скважине вследствие разнонаправленности взрывов создается дополнительное сопротивление основному заряду. Этим увеличивается действие взрыва основного заряда, повышается использование энергии взрыва в массиве, направленной на дробление породы. Масса запирающего заряда в забойке принимается приблизительно равной 1% от массы основного заряда».

В работе [5] в результате проведенных исследований разработан способ снижения пылегазовыделений при массовых взрывах на карьерах, включающий заряд из промышленных ВВ и забойку, состоящей из двух частей: инертного материала и закрепляющей смеси, представленной на рис. 1.



**Рисунок 1 - Конструкция скважинного заряда**

Конструкция скважинного заряда ВВ состоит из скважинного заряда ВВ – 1, промежуточного детонатора – 2, монтируемого в скважинную ударно-волновую трубку неэлектрической системы инициирования – 3, нижней части забойки из инертного материала – 4 и верхней части забойки из закрепляющей смеси – 5.

В скважину размещают заряд из промышленного ВВ – 1 по паспорту БВР. Над скважинным зарядом ВВ – 1 закладывают забойку, состоящей из инертного материала – 2 высотой, равной ½ общей длины забойки.

Далее над инертной забойкой заливают закрепляющую смесь при соотношении, масс, %:

- раствор силиката натрия ( $\rho = 1,45-1,50 \text{ г/см}^3$ ) с силикатным модулем 3,0-3,5) -30;
- природный фосфорный ангидрит ( $\text{P}_2\text{O}_5 - 9-10\%$ ) – 20;
- песок – 15;
- супесь – 15;
- вода – 20.

В результате проведенных исследований разработан способ снижения пылегазовыделений при массовых взрывах, включающий забойку, состоящей из инертного материала и закрепляющей смеси [5]. Закрепляющая смесь в указанных пропорциях обеспечивает твердение забойки за короткий промежуток времени, сцепление с боковыми породами и придает ей повышенную прочность до 2,3–3,0 МПа.

В работе [6] указано, что образующаяся при взрыве пыль выбрасывается в атмосферу в виде пылегазового облака и затем постепенно оседает на уступах, около карьерных площадях и в близлежащих населенных пунктах, являясь в дальнейшем интенсивным источником пылевыведения. В результате исследований установлено, что четкие границы формирования пылегазового облака наблюдаются только при отсутствии ветровых потоков. При наличии даже слабого ветра (0,5–1,0 м/с) границы облака резко меняются в течение 30–60 с. Наиболее крупные фракции пыли интенсивно выпадают вблизи взрываемого блока. Мелкие фракции вместе с газами под действием ветровых потоков распространяются на значительные расстояния от места взрыва. Дальность распространения пыли зависит от высоты выброса пыли над поверхностью взрываемого блока, скорости ветра, скорости витания пылинок в атмосфере.

**Благодарности.** *Исследования проведены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках мероприятия №1 комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 мая 2022 г. №1144-р и соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с п.4 ст.78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации от 28 сентября 2022 г. №075-15-2022-1185.*

#### Список литературы

1. Камолов Ш.А. Обоснование способов взрывного рыхления различных слоев вскрышных пород при разработке пластовых месторождений. // Автореферат дисс. канд. техн. наук. – М.: МГГУ, 2011. – 24 с.
2. Кудряшов В.В., Викторов С.Д., Качанов А.Н. О распределении минеральных частиц по размерам при разрушении горных пород. // Физико-

технические проблемы разработки полезных ископаемых, №6. – М.: ИПКОН РАН, 2006. – с. 68-72.

3. Кутузов Б.Н. Безопасность взрывных работ в горном деле и промышленности. // Учебное пособие. – М.: Изд. «Горная книга», 2009. – 670 с.

4. Анистратов Ю.И., Анистратов Б.Ю., Щадов М.И. Справочник по открытым горным работам. – М.: НТЦ «Горное дело», 2010. – 726 с.

5. Заиров Ш.Ш. Разработка способа снижения пылегазовыделений при массовых взрывах на карьерах. // Сб. Взрывное дело, №114/71. – М.: МВК по взрывному делу при АГН, 2015. – С. 202-210.

6. Тихонова О.В. Исследование процесса пылеобразования при взрывных работах. // Научно-технический сборник Взрывное дело. Выпуск №95/52. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2005. – С. 158-167.

7. Жариков И.Ф., Докутович М.И. «Чистый уголь – зеленый Кузбасс» к вопросу определения рациональной забойки при производстве взрывных работ на разрезах. // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 16 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – М.: ИПКОН РАН, 2023. – С. 49-52.

## **УДК 622.83**

### **ОБЩЕПЛАНЕТАРНЫЕ ФАКТОРЫ, ПОВЫШАЮЩИЕ ИЛИ ПОНИЖАЮЩИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ТВЕРДЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ПОРОДАХ**

**Борщ Т.В., Подрухин А.А.**

*ФГБНУ «Институт физики горных процессов», г. Донецк*

Известно, что длительно действующие внутрипланетарные факторы приводят в отдельных участках горного массива к возникновению высоких неравнокомпонентных напряжений неотектонического характера в плоскости напластования, которые приводят к периодическим усилениям или ослаблениям напряжений горного массива и, соответственно, к увеличению или уменьшению газодинамических явлений в шахтах.

По данным исследований М.В. Стоваса [1], вековое замедление вращения Земли наряду с внутриземными факторами приводят к накоплению в земной коре высоких напряжений. Причем как отмечено выше, наиболее существенными для возникновения динамических и газодинамических явлений в шахтах возможно только при накоплении напряжений в плоскости напластований. Накопление вертикальных напряжений ( $\gamma H$ ) может иметь место только в пределах, не превышающих прочность наиболее прочных пород на растяжение. Сезонная нестабильность выбросоопасных угольных пластов и пород в Донбассе с позиции тектонофизической теории выбросов объясняется увеличением или ослаблением напряженного состояния угольной толщи в определенные периоды.

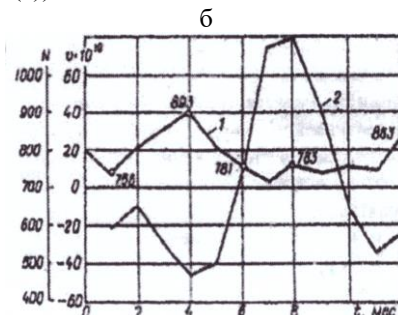


Одной из причин данного состояния земной коры может быть нестабильное вращение планеты Земля - при замедлении вращения напряженное состояние земной коры в вертикальном направлении должно увеличиваться, а при ускорении, вследствие возникновения центробежных сил, - уменьшаться. Из этого следует, что в периоды замедления вращения Земли выбросоопасность в шахтах увеличивается, а при ускорении - уменьшается.

Согласно работе [2], уменьшение скорости вращения Земли наблюдается в марте-июне с максимумом в апреле, а увеличение приходится на июль- октябрь с максимумом в августе. Для оценки влияния сокращения угледобычи на изменение количества выбросов в разные периоды года необходимо иметь сведения о помесечной добыче. Был собран и проанализирован статистический материал за период с 1975 по 1980 г.г. о помесечной общей добычи угля из выбросоопасных пластов на шахтах ПО «Донецкуголь» (рисунок 1(а)).

а

месяцы	Суммарная помесечная добыча угля (млн. т)
Январь	11,2
Февраль	10,7
Март	11,1
Апрель	11,1
Май	10,3
Июнь	10,7
Июль	10,8
Август	10,7
Сентябрь	10,6
октябрь	10
Ноябрь	10,3
декабрь	11,5



**Рисунок 1 – Сведения о суммарной помесечной добыче угля в ПО «Донецкуголь» за период с 1975 по 1980 гг (а) и связь сезонных колебаний скорости  $v \cdot 10^{10}$  вращения Земли с количеством  $N$  происшедших выбросов угля и породы во времени  $t$  (б)**

Анализируя данные видим, что в марте-июне, на которые приходится наибольшее уменьшение скорости вращения Земли, суммарная месячная добыча составила 43,2 млн. т, а в месяцы наибольшей скорости вращения июль-октябрь 42,1 млн. т, разница составила 3%. Общее количество происшедших выбросов угля и породы за указанный период достигло 3351 и 3042 соответственно, т.е. разница составила 9,2%. Поэтому есть основания утверждать, что уменьшение количества выбросов в летний период можно отнести за счет увеличения скорости вращения Земли, т.е. снижения напряженного состояния ее коры и угольных пластах в том числе. Графически связь колебаний угловой скорости вращения Земли с общим количеством происшедших выбросов угля и пород

(песчаников) в шахтах Донбасса изображена на рисунке 16. Линия 1 представляет собой график общего количества выбросов, прошедших на шахтах Донбасса помесечно. Кривая 2 представляет сезонные колебания угловой скорости вращения Земли, и, как видно (рис. 16), общее количество выбросов значительно больше в период замедления вращения Земли.

В работе [3] обращено внимание на то, что неравномерное вращение Земли должно отразиться не только на общем количестве выбросов в шахтах, но и в их интенсивности, измеряемой количеством выброшенной в горную выработку горной массы (ископаемого или породы) т. Для проверки данного предположения приведем статистическую выборку средней интенсивности выбросов угля и породы в шахтах Донбасса (таблица 1).

Из таблицы 1 следует, что средняя интенсивность выбросов угля в весенние месяцы (март, апрель, май) по сравнению с летними (июль, август, сентябрь) на 13 т. больше, а по породам, наоборот по сравнению с летним периодом на 43 т. меньше, что свидетельствует о якобы отсутствии связи нестабильности выбросоопасности угольных пластов и породных слоев с нестабильностью вращения Земли.

Таблица 1

**Статистическая выборка о выбросах угля и породы (песчаников) в шахтах Донбасса**

Выбросы угля и пород (песчаника) в шахтах Донбасса	Количество случаев	Месяцы года	Средняя интенсивность выбросов, т
Выбросы угля	500	Март-апрель-май	153
	500	Июль-август-сентябрь	140
Выбросы породы (песчаника)	500	Март-апрель-май	304,8
	500	Июль-август-сентябрь	347,8

Однако, если принять во внимание различную прочность и хрупкость (реологические свойства) угля и песчаников, то противоречия здесь нет. Согласно [4] период релаксации напряжений для аргиллита составляет 4,5 суток. Следовательно, для угля, особенно для пластов средней стадии метаморфизма, он значительно меньший и будет длиться приблизительно 1 сутки. Для выбросоопасных песчаников он равен 538 суток. Поэтому в марте-апреле-мае вертикальная составляющая напряжений в угольном пласте будет увеличиваться синхронно замедлению вращения Земли достигая величины  $uH$ . Горизонтальная состав-

ляющая напряжений по причине быстрой их релаксации без учета тектонических факторов практически увеличиваться не будет.

Другая ситуация напряженного состояния складывается в слоях выбросоопасного песчаника с высоким неотектоническим напряжением в плоскости напластований (горизонтальной или близкой к ней), обладающего периодом релаксации 538 суток [4]. При замедлении вращения Земли уже имеющиеся в песчаниках напряжения будут увеличиваться на величину 10-11%. В июле-августе-сентябре вследствие увеличения скорости вращения Земли и возникновения центробежных сил вертикальные напряжения в угольных пластах уменьшаются, а в горизонтальной плоскости они хотя и увеличиваются, но быстро релаксируются. Соответственно, в результате уменьшения напряженного состояния угольных пластов сокращается в них и общее количество выбросов, а также их интенсивность.

Таким образом, приведенные результаты дают возможность более достоверно прогнозировать склонность углепородного массива к горным ударам и выбросам.

#### **Список литературы**

1. Стовас М.В. Избранные труды. Часть I. М.: Недра, 1975, 156 с.
2. Сидоренков Н.С. Физика неустойчивости вращения Земли. М.: Наука, 2002, 384 с.
3. Волошин Н.Е., Бойко Я.Н., Куц О.А., Кузнецова Л.Д. О сезонной неустойчивости выбросов угля и пород в шахтах. К.: Уголь Украины, 2007, №8.
4. Зорин А.Н. Управление динамическими проявлениями горного давления. М.: Недра, 1978, 175 с.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

---

---

## НОВЫЙ ТИП СЕКЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Тарасов В.М.<sup>1</sup>, Тарасова Н.И.<sup>2</sup>, Фомин А.И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ООО «РивальСИТ», <sup>2</sup>ООО «ИКЦ «Промышленная безопасность»,  
<sup>3</sup>АО «НЦ ВостНИИ»

**Новый тип секции механизированной крепи (СМК):** подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в капсуле термодинамического баланса (КТДБ) актуален, предлагает качественный рывок обеспечения безопасности труда шахтеров при добыче угля подземным способом.

Шахта представляет собой уникальное подземное сооружение, насыщенное горнодобывающей техникой, транспортными механизмами, электроаппаратурой, многочисленными системами воздухоподачи, электроснабжения и трубопроводов. Производство работ связано с тяжелым физическим трудом и неблагоприятной рудничной атмосферой.

Взрывы метана, подземные пожары, обвалы и обрушения угля постоянно сопровождают шахтёра.

Заметим, что общий травматизм в угольной отрасли с 1998 по 2023 год снизился в 4,7 раза, а смертельный – более чем в три раза. Но риск смертельного травматизма по сравнению с ведущими горнодобывающими странами остается более высоким. В 2023 году на угольных предприятиях Кузбасса, по данным Сибирского управления Ростехнадзора, травмировано 84 чел., из них 8 чел. смертельно.

Одна из основных причин – человеческий фактор, то есть несоблюдение правил и инструкций по безопасности, несоблюдение технологий работы технического оборудования, машин, умышленное игнорирование требований безопасности, несоблюдение производственной и технологической дисциплины, низкий профессиональный уровень.

Самые крупные трагедии в Кузбассес с 90-х годов с массовой гибелью шахтёров произошли при взрывах метана и угольной пыли, огромных вывалах горной массы:

Период, год	Угледобывающие предприятия	Погибшие, человек
1997	Шахта «Зырянская»	67
2004	Шахта «Тайжина»	47
2004	Шахта «Листвяжная»	13
2005	Шахта «Есаульская»	25
2007	Шахта «Ульяновская»	110
2007	Шахта «Юбилейная»	39
2010	Шахта «Распадская»	91
2013	Шахта «Воркутинская», республика Коми	19
2016	Шахта «Северная», республика Коми	36
2021	Шахта «Листвяжная», в том числе: 37 работников шахты, 9 работников подрядных организаций, 5 горноспасателей	51

С внедрением новых технологий СМК можно избежать таких трагедий указанных в таблице, а также повторяющихся с постоянной периодичностью. Пример последних лет: в результате внезапного выброса угля и пылегазовой смеси большого объема: 8.02.2019г., ООО «Шахта им. С.Д. Тихова», погибли 3 чел.; 14.09.2020г. ООО «ММК-УГОЛЬ» Шахта «Чертинская-Коксовая», погибли 2 чел; высокая деформация почвы и кровли 15.08.2020г. АО «ОУК «Южжубассуголь» филиал «Шахта «Ерунаковская-VIII», погибли 4 чел.; 22.01.2021г., ООО «Шахта им. С. Д. Тихова», погибли 3 чел.; 14.02.2021г., ООО «Шахта «Юбилейная», погиб 1 чел.; 19.06.21, ООО «Угольная компания «Анжерская-Южная» погиб 1 чел.; 05.08.2023 ООО «Шахтоуправление Карагайлинское», работник подрядной организации ООО «Шахта Спиридоновская», вывал горной массы, 1 человек и др.

Данные аварии наглядно показывают пример воздействия КТДБ на СМК поддерживающе-оградительного типа, которая утратила свою поддерживающую способность и сам забой лавы, **произошла ненулевая работа с выделением колоссальной энергии и выброс газопылевой смеси, большого объема горной массы.**

**По факту СМК**, доставляя в монтажную камеру, просто раскрывают, не производя с ней никаких технологических действий, используя СМК как оградительный элемент, а поддерживающая способность исключается. Все опорное опережающее горное давление и влияние горного массива берет на себя забой, рис. 1. Отсюда многие отрицательные факторы в лаве, техногенные катастрофы.



**Рисунок 1 - В процессе отработки лавы поддерживающая способность СМК отсутствует**

**Новый тип секции механизированной крепи (СМК):** подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в капсуле термодинамического баланса (КТДБ) при добыче твердого полезного ископаемого подземным способом. Уникальная технология.

**Фундаментально качественно меняет работу СМК** в призабойном пространстве лавы, увеличивая промышленную безопасность, повышает производительность труда, экономит время и значительные финансовые средства.

**Обеспечивают взаимодействие СМК «крепь-горный массив».**

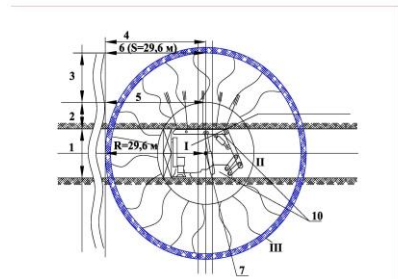
Исключают негативные процессы опорного давления в лаве такие как вывалы горной массы, выбросы пылегазовой смеси.

Новизна в сравнении с аналогичными отечественными и зарубежными разработками заключается в том, что геомеханическая система «крепь-горный массив» приводится в состояние равновесия, повышая безопасность ведения горных работ в очистном забое (Патент на изобретение РФ № 2546689). Предлагаемая новая технология монтажа и эксплуатации СМК (Патент на изобретение РФ № 2387841) неопровержимо доказывают:

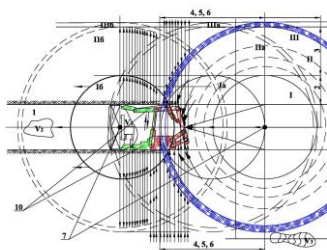
- взаимодействие СМК с опережающим опорным давлением в лаве [1];
- образование силовой составляющей в виде фермы в боковых породах лавы, где присутствуют ромбы, узлы связи, что позволяет легко обрушающиеся породы стабилизировать, а в зависающем блочном состоянии боковых пород лавы производить отрыв вне зоны работы лавы, в завальной ее части, за СМК (Патент на изобретение РФ №2432464) [2];
- гипотеза П.М. Цимбаревича для секции механизированной крепи с боковыми породами как давление сползающих призм перетекает в концепцию только для новой (предлагаемой) технологии [3];
- закон теоретической механики, глава «Кинематика твердого тела», раздел «Сферическое движение твердого тела», теорема Ривальса применительно к СМК, доказывает единственно верный способ монтажа и эксплуатации СМК [4];

– секция механизированной крепи нового типа: подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в капсуле термодинамического баланса разработан на основе II закона Ньютона «Второе условие равновесия твердого тела» [5].

Секция механизированной крепи нового типа в концепции взаимодействия с геомеханическими процессами в горном массиве, а именно в капсуле термодинамического баланса, рис. 2 – действующая работа СМК, рис. 3 – СМК нового типа: подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в КТДБ.



**Рисунок 2 – Действующая работа СМК. Общий вид СМК в монтажной камере и образование КТДБ вокруг монтажной камеры. I – первая зона КТДБ (монтажная камера и лава); II – вторая зона КТДБ; III – третья зона КТДБ (защитная оболочка подсистемы, кольцо шириной 100-150 мм); 1 – пласт твердого полезного ископаемого (угля); 2 – непосредственная кровля; 3 – основная кровля; 4 – зона первичного шага обрушения пород кровли; 5 – шаг обрушения непосредственной кровли; 6 – шаг обрушения основной кровли; 7 – центр КТДБ, откуда откладываются диаметры и радиусы всех зон, 10 – СМК**



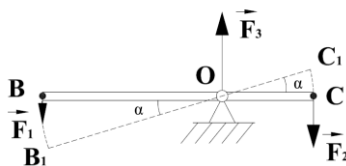
**Рисунок 3 – СМК нового типа: подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в КТДБ. Ia – смещение первой зоны КТДБ; Ib – вывод первой зоны и извлечение из под влияния КТДБ; IIa и IIб – не произошедшие смещение зон, вторая зона осталась в КТДБ; IIIa и IIIб – третья зона, не произошедшие смещение КТДБ;**

Как исключить взрывоопасные аварийные ситуации: внезапный выброс пылегазовой смеси от забоя и обрушение породы в кровле призабойного пространства?

Применяя новый тип СМК есть реальная возможность обеспечить функциональную работу СМК совместно с капсулой термодинамического баланса и значительно снизить газообильность в лаве, исключить внезапный выброс пылегазовой смеси, увеличить скорость передвижки секции механизированной крепи к забою, обеспечить высокую безопасность труда, повысить срок эксплуатации секции механизированной крепи, техническая возможность применения двухсторонней (челноковой) схемы резания, исключая холостой ход комбайна по зачистке призабойной дорожки, значительно увеличить производительность труда и добычу твердого полезного ископаемого [5].

**Предлагается колоссальную энергию, заключенную в капсуле термодинамического баланса взять в работу СМК.**

Силы, заключенные в оболочке капсулы термодинамического баланса, используя закон равновесия твердого тела (II закон Ньютона) позволяют вывести ядро, в которой работает лава, в целик горного массива, где вся силовая составляющая приведена к нулю и работы не происходит, соответственно и обрушения в боковых породах отсутствуют, рис. 4;



**Рисунок 4 – Стержень, шарнирно закрепленный на горизонтальной оси в точке O, который представляет собой рычаг**

В условии равновесия работа поддерживающего элемента будет точно такая же, как линейная секция лавного конвейера (рештак), соединенная с балкой передвижки (жестко на два пальца или шарнирно через домкрат) и основанием с шарнирами под гидростойки.

Позволяет перераспределить опорное горное давление с угольного пласта в завальную часть лавы, исключая неконтролируемые обрушения угля в угольном массиве и выбросы пылегазовой смеси в призабойной части лавы;

Значительно повышает безопасность труда в лавах;

Позволяет значительно снизить газообильность в процессе отработки лавы; Повышает срок эксплуатации СМК; Снижает металлоемкость СМК.

Таким образом, **закон равновесия твердого тела – это условие нулевой работы всех приложенных сил, которые выполняет СМК нового типа: подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в КТДБ.**

Нет аналогов такой технологии в России и за рубежом. Высокая конкурентоспособность СМК нового типа и возможный выход на мировой



рынок. Новые технологии отвечают требованиям программы Правительства РФ по импортному замещению и модернизации топливно-энергетического комплекса (ТЭК).

### **Список литературы**

1. Тарасов В.М. Повышение безопасности работ при взаимодействии секций механизированных крепей с кровлей в призабойном пространстве лавы/ В.М. Тарасов, Г.Д. Буялич, Н.И. Тарасова //Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности.- 2013.- № 1.2-2013 С.130-135.

2. Пат. 2432464 Российская Федерация, МПК Е 21 D 23/06 (2006.01). Секция механизированной крепи / Тарасов В.М., Тарасова Н.И., Тарасова А.В., Тарасов Д.В.; патентообладатель Тарасов В.М., ООО «РивильСИТ». – № 2010136796/03; заявл. 02.09.2010; опубл. 27.10.2011 Бюл. № 30. – 8 с.

3. Тарасов В.М. Взаимодействие Секции механизированной крепи с боковыми породами как давление сползающих призм по гипотезе П.М. Цимбаревича. Развитие гипотезы до концепции/ В.М. Тарасов, Г.Д. Буялич, Н.И. Тарасова //Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности.- 2014.- №2-2014 С.114-120.

4. Тарасов В.М. Инновационный подход к вопросам монтажа и эксплуатации секции механизированной крепи/ В.М. Тарасов, Г.Д. Буялич, Н.И. Тарасова // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. - 2013. - № 1.1. – 2013. - С.115-126.

5. Патент 2546689 РФ: МПК Е 21 D 23/04 (2006.01). Секция механизированной крепи нового типа: подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в капсуле термодинамического баланса [Текст] / Тарасов В.М., Тарасова Н.И., Тарасов Д.В., Тарасов А.В.; патентообладатели Тарасов В.М., ООО «Ривальс СОВРЕМЕННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» (ООО «РивильСИТ»). – № 2013141858/03; заявл. 12.09.2013; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10. – 19 с.

**УДК622.232.2(001)[571.56]**

## **ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОЙ ОТРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ ПЛАСТОВ ЭЛЬГИНСКОГО КАМЕННОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**Хосоев Д.В., Киселев В.В.**

*ИГДС им. Н.В. Черского СО РАН, г. Якутск*

В настоящее время в южной Якутии в Токинском угольном районе Южно-Якутского бассейна широким фронтом идет разработка Эльгинского каменноугольного месторождения (ЭКМ) открытым способом с применением буровзрывной технологии с годовой добычей свыше

20 млн. тонн. В 2020 году, ООО «СИБГЕОПРОЕКТ» был разработан технический проект второй очереди разработки месторождения ООО «Эльгауголь» с достижением проектной мощности 45 млн. т угля в год в период с 2024 по 2070 гг. [1].

Ранее проведенными исследованиями установлено, что технология добычных работ оказывает значительное влияние на качество добытого угля, глубину селекции сложных пластов в значительной степени определяет технико-экономические показатели добычных работ. Проведенный анализ технической литературы свидетельствует [2,3], что в настоящее время за рубежом, в странах СНГ и России при открытой разработке пластовых месторождений успешно внедряются поточные технологии на базе горных комбайнов: Виртген, VASM и KSM, которые имеют высокое усилие резания, что позволяет разрабатывать различные типы геоматериалов без предварительного разупрочнения. При благоприятных горно-технических условиях горные комбайны могут разрабатывать породы прочностью до 120 МПа. При их применении, возможно, вести селективную добычу угля в том числе тонких и весьма тонких пластов и слоев, а также породных пропластков толщиной от 0,1 м и выше. В связи выше изложенным, по нашему мнению, горные комбайны рационально применять на угольных разрезах криолитозоны, в частности, при отработке сложноструктурных пластов ЭКМ.

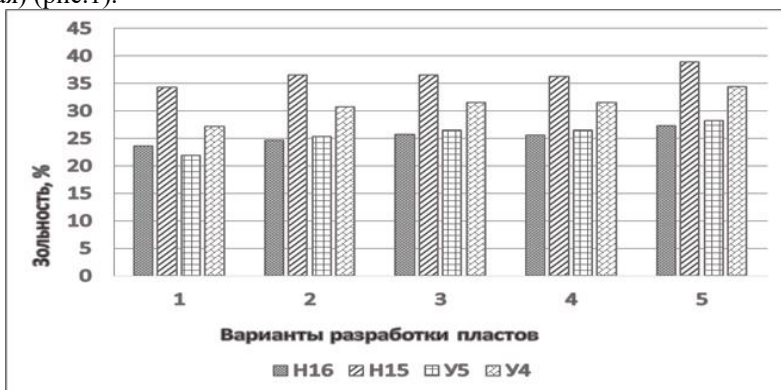
Анализ показал, что все основные пласты ЭКМ имеют сложноструктурное строение, как правило состоят из множества угольных пропластков и породных прослоев различной мощности, что предопределяет необходимость их селективной выемки.

В ИГДС СО РАН была проведена оценка эффективности и качественных показателей селективной разработки ЭКМ, при традиционной-валовой технологии и селективной - применением комбайнов КСМ-2000Р. С использованием ГГИС "Mine Frame" (ГоИ КНЦ РАН) выполнен расчет параметров зольности, разубоживания и потерь угля для пяти вариантов разработки основных сложноструктурных угольных пластов У5, У4, Н16, и Н15 при валовой и селективной отработке [4]. В варианте 1 рассматривалась селективная разработка, а в остальных (со второго по пятый) - валовая. Рассматривались эксплуатационные потери, образовавшиеся при ведении вскрышных и добычных работ в приконтактных зонах и горно-технологическое разубоживание. В вариантах с валовой выемкой учтено разубоживание за счет внутрипластовых породных прослоев, при этом в варианте 2 предусматривается отдельная отработка породного пропластка  $\geq 1$  м, а в варианте 4 отработка угольных пластов происходит по контакту кровли и почвы. В первом варианте предусматривается селективная отработка угля и породных прослоев более 20 см, при использовании комбайнов типа КСМ-2000Р, а породные

прослой меньше 20 см, вынимаемые совместно с углем принимались в расчет разубоживания.

Анализ полученных результатов показал, что при валовой разработке пластов показатели потерь изменяются от 0,15 (за счет разлета кусков угля при ведении БВР) до 4,9%, а при селективной от 3,3 (Н16) до 8,7% (Н15). Значения разубоживания угля по всем вариантам и пластам изменяется от 3,9 до 14% (селективная разработка), от 6,8 до 24,8% (валовая разработка). При этом наибольшие показатели потерь и разубоживания фиксируются при отработке пласта Н<sub>15</sub>, характеризующегося наиболее сложным строением.

Установлено, что зольность угля по пластам при всех пяти вариантах изменяется от 21,9 до 34,3% (селективная) и от 24,7 до 39% (валовая) (рис.1).



**Рисунок 1 - Изменение зольности угля при различных вариантах разработки Эльгинского каменноугольного месторождения**

Наименьшая зольность фиксируется по пласту У<sub>5</sub>, а наибольшая в пятом варианте при валовой выемке, в связи с разубоживанием за счет прирезки пустых пород в кровле и почве пласта и внутрипластовых породных прослоев по пласту Н<sub>15</sub>.

Проведенные исследования показали, что несмотря на меньшие потери при валовой отработке пластов начиная с 2-го по 5-й вариант (в среднем 1,7%), по сравнению с селективной разработкой значительно (в 1,5–5,1 раза) увеличивается разубоживание угля, что приводит к росту его зольности по пластам: У<sub>5</sub> на 3%, Н<sub>16</sub> на 2,6%, У<sub>4</sub> на 3,6% и Н<sub>15</sub> на 2,5%.

### **Выводы**

1) ЭКМ относится к разряду сложноструктурных, что предопределяет необходимость применения технологии, обеспечивающих селективную выемку угля и прослоев, снижения потерь и разубоживания.

2) Расчетным путем определены значения зольности, потерь и разубоживания для пяти вариантов разработки сложноструктурных угольных пластов ЭКМ с применением горных комбайнов послойного фрезерования, при различных физико-технических параметрах вынимаемого слоя.

3) Установлено, что разубоживание угля по всем пластам при всех пяти вариантах изменяется от 3,9 до 14% (селективная разработка), от 6,8 до 24,8% (валовая разработка); зольность угля по пластам изменяется от 21,9 до 34,3% (селективная разработка), от 24,7 до 39% (валовая выемка); тем самым подтверждается преимущество селективной разработки с применением комбайнов типа KSM, которая обеспечивает снижение зольности угля на 3,7% (пласт Н16), 4,7% (Н15), 6,4% (У5), 7,2% (У4).

### **Список литературы**

1. Технический проект разработки Эльгинского месторождения каменного угля ООО «Эльгауголь». Вторая очередь, производственная мощность 45000 тыс. т. Проектная документация. Кемерово-2020 г.

2. Опарин В.Н. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 336 с.

3. Лабутин В.Н. Опыт и перспективы применения на открытых горных работах безвзрывных технологий разработки массивов горных пород / В.Н. Лабутин, В.И. Ческидов, Г.Д. Зайцев // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук - 2014. - №1. - С. 182-190.

4. Ермаков С.А., Хосоев Д.В., Гаврилов В.Л., Хоютанов Е.А. Оценка разубоживания и потерь угля при валовой и селективной разработке сложноструктурных пластов Эльгинского месторождения. // Горная промышленность. 2012. №6. С. 50-52.

**УДК 622.83:528.02:550.3:550.8**

## **ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПОДРАБОТАННОГО УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА**

**Николаев И.Ю., Шалованов О.Л.**

*ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк*

Изучение, мониторинг и прогноз активизации негативных геодинамических процессов и явлений в горном массиве, как результат влияния угледобывающих предприятий, имеют особое значение при обеспечении техногенной безопасности окружающей среды в горнодобывающих регионах [1, 2]. Достоверность и полнота этих прогнозов могут быть существенно повышены путем использования современных геофизических технологий, которые обеспечивают детальное и непрерывное исследование углепородного массива.

Негативные геодинамические процессы в горнодобывающих регионах – это процессы, вызывающие движение массивов горных пород в результате их подработки и проявляющиеся в следующих негативных явлениях: деформация зданий и сооружений на земной поверхности; подтопление территорий и строений; проникновение поверхностных и подземных вод в горные выработки; поступление в нижние этажи зданий и в горные выработки взрывоопасного газа метана. Все эти процессы сопровождаются существенным изменением физических свойств пород.

Возможность применения геофизических методов для решения задач прогноза изменений свойств и состояния геологической среды, происходящих в результате геодинамических процессов под влиянием техногенных факторов, определяется их способностью оперативного измерения количественных характеристик горных пород. При строго стандартизированной методике полевых геофизических работ и применении современной аппаратуры может быть обеспечена высокая точность определения геофизических параметров.

Исследование геодинамических процессов в горном массиве, обусловленных влиянием горнодобывающих предприятий, относится к задаче детальных геофизических исследований, важным этапом в которых является построение детальных пространственных геолого-геофизических моделей массива горных пород по экспериментальным данным.

В ходе исследований необходимо всесторонне изучить горный массив:

- выявить глубинную структуру массива и тектоническую нарушенность;
- литологически расчленить верхнюю часть геологического разреза, а также закартировать поверхность коренных пород, определить мощность зоны выветривания;
- оконтурить неоднородности в породном массиве, участки напряженного состояния пород, зоны повышенной трещиноватости в коренных породах;
- выявить в перекрывающих отложениях неоднородности естественного и техногенного происхождения, зоны концентрации напряжений в перекрывающих отложениях;
- геоэлектрически расчленить массив горных пород, выделить зоны муьды сдвижения;
- проследить скрытые под наносами зоны разрывных нарушений, определить их простирание, выявить участки развития деформаций земной поверхности при формировании муьды сдвижения над горными выработками.

Решение таких задач возможно при проведении комплексных геофизических исследований, включая методы сейсмо- и электротметрии.

Использование комплекса методов позволяет исключить неоднозначность интерпретации результатов исследований каждого метода, детализировать геодинамическое состояние исследуемого массива и оценить его напряженно-деформированное состояние.

По результатам исследований, проведенных на территории Центрального Донбасса, осуществляется сейсмогеологическое и геоэлектрическое моделирование и разрабатываются обобщающие модели для Донбасса с использованием граничных значений упругих ( $V_p$  – скорость продольных волн) и электрических ( $\rho$  – электрическое сопротивление) свойств терригенных пород угленосной формации.

За основу разработанных моделей принимается известная зональность мульды сдвижения горных пород, сформированная в подработанном углепородном массиве в результате макродеформационных процессов. Принимаются во внимание наличие двух основных зон в массиве коренных горных пород: зоны прогиба без разрыва сплошности слоев пород и зоны прогиба с развитием техногенной трещиноватости (зона влияния отработанного угольного пласта). Обязательным условием является завершенность формирования мульды сдвижения горных пород и, соответственно, стабилизация активизации геодинамических процессов и развития техногенной трещиноватости пород.

Анализ влияния геологических факторов на физические свойства массива горных пород и их изменения показал, что основными из них являются трещиноватость и обводненность пород горного массива. В подработанном массиве в зоне прогиба без разрыва сплошности слоев пород значения  $V_p$  уменьшаются примерно на 15% по сравнению с фоновыми, а в зоне влияния отработки угольного пласта, где развита техногенная трещиноватость, значения  $V_p$  уменьшаются относительно фоновых в среднем на 25%. Что касается обводненности, то в деформированном массиве мульды сдвижения процент повышения  $V_p$  составляет порядка 10%.

При анализе влияния данных факторов на изменения значений  $\rho$  «сухого» массива горных пород определено, что высокие значения  $\rho$  приурочены к области влияния отработки угольного пласта и соответствующей техногенной трещиноватости пород. Эта зона характеризуется увеличением значений  $\rho$  условно в 3,5 раза по сравнению с фоновыми, зона плавного прогиба – 2,5 раза. В условиях водонасыщенного массива наиболее низкие значения  $\rho$  относятся к зоне техногенной трещиноватости (в 2,5 раза ниже фоновых), а в зоне плавного прогиба в 1,5 раза меньше фоновых.

Созданные геолого-геофизические модели по результатам проведенных геофизических исследований в Центральном Донбассе позволяют установить следующее:

- зоны выходов дизъюнктивных нарушений под наносы и их влияния четко отражаются в аномалиях сейсмических и электромагнитных полей (изменяются значения скорости продольных волн и удельного электрического сопротивления);

- зоны отработки угольных пластов и соответствующие границы мульды сдвижения массива горных пород отражаются повышением плотности потока естественного импульсного электромагнитного поля Земли, изменением динамических параметров упругих колебаний;

- подтопление углепородного массива с уменьшением глубин залегания уровня грунтовых вод отражается изменениями акустических параметров (в зависимости от состава пород) и снижением значений удельного электрического сопротивления;

- провалообразование сопровождается пониженными значениями удельного электрического сопротивления и скоростей продольных и поперечных волн, смещениями и разрывами осей синфазности сейсмических колебаний.

### Список литературы

1. Рахманова Т.И., Голубев Ф.М., Иванова Л.А. Опыт обеспечения безопасной эксплуатации объектов поверхности ликвидируемых шахт // Проблемы горного дела: Сборник научных трудов III Международного форума студентов, аспирантов и молодых ученых-горняков, Донецк, 06–07 апреля 2023 года. Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2023. С. 186-190.

2. Скаженик В.Б., Чернышенко И.В., Грищенков Н.Н., Голубев Ф.М. Прогноз сдвижений и деформаций земной поверхности на основе компьютерного моделирования // Журнал теоретической и прикладной механики. 2023. № 2(83). С. 74-85.

## ИССЛЕДОВАНИЕ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Икреников М.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ИПКОН РАН, <sup>2</sup>МИЭМ НИУ ВШЭ, г. Москва

На расстоянии, превышающим несколько длин волн, аппроксимация источника сейсмических колебаний – точечным источником верна, поскольку фронт волны выравнен. Но в непосредственной близости источник колебаний имеет физический размер и данная аппроксимация неприменима.

Длины сейсмических волн могут достигать нескольких километров, и ближняя зона может составлять от единиц до десятков метров.

Границы ближней и дальней зоны расплывчаты, но применение упрощений относительно соотношений длины волн ( $\lambda$ ) к расстоянию от излучателей до точки наблюдения ( $r$ ) упрощает описание их распространения.

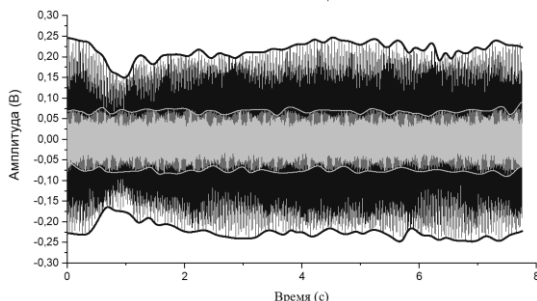
Ближнюю зону выделяют в особую область, так как её поведение не типично по сравнению с полем в дальней зоне, в которой обычно работают системы [1]. Для этого есть несколько причин: более высокие потери, связанные с распространением и нестабильность поля по угловым компонентам в ближней зоне вследствие суперпозиции волн.

С целью оценки проверки наличия случайной компоненты в ближней зоне был проведён эксперимент. Относительно датчика источник создавал воздействия одной силы, но на разном расстоянии. Целью эксперимента была проверка стабильности фиксируемых значений.

Колебания создавались при помощи виброплиты ZITKER 3ZK90W. Устройство совершает 60 ударов в секунду с силой 13 кН. В качестве датчика использовался трёхкоординатный электромеханический геофон с каскадом усиления и оцифровки для последующей обработки данных. На рисунках 1-3 показаны результаты измерений вертикальной координаты для случая, когда источник находился на удалении 3, 4 и 5 метров (ближняя зона) в сравнении с вертикальной составляющей виброскорости на расстоянии 7 м (дальняя зона).

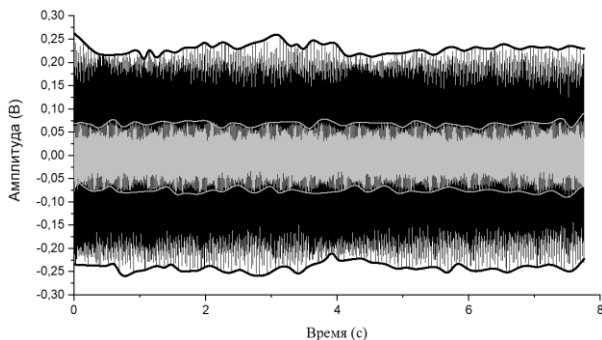
Измерения проводились на одной прямой относительно датчика. Положение датчика влияло на результаты горизонтальных координат, поэтому исследовалась вертикальная составляющая. На 3 метрах (рис. 1) вертикальная составляющая сильно нестабильна, в то время как на 5 метрах (рис. 3) показания датчика стабилизируются. Это говорит о том, что на расстоянии 3-4 метра источник нельзя представлять точечным.

Неоднородность поля на 3 и 4 метрах от датчика, определяется свойствами твёрдой среды, потери по мимо всего прочего связаны с запасанием энергии в потенциальном виде и её высвобождением. Потенциальная энергия может быть высвобождена не только в виде энергии в которой запасалась [2]. При этом даже небольшое изменение расстояний, на удалении 5 метров (рис. 3) приводят к почти полному исчезновению непостоянной составляющей ближнего поля.

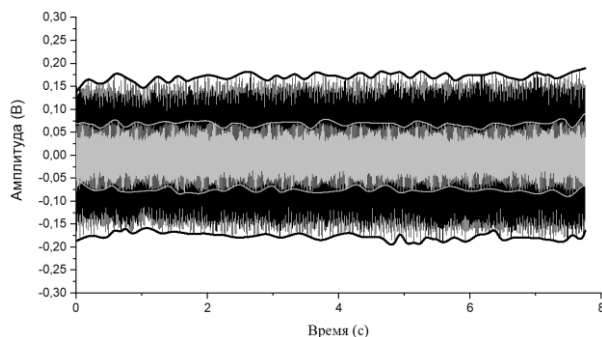


**Рисунок 1 – Сравнение значений вертикальной составляющей виброскорости на расстоянии 7 м ( $Amp = \pm 0,05$ ) и 3 м ( $Amp = \pm 0,25$ )**





**Рисунок 2 - Сравнение значений вертикальной составляющей виброскорости на расстоянии 7 м ( $A_{mp} = \pm 0,05$ ) и 4 м ( $A_{mp} = \pm 0,27$ )**



**Рисунок 3 - Сравнение значений вертикальной составляющей виброскорости на расстоянии 7 м ( $A_{mp} = \pm 0,05$ ) и 5 м ( $A_{mp} = \pm 0,18$ )**

Для оценки потерь в среде используют параметр добротности. Добротность среды в общем случае непостоянная величина и зависит как от расстояния между источником и точкой наблюдения, так и от частоты колебания. Зависимость добротности от этих параметров довольно хорошо изучена: чем ближе к источнику находится датчик, тем сильнее изменяется добротность.

Микросейсмические колебания имеют малую мощность, поэтому доля энергии, принятая датчиком в дальней зоне, находится на уровне шумов измерительного устройства, а ближняя зона является единственной зоной для обнаружения микросейсмических колебаний. При этом определение по одному датчику расстояние и положение источника затруднительно, и классифицировать источник сложно.

Эксперимент показал, что накопление потенциальной энергии даёт большую нестабильность и влияет на измерения в точках суперпозиции волнового фронта в ближнем поле, на расстоянии 3–4 метров в непосредственной близости от источника, но на большем расстоянии порядка 5 метров влияние этого эффекта уменьшается, а затем на расстоянии 7 метров практически полностью прекращается.

#### Список литературы

1. Мухаметшин А.М., Камалдинова И.Р., Ведерников А.С., Панфилов С.С., Анисимов В.М., Яковлев М.В., Крупнов В.М., Сафьянов В.И. Геоинформационная система для регистрации и оценки сейсмического влияния промышленных взрывов на объекты окружающей горнодобывающее предприятие инфраструктуры // ГИАБ. 2005. №8. С. 86-91.

2. Проявления активной земной коры. Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2018 № 5(25). С. 115-129.

### **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ ПОЛНОГО РЕСУРСОВОСПРОИЗВОДЯЩЕГО И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ОСВОЕНИЯ НЕДР ПОДЗЕМНЫМ ВОСХОДЯЩИМ РАЗВИТИЕМ ГОРНЫХ РАБОТ**

**Битимбаев М.Ж.<sup>1</sup>, Кунаев М.С.<sup>2</sup>, Юсупов Х.А.<sup>3</sup>, Джумабаев Е.И.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Горный журнал Казахстана, <sup>2</sup> ТОО «МК Metals Holding»,

<sup>3</sup> Сатбаев университет,

<sup>4</sup> ТОО «Научно-производственное предприятие «Интеррин»

Необходимость вскрытия месторождения до полной глубины промышленного оруденения практически всегда не реализуется, так как желание «не замораживать» капитальные затраты и получать как можно быстрее прибыль, отработав месторождение «сверху вниз», превалирует над более оптимальным способом «снизу вверх» при оценке полного времени эксплуатации месторождения [1].

Предлагаемая технологическая схема «снизу вверх» позволяет избежать целого ряд недостатков, присущих нисходящему развитию горных работ, так как:

- резко уменьшается объем горных работ по выемке пустой породы;
- снижаются и доводятся до минимума потери и разубоживание, поскольку при развитии добычи «снизу вверх» нет нужды обнажать над головой вы-работанное пространство, которое при предлагаемой технологии остается внизу под ногами, заполненное пустой породой и твердеющими смесями;

- увеличивается производительность труда за счет непрерывности использования самоходной и иной техники, снижается себестоимость добычи;

- появляется возможность увеличения производственных мощностей из-за увеличения пропускной способности транспортных магистралей по причине уменьшения объемов транспортируемой пустой породы и исключения их занятости строительными работами;

- появляется реальная возможность в рамках комбинированного способа разработки, особенно при вскрытии штольной и отработке нагорным карьером, добывать параллельно открытым и подземным способом, в т.ч. со сплошной закладкой и минимальным расходом цемента.

Имеется еще одно исключительно важное экономическое и технологическое преимущество способа «снизу вверх». Речь идет о вскрытии месторождений транспортными уклонами сверху вниз, которое получило массовое применение с появлением самоходной дизельной техники. Но традиционно в настоящее время уклоны прокладываются в породах лежачего бока, потому что очистная выемка идет «сверху вниз» и необходимо сохранить уклон на весь срок существования карьера. При очистной выемке «снизу вверх» состояние уклонов не зависит от напряжений в массиве, создаваемых добычей руды, а сам уклон не является помехой для организации работ по добыче ниже уклона с его постепенным проектным погашением, поэтому вскрытие по рудному телу дает возможность добывать дополнительное количество руды вместо породы, производить опережающую эксплуатационную разведку, сократить объемы горно-капитальных работ за счет уменьшения глубины вскрывающих стволов и протяженности вскрывающих квершлагаов.

Дополнительными преимуществами применения способа развития горных работ «снизу вверх» являются следующие, до сих пор не учитываемые факторы:

- капитальные затраты будут равными проектным сметам, тогда как при способе «сверху вниз» сплошь и рядом приходится находить возможность изыскания источников дополнительных затрат, так как на работающем по добыче предприятии нужно, зачастую, останавливать основное производство, чтобы организовать капитальное строительство на уже эксплуатируемых основных средствах;

- цены на капитальное строительство имеют обоснованную тенденцию к увеличению с течением времени из-за инфляции и непредвиденных затрат.

При развитии горных работ «снизу вверх» необходимо технологически продуманно с минимизацией себестоимости решить вопросы:

- заполнения очистного пространства под ногами закладочным материалом гарантированной транспортабельности при минимальных расходах воды и цемента, и с минимальной себестоимостью;

- транспорта руды к уклону(ам) и вентиляции рабочего пространства при развитии горных работ от центра к флангам, если транспортный уклон пройден в центре месторождения (рудного тела) или от фланга к центру, если транспортные уклоны пройдены на флангах;

- технологической схемы развития горных работ в рудном теле в зависимости от мощности угла падения рудного тела.

Варианты горных работ возникнут также и в зависимости от залегания на отрабатываемом рудном поле одного рудного тела или ряда рудных тел и их взаиморасположения.

Применение подземно-подземного способа позволит производить очистную выемку в управляемом режиме, сбалансировав мощность по добыче руды с усредненным содержанием, обеспечивая при восходящем способе развития горных работ практически полное исключение потерь.

Реализация на практике предлагаемой физико-технической геотехнологии на основе системы разработки горизонтальными (наклонными параллельно транспортному уклону, т.е. под углом 9-10 градусов) слоями с твердеющей закладкой и восходящим развитием очистной выемки, т.е. «снизу-вверх», имеет два недостатка природно-техно-генного характера, которые должны быть устранены на стадии проектирования.

Первая проблема заключается в негативном влиянии сплошной твердеющей закладки на себестоимость добычи основного металла(лов) и на производительность труда.

Первоначально, в период разработки технологической схемы, часть проблемы была снята с повестки дня отсутствием 60-70% затрат на породные работы проходкой транспортных уклонов по руде, уменьшением объемов по проходке квершлагов как следствие замены 3-5 традиционных горизонтов (150-250 м по высоте) на один каскад. Далее позитивное влияние оказывает на себестоимость и на производительность труда по металлу(ам) устранение потерь.

Одновременно приняты действительные меры по снижению затрат на приготовление и транспорт закладочной смеси. Сущность новой технологии закладки состояла в использовании свойств явления тиксотропии, при сущих водонасыщенными смесями с высоким содержанием тонкодисперсных частиц, которые под воздействием механических сил переходят в состояние легкоподвижного золя из прежнего состояния густого геля (встряхивание, взбалтывание, вибрация) [2].

Закладочные комплексы №1 и №2 на Миргалимсайском месторождении мощностю 450 тыс.м<sup>3</sup> в год с 1977 г. по 1987 г., работая на тиксотропной (пастовой) закладке, позволили ежегодно добывать 1200-1300 тыс. тонн руды с нулевыми потерями.

Необходимо превентивно решить в проекте и в производственных условиях две основные задачи по обеспечению жизнеспособности предприятия:

- создать фронт очистной выемки на время твердения твердеющей закладки;

- обеспечить одновременно оптимальную длину движения самоходного оборудования по бурению, погрузке и доставке руды с достаточной удаленностью друг от друга очистных забоев для устранения простоев и вредного влияния буровзрывных работ в соседних камерах.

Улучшения затратной части очистной выемки можно добиться такими действиями, как крепление кровли слоевых камер при такой необходимости удлиненными относительно проекта трубчатыми металлическими или фибергмассовыми анкерами, часть длины которых остается в отработанной камере и способствует увеличению прочности до нормативной в более короткие сроки (на 2-3 суток). Эти же удлинения можно более эффективно заменить арматурным каркасом, выставленным внутри закладочного массива.

Также необходимо снижать удельный расход ВВ, учитывая созданные с этой целью условия БВР.

Транспортные уклоны, являющиеся элементами системы, служат не только для доставки добытой руды вверх или горизонтально до разгрузочного пункта, материалов и оборудования до места потребности, для прокладки энергоснабжающих кабелей, установки трансформаторов и фидеров, закрепления по бортам трубопроводов. Их служба в составе системы заканчивается выполнением наиболее важного функционального предназначения – создания очистных камер. Слоевые камеры, которые во множестве полного освоения первичных госресурсов становятся очистным пространством, нарезаются буровзрывным способом из уклонов с подрывом кровли и почвы уклонов, начиная с нижней границы рудного тела по восстанию, которая в своего очередь обнажена проеденным горизонтальным рудным штреком.

Такая технологическая схема очистных работ с применением слоевой выемки с закладкой в описанном виде является первой стадией, в которой после достижения следующего блока или фланга рудного тела обратным ходом производится закладка образованных камер с отходом на 2-3 столбчатых целика. После набора закладкой нормативной прочности производится отбойка столбчатых целиков и закладка образованного пространства.

Вполне конкурентоспособен второй вариант, в котором достижение той же цели, что и в первом варианте, осуществляется слоевыми камерами, параллельными транспортным уклонам, в отступлагощем порядке от флинги месторождения или от границы блока с обрушения взрывом кровли нижнего горизонтального штрека, с последующей закладкой отбитого очистного пространства впритык с образованной под углом 9-10 градусов кровлей (будущей почвой верхней камеры).

### Список литературы

1. Битимбаев М.Ж., Кунаев М.С., Юсупов Х.А. Освоение недр в новых горнодобывающих границах в режиме ресурсосбережения, ресурсовоспроизводства и циркулярной экономики. Горнорудный конгресс Казахстана. 2023. Астана.

2. Битимбаев М.Ж., Кунаев М.С., Абен Е.Х., Ахметканов Д.К. Комплексное освоение недр и сохранение качественной природной среды – основа стратегии устойчивого социального развития. Монография. Алматы, Сатпаев университет. 2023. 335 с.

## АПРОБАЦИЯ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ РЕЖИМОВ ГИДРОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

Вильмис А.Л., Алифашкин А.А., Некоз К.С.

*МГРИ-РГГРУ*

**Введение.** Анализом гидромеханизированной разработки месторождений полезных ископаемых установлено, что на предприятиях отрасли либо отсутствует систематический контроль основных параметров гидротранспортирования – расхода и плотности гидросмеси, определяющих часовую производительность по горной массе при грунтовой подаче, поступающей из карьера на обогащение, либо осуществляется эпизодически. Это не позволяет регулировать текущие режимы технологического процесса работы гидрокомплекса «карьер – фабрика» [1, 2].

**Цель.** Повысить часовую производительность работы гидрокомплекса, стабильность подачи гидросмеси на обогащение, а также извлечение полезного компонента.

**Материалы и методы.** Для реализации поставленной цели в результате аналитического подхода при анализе выпускаемой контрольно-измерительной аппаратуры был выбран и обоснован метод измерения переменного перепада давления [3, 4, 5]: гидростатический плотномер К.В. Диминского, расходомер труба Вентури, включающий сужающее калибровочное устройство, типоразмером 410/306 мм, расходомер с расширяющим устройством типа «труба Антивентури» - 510/348 мм,

камерная диафрагма ДК-25-40. Поверочным измерительным устройством – электромагнитным расходомером типа «Индукция-51» с классом точности 1,5% и пределом измерений расхода 2500 м<sup>3</sup>/ч.

Основным базовым испытательным полигоном для промышленного тестирования нестандартного оборудования переменного перепада давления с соответствующей контрольно-измерительной аппаратурой являлся экскаваторно-гидравлический карьер, разрабатывающий каолизованные ильменитсодержащие пески [1].

**Результаты.** Установлено, что пропускная способность транспортирования гидросмеси испытуемыми расходомерами переменного перепада давления незначительно отличается коэффициентом расхода, характеризующего в них потери давления (~0,97-0,98). Однако, скорость в расходомере «Антивентури» минимизирует износ внутренних стенок калибровочной части отбора давления. Точность измерения расхода зависит от постоянства проходного сечения трубы Вентури, которое подвергается износу в процессе ее эксплуатации (наработка ~650 часов), а технологический ресурс в испытаниях составлял 110500 м<sup>3</sup>.

Кроме того, дано обоснование применения расходомера «труба Антивентури», определены местные гидравлические сопротивления в диффузорной (расширяющей) части, которые в основном зависят от геометрических характеристик: угла расширения  $\alpha$ , степени расширения  $n$ , длины диффузора  $l_d$ . В результате установлены оптимальные значения геометрических параметров  $\alpha=5\div 7^\circ$  при  $l_d=0,8\div 1,5$ .

**Заключение.** Результаты промышленной апробации при расходе  $Q=2500$  м<sup>3</sup>/ч в течение нескольких месяцев экскаваторно-гидравлических работ позволяют рекомендовать расходомер «труба Антивентури» для комплектации системы оперативного контроля режимов гидротранспортирования, исключить малопроизводительную работу оборудования и повысить полноту извлечения полезного компонента.

Создание системы оперативного управления гидродобычей комплекса «карьер-обогащительная фабрика» позволяет реализовать эргономические факторы, присущие взаимодействию оператора с элементами оптимизации технологических операций, которые заключаются в разработке и внедрении новой конструкции кабины гидромониторщика с пультом управления, включающего панели для размещения пусковых устройств технологического оборудования, контрольно-измерительных приборов, регистрирующих мгновенные и суммарные значения параметров гидротранспортирования, а также отсеки бытового назначения.

## Список литературы

1. Некоз К.С. Анализ контрольно-измерительной базы для регулирования режимов работы гидрокомплексов. В книге: Новые идеи в науках о Земле. Материалы XIV Международной научно-практической конференции: в 7 томах. 2019. С. 134-137.
2. Спиваковский А.О., Смолдырев А.Е., Зубакин Ю.С. Автоматизация трубопроводного транспорта // - М.: Недра, 1972. - 342 с.
3. Дробаденко В.П., Бутов И.И., Буянов М.И., Луконина О.А. Обоснование выбора системы оперативного контроля технологических параметров при гидромеханизированной разработке месторождений // Маркшейдерия и недропользование, 2014, № 5, с. 17-21.
4. Кононенко Е.А., Садыков А.А. Гидромеханизированная технология на карьере калининградского янтарного комбината. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S11. С. 105-113.
5. Тарасьянц С.А., Ширяев В.Н., Уржумова Ю.С., Михеев А.В. Методика расчета струйных аппаратов, используемых в гидромеханизации // Экология и водное хозяйство. 2021. Т. 3. № 2. С. 113-123.

### УДК 550.8.01

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУЧНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗОН ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ РАЗЛОМОВ

**Бородин Д.С., Туманов В.В., Новгородцева Л.А.,  
Николаев И.Ю., Шалованов О.Л., Ялпуга Е.А.**

*ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк*

Проблема выявления зон трещиноватости в массиве горных пород является важной и актуальна, главным образом, в трёх научных и прикладных аспектах:

- глобальном (изучение природы и динамики изостазии крупных тектонических блоков);
- в процессе создания новых технологий обнаружения неоднородностей массива в высоком разрешении;
- при обеспечении безопасности отработки угольных пластов в связи с возможными скоплениями метана внутри трещиноватых коллекторов и возникновении внезапных выбросов газа.

Рассмотрим состояние вопроса и последние достижения в данной области в применении, в том числе, к горно-геологическим условиям Донбасса.



## Фундаментальные свойства геологической среды и геофизических полей

Известно, что по современным геологическим представлениям верхняя часть земной коры состоит из блоков разного размера, находящихся в состоянии подвижного равновесия, обусловленного законами изостазии и взаимодействия с силами космической природы [1-3]. Границы таких блоков представляют собой геодинамические зоны (ГДЗ), которые могут не совпадать с ГДЗ региональных и менее протяженных нарушений. Все зоны ГДЗ сопровождаются трещиноватостью и являются потенциальными каналами для поступления углеводородных газов из глубоких горизонтов к поверхности Земли.

Гравитационные, магнитные, упругие, радиационные свойства горных пород в массиве отражают временные изменения энергетического состояния системы «литосфера-океан-атмосфера» как в пределах блоков, так и в зонах ГДЗ, но в этих зонах из-за высоких значений напряженно-деформированного состояния пород физические характеристики изменяются.

Особое значение представляют результаты теоретических исследований [4], показывающие, что горный массив Донбасса находится в упруго-сжатом состоянии с мозаичным распределением зон повышенной трещиноватости по площади и глубине.

Данное положение является основанием для применения в качестве основных поисковых методов детальных площадных сейсмических исследований (МОГТ-3D) и аэрогеофизических в модификации аэроэлектромагнитной съёмки (АСЭМЭЗ). Кроме этого, очевидно, что существование неотектонических движений предрасполагает к проведению мониторинговых наблюдений в системе GPS [5]. Общим итогом исследований может являться карта упруго-напряжённого состояния Донбасса с выделением аномально опасных участков, уточненная с помощью анализа изотопного состава выделяющихся в горные выработки газов.

## Методы геофизического изучения зон геодинамического влияния разломов

Ниже приведем основные направления развития сейсмических методов, как наиболее успешных при решении поставленной задачи.

### Активная сейсморазведка

В мировой практике и в России в настоящее время идёт активный поиск новых месторождений нефти и газа. При этом исследуемая глубина разреза при поисках трещиноватых коллекторов достигает 5-6 км. Основными тенденциями развития разрешающей способности геофизических методов в данном направлении являются создание улучшенных

методик полевых работ, а также обработки и интерпретации данных высокоразрешающей сейсморазведки (ВСР) [6, 7, 8].

*Полевые работы:*

- переход в методах МОГТ от виброисточников упругих колебаний к группированию малых зарядов на глубине 50-70 м для исключения влияния зоны малых скоростей и увеличения ширины спектра в области высоких частот;

- применение многоазимутального вертикального сейсмического профилирования (ВСП) в окрестностях известных скважин.

*Обработка сейсмических наблюдений:*

- использование эффектов дифракции и рассеяние волн на локальных объектах;

- использование геометрических атрибутов полезных волн: азимут падения, оценка края, когерентность, нарушения непрерывности, поверхностная и объемная кривизна;

- расширение комплекса стандартных кинематических и динамических характеристик: изучение максимальной средней мгновенной и среднеквадратической амплитуд полезного сигнала, мгновенной фазы и частоты, геометрической характеристики суммарного вектора падающей волны, изменений кинематических и динамических характеристик полезных волн, их амплитудно-частотный спектр.

*Геологическая интерпретация результатов обработки:*

- появление в ряде стран сверхмощных суперкомпьютеров позволяет применить программный комплекс «Мультифокусинг», значительно повышающий отношение сигнал/помеха;

- для месторождений сложного строения используется новейший программный комплекс SKUA (компаний «Paradigm» и «Shlumberger»).

Вполне очевидно, что развитию ВСР способствует также *создание многозадачной глубокой нейронной сети*, включающей переподготовку данных с помощью универсального инструмента анализа и долговременное хранение подготовленных параметров сигнала, которые могут быть извлечены в любой момент в соответствии с решаемой геологической задачей [9-11].

Применительно к Донбассу интерес представляет также обнаружение нарушений по зонам геодинамического влияния, связанного с применением трехмерных систем наблюдения и трехкомпонентной регистрацией всех изучаемых волн, включая поверхностные [11].

Пассивная сейсморазведка

Продолжается освоение относительно нового направления – пассивной сейсморазведки с использованием мониторинговых микросейсмических наблюдений для поиска новых месторождений нефти и газа в

коллекторах трещинно-порового генезиса, а также неоднородностей различной геологической природы, в том числе участков трещиноватости в ГДЗ [12-14]. Физической основой используемых модификаций измерений является положение о том, что существующие на поверхности Земли упругие волны (волны Рэлея, Лява, волны антропогенного генезиса и т.д.) при регистрации их компонент и обработке несут информацию о геологических неоднородностях разреза. При анализе амплитудно-частотных спектров зон трещиноватости меньших плотностей массива происходит увеличение амплитуд спектров.

В рамках этого направления в ФГБНУ «РАНИМИ» с 2023 г. проводится НИР по ГЗ №: FRSR 2023-0007, одной из задач которой является обоснование применения и адаптация современных методик обработки пассивного сейсмического поля для оценки трещиноватости углепородного массива и выделения зон аномального скопления метана (АСМ). Важным результатом этих исследований стала разработка программного комплекса для обработки данных сейсмического мониторинга на шахтном поле, включающего операции фильтрации с широким набором фильтров, сравнение амплитудно-частотных спектров разных приёмников, нормировки и построение отношений спектров по методу Накамуры [15]. Кроме того, в результате анализа исследований дизъюнктивной нарушенности современными сейсмическими методиками в институте практически завершены исследования и разработаны рекомендации по совместной обработке упругих колебаний, возникших от действия техногенного заглубленного источника и поверхностных волн Рэлея, для оценки степени трещиноватости углепородного массива.

Таким образом, современные тенденции развития научных и экспериментальных направлений геофизических исследований зон геодинамического влияния разломов дают широчайшие возможности при выполнении как НИР, так и практических работ по прогнозу строения и состояния углепородных массивов. При этом с использованием комплекса сейсморазведочных работ, состоящего из методов МОГТ, МПВ и новых инструментов для полевых исследований и обработки данных, можно существенно повысить надежность прогноза горно-геологических условий угольных месторождений, а, следовательно, и безопасность горных работ.

### **Список литературы**

1. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. – М; Наука. – 1991 г. – 96 с.
2. Садовский М.А., Волховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М: Наука, 1987 г. – 100 с.

3. Анциферов А.В., Довбнич М.М., Тяпкин К.Ф., Тиркель М.Г. О новых подходах к прогнозированию динамических явлений в горных выработках. Горный журнал, 2011 г, №7. – с. 46-50.

4. Коболев В.П. Пояса безопасности угольных шахт Донбасса. Геотехнологии, 2019, Т.2, с. 1-11

5. Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В., Логвинов И.М., Тарасов В.Н. Донбасс (геофизика, глубинные процессы) [Текст]: монография. Киев: Логос, 2015. – 123 с.

6. Ажгалиев Д.К., Джагпаров Ж. Прогнозирование перспективных объектов в палеозойском комплексе Западного Казахстана по геофизическим данным. Изв. НАН РК Серия геологии и технических наук 2018, №3. – с. 240-249.

7. Антоновская Г.Н., Данилов К.Б., Басакина И.М., Афонин Н.Ю., Капустян Н.К. Опыт применения и возможности комплекса пассивных сейсмических методов для изучения глубинного строения земной коры. Геофизические исследования. Т.24 №3. 2023. с. 5-29.

8. Биряльцев Е.В., Камилов М.Р. Выбор метода микросейсмических исследований в зависимости от решаемой задачи. Георесурсы. Т.20. №3 Ч.2, 2018. – с. 217-221.

9. Кислов К.В., Гравиров В.В., Винберг Ф.Э. Возможности предподготовки сейсмических данных для анализа глубокой нейронной сетью. Физика земли, 2020, №1, с. 150-162.

10. Логинов Г.Н., Дучков А.А., Литвиченко Д.А., Алямкин С.А. Пример применения сверточных нейронных сетей в обработке реальных данных 3D сейсморазведки. Интерэкспо Гео-Сибирь 2 (3), 2019. – с. 147-153.

11. Хохлов М.Т., Харитонов О.М., Трифонов П.Г., Козельский И.Т., Байсарович М.М. Многоволновые сейсмические исследования угольных месторождений Донбасса. Монография. // Киев, Наукова Думка, 1990, 132 с.

12. Цуканов А.А., Горбатилов А.В. Влияние заглубленных неоднородностей на спектральное отношение горизонтальных компонент случайного поля волн Рэлея. // Акустический журнал, 2018, том 64, №1, с. 63-70.

13. Адушкин В.В. Обнаружение сверхслабых сигналов на малоапертурной сейсмической антенне «Михнево» с помощью кросскорреляции волновых форм. Геофизика: ДАН. – 2015. – Т.460. - №6. – с. 707-709.

14. Сергеев С.И., Королев С.А., Волосов С.Г., Кузнецов О.П. Развитие малоапертурной сейсмической антенны «Михнево» для решения новых сейсмологических задач. Научное приборостроение: работы конференции. 2017. Т.460. - №6. – с. 707-709.

15. Анциферов А.В., Глухов А.А., Туманов В.В., Новгородцева Л.А. О программном комплексе обработки результатов микросейсмического мониторинга угленосных массивов // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. Том 10, №1, 2023.

# ДЕЗИНТЕГРАЦИИ МАССИВА КАРБОНАТНЫХ ПОРОД НЕВЗРЫВЧАТЫМ РАЗРУШАЮЩИМ СОСТАВОМ ШПУРАМИ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Емельянов Р.В., Гуриева Е.В., Агузарова К.К.

*ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)»*

**Аннотация.** Разрушение массивов горных пород является важной задачей в горнодобывающей промышленности, строительстве и других отраслях. Традиционные методы разрушения, такие как взрывы, имеют ряд недостатков, таких как шум, пыль, вибрации и образование трещин в карбонатных породах.

**Ключевые слова:** массивы, горные породы, дезинтеграция, карбонатные породы, шпур, невзрывчатый разрушающий состав.

Расширение ассортимента выпускаемой продукции карьеров нерудной промышленности возможно если использовать комбинированный метод дезинтеграции массива горных пород, который сочетает в себе безвзрывные и традиционные технологии разрушения массива. Однако широкое применение этого метода ограничено отсутствием надежных методов определения параметров и достаточной информации о том, как открытая геотехнология влияет на качество и структуру пород. В связи с этим исследования, направленные на обоснование параметров открытой разработки доломитовых месторождений с использованием комбинированного метода дезинтеграции массива горных пород на основе комплексной оценки качества месторождений, представляют собой актуальную задачу, которая может привести к расширению ассортимента выпускаемой продукции [4].

По мнению В.А. Самира известняк и доломит - два основных типа карбонатных пород. Основное различие между ними заключается в том, какое пустое пространство они содержат, что влияет на то, сколько жидкости они могут удерживать. Некоторые карбонатные породы имеют мелкие зерна, плохо соединены и содержат крошечные поры. Карбонатные породы удерживают очень мало жидкости и не позволяют ей легко вытекать. Примерами таких пород являются породы с пористостью 8-15% и проницаемостью от 0,0001 до 0,01 микрона в квадрате [5]. Такие породы обладают высокой степенью рекристаллизации, так как их первоначальные зерна претерпели трансформацию. Способность этих плотных пород удерживать жидкость зависит от размера и количества мелких пор в матрице. То, насколько легко жидкости могут проходить через них, зависит от степени их трещиноватости (насколько сильно они изломаны).

В последние годы все больше внимания уделяется невзрывным методам разрушения, которые позволяют более безопасно и экологично разрушать горные породы. Одним из перспективных методов является дезинтеграция массива карбонатных пород невзрывчатым разрушающим составом шпурами большого диаметра.

В.А. Белин, отметил, что «шпур – пробуренная в твердом теле выработка диаметром менее 75 мм и глубиной до 5 м» [1, с. 20].

А.И. Копытов, Ю.А. Масаев, В.В. Першин отмечают, что при шпуровом методе взрывания необходимо тщательно заполнять шпуры взрывчатой вещью, чтобы их стенки выполняли роль оболочки, а также производить качественную забойку шпуров [3, с. 27].

В.Д. Христоробов установил, что длина магистральной трещины, используемая для определения расстояния между шпурами, пропорциональна квадрату давления внутри шпура, квадрату радиуса шпура и обратно пропорциональна квадрату коэффициента интенсивности напряжений разрушаемой породы (для диаметров шпуров от 28 до 42 мм) [6]. Автором выявлена возрастающая экспоненциальная зависимость времени формирования магистральной трещины от термокинетических параметров горной породы и скорости нарастания давления внутри шпура. Применение НРС для отделения блоков от массива ограничивается температурами от +5 до +25°C. Зависимость времени формирования магистральной трещины от температуры имеет большое значение при температуре +25°C и в среднем для разных месторождений составляет от 5 до 12 часов. Рекомендуется использовать шпуры диаметром от 36 до 42 мм. Соотношение воды к НРС должно быть равно 1/3. Расстояние между шпурами должно составлять от 200 до 500 мм. Температура массива должна быть от +5°C до +20°C.

Рекомендации для подземной добычи кристаллосырья, использовать шпуры диаметром от 32 до 42 мм. Расстояние между шпурами должно составлять от 500 до 800 мм. Время формирования магистральной трещины по поверхности разрушения составляет от 8 до 16 часов [6].

Сущность метода дезинтеграции массива карбонатных пород невзрывчатым разрушающим составом шпурами большого диаметра заключается в том, что в заранее пробуренные шпуры большого диаметра (обычно диаметром 150-300 мм) закладывается невзрывчатый разрушающий состав.

При контакте с водой или водным раствором разрушающий состав вступает в химическую реакцию, в результате которой происходит выделение тепла и газов. Тепло и газы создают высокое давление в шпурах, что приводит к разрушению горной породы [2].

Метод дезинтеграции массива карбонатных пород невзрывчатым разрушающим составом шпурами большого диаметра имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами разрушения:

- При использовании данного метода отсутствует риск взрыва, который значительно повышает безопасность работ.

- Не происходит образования пыли, шума и вибраций, и снижает негативное влияние на окружающую среду.

- Разрушение происходит только в тех местах, где заложен разрушающий состав, так как помогает сохранить целостность окружающих скал.

- Метод экономичный, чем взрывные методы, особенно при разрушении небольших объемов горной породы.

Метод дезинтеграции массива карбонатных пород невзрывчатым разрушающим составом шпурами большого диаметра применяется в следующих областях:

- Горнодобывающая промышленность. Разрушение горной породы для добычи полезных ископаемых.

- Строительство. Разрушение скальных пород при прокладке туннелей, дорог, каналов и других объектов.

- Ремонтные работы: Разрушение горной породы при ремонте и реконструкции шахт, туннелей, мостов и других объектов.

- Спасательные работы: Разрушение горной породы при ликвидации последствий аварий и стихийных бедствий.

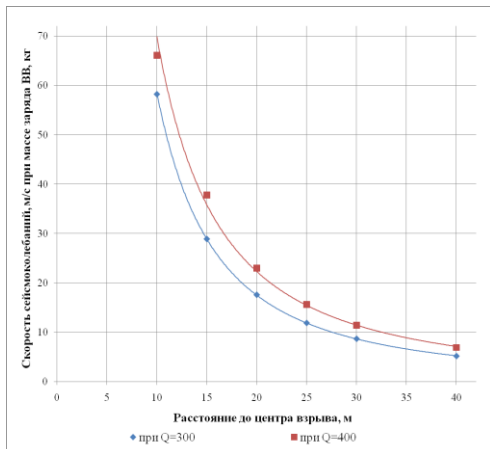
В 2020 году метод дезинтеграции массива карбонатных пород невзрывчатым разрушающим составом шпурами большого диаметра был использован при демонтаже железобетонного фундамента. Диаметр шпуров составлял 200 мм, длина – 5 метров. Для разрушения фундамента было использовано 20 тонн разрушающего состава.

В результате применения данного метода фундамент был разрушен без образования пыли, шума и вибраций. Окружающие здания и сооружения не пострадали.

В рамках реализации комбинированного метода дезинтеграции массива горных пород, перед проведением массового взрыва на участке нарушенных доломитов, с целью минимизации техногенного воздействия на геологическую структуру и снижения деструктивного влияния взрывных работ на продуктивные слои блочных доломитов, предлагается формировать специальную экранирующую щель по контуру массового взрыва. Данная щель создается путем взрывания скважин длиной не менее 6 метров с углом наклона 60 градусов. При этом, удельный расход эталонного взрывчатого вещества должен составлять не более 0,5 кг/м<sup>3</sup>. Реализация данного мероприятия позволит сократить зону

техногенного нарушения массива на 1,8-2,5 метра, а также уменьшить разрушающее действие взрывных работ на продуктивные слои блочных доломитов в 2,3-2,6 раза.

Зависимость скорости сейсмоколебаний от расстояния до центра взрыва значения представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Зависимость скорости сейсмоколебаний от расстояния до центра взрыва:  
1 – при Q=300 кг;  
2 –при Q=400 кг [4]**

Экспериментальные данные выявили экспоненциальную зависимость между скоростью сейсмических колебаний и расстоянием до центра взрыва, которая может быть выражена следующим образом:

$$V(\text{при массе заряда ВВ } 300 \text{ кг})=3209,9r^{-1,74}$$

$$V(\text{при массе заряда ВВ } 400 \text{ кг})=3089,3r^{-1,646}$$

Исследования показали, что на небольшом расстоянии (менее 10-15 метров) от центра взрыва скорость сейсмических колебаний практически не меняется с изменением расстояния. Такие изменения связаны с тем, что горные породы в этой зоне подвергаются упругопластическим деформациям [4].

Для защиты продуктивных слоев блочных доломитов от разрушительного воздействия взрывных работ были разработаны специальные технологические решения, основанные на экранировании участков по выемке блочного камня от воздействия взрывных волн.

Основным методом управления параметрами сейсмических волн является регулирование граничных условий на внешнем и внутреннем контурах разрушения. Данный метод основан на принципе отражения волн от границы раздела двух сред с различными акустическими жесткостями.



Таким образом, метод дезинтеграции массива карбонатных пород невзрывчатым разрушающим составом шпурами большого диаметра является перспективным методом разрушения горных пород, который обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами. Данный метод может быть использован в различных областях, таких как горнодобывающая промышленность, строительство, ремонтные работы и спасательные работы.

### Список литературы

1. Белин В.А., Кутузов Б.Н., Ганопольский М.И., Оверченко М.Н. Технология и безопасность взрывных работ / В.А. Белин, Б.Н. Кутузов, М.И. Ганопольский, М.Н. Оверченко; под ред. проф. В.А. Белина. — М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2016. — 424 с.
2. Дробление горных пород взрывом в карьерах: монография / Казаков Н.Н. [и др.]. — М.: РАН, 2020 — 520 с.
3. Копытов А.И. Взрывные работы в горной промышленности / А.И. Копытов, Ю.А. Масаев, В.В. Першин. — Новосибирск: Наука, 2013. — 512 с.
4. Олисаев А.С. Разработка открытой геотехнологии отработки нагорных месторождений доломита с применением комбинированного способа дезинтеграции массива горных пород: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 25.00.22 / Олисаев Аслан Сергеевич; [Место защиты: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)]. - Владикавказ, 2020. - 20 с.
5. Самира В.А. Методологические основы оценки фильтрационно-емкостных свойств продуктивного горизонта при эксплуатации его горизонтальными скважинами / В.А. Самира // Известия Уральского государственного горного университета. 2018. Вып. 4(52). С. 57-60.
6. Христолюбов В.Д. Разработка ресурсосберегающего способа добычи минерального сырья невзрывчатыми разрушающими смесями. Дис... к.т.н. — М., 1988.

**УДК 550.832**

## **ПОСТРОЕНИЕ ЕДИНОЙ/ОБЩЕЙ ТЕКСТУРЫ СКВАЖИНЫ НА ОСНОВЕ ЭНДОСКОПИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

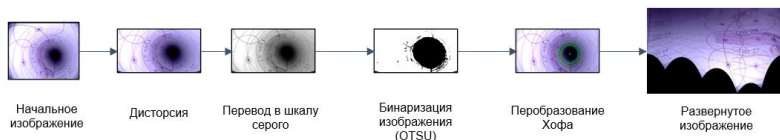
**Дёмин Д.О.<sup>1,2</sup>, Вартанов С.А.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>МИЭМ НИУ ВШЭ, <sup>2</sup>НИУ МАИ, г. Москва*

При геофизических исследованиях скважин (ГИС) используют ряд различных методов каротажа, такие как: акустический, радиоактивный, электромагнитный, фото-видео и другие. Последние два из перечисленных видов получили на сегодняшний день достаточно широкое распространение в силу наглядности получаемых результатов и большей доступ-

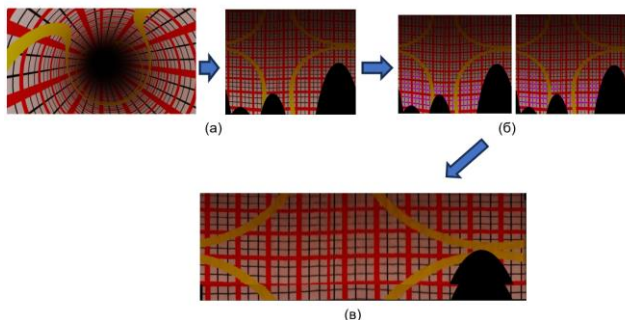
ности оборудования для их проведения. Для обработки данных, получаемых при таких видах каротажа, используют специализированное программное обеспечение, например, GeoVista [1] и ряд систем, привязанных к конкретной линейке или модели оборудования [2]. В качестве результатов работы таких средств на выходе получают видео и фотоматериалы, которые отображают рельеф канала, а также метаданные, связанные с глубиной погружения и ориентацией камеры эндоскопа в скважине. Для последующего построения модели скважины необходимо провести обработку такого вида данных, что требует предварительного получения общей текстуры канала скважины.

На основе работ [3-7] было предложено внедрить ряд методов по предварительной обработке видеоматериалов в разрабатываемую в МИЭМ НИУ ВШЭ систему для анализа данных фото и видео каротажа. На первом этапе происходит разделение видео на отдельные кадры. Затем, полученные кадры проходят процедуру обработки, которая графически представлена на рис.1. В результате этих процедур получают развертки исходных изображений.



**Рисунок 1 - Этапы предварительной обработки изображений для получения разверток**

Сами эти процедуру необходимы в силу того, что камера по мере движения в скважине может двигаться с отклонениями от центральной линии канала, а также в силу особенностей линз, которые установлены на самих эндоскопах, которые вносят искажения в исходные данные. Следующим этапом обработки является объединение или «склеивание» преобразованных изображений. На рис. 2 приведено применение этапов построения развертки и объединения двух последовательных преобразованных изображений на примере тестовой модели цилиндрического тела со специально подготовленной для его внутренней части текстурой.



**Рисунок 2 - Этапы подготовки общей текстуры из исходного изображения (а) построение развертки (б) выбор двух последовательных кадров для последующего объединения (в) результат объединения**

Объединение двух изображений происходит по ключевым совпадающим точкам. Области, которые не являются пересечениями двух изображений добавляются к результирующему изображению. Данная процедура продолжается до тех пор, пока не будут соединены все предварительно преобразованные изображения.

Используемый для соединения изображений алгоритм имеет ряд ограничений. Так как для корректного объединения изображений требуется достаточно большое количество точек, то необходимо заранее обеспечить высокое качество видео и минимизировать время между последовательными кадрами. Поэтому продолжается процесс оптимизации алгоритмов построения разверток и их объединения, а также ведется разработка и исследование критериев качества для получаемых разверток и текстур.

### Список литературы

1. GeoVista, <http://geovista.co.uk>.
2. Видеоэндоскоп «Умный напарник», <https://www.kcelectro.ru/videoendoskop-umnyj-naparnik>.
3. Ye Zhang, Gang Wang, Mingchao Li, Shuai Han, Automatic identification and classification in lithology based on deep learning in rock mineral images, Applied Sciences 8(12), 2018, pp.
4. Arun Mohan, Sumathi Poobal, Crack detection using image processing: A critical review and analysis, Alexandria Engineering Journal (2018), 57, pp.787–798.
5. Yejin Kim<sup>1</sup>, Seong Jun Ha, Tae sup Yun, Deep learning for extracting micro-fracture: Pixel-level detection by convolutional neural network, E3S Web of Conferences 205, 03007 (2020), pp 1-5.

6. Rahul Prabhakaran, Pierre-Olivier Bruna, Giovanni Bertotti1, and David Smeulders, An automated fracture trace detection technique using the complex shearlet transform, *Solid Earth*, (2019), 10, pp. 2137–2166.

7. Вартанов А.З., Федоров Е.В., Развитие методов скважинной эндоскопии в горном деле в ИПКОН РАН, Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Москва, 2020, - М.: ИПКОН РАН, 232-237 с.

**УДК 622.691.24**

## **ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОЗДАНИЯ ГРУППЫ ПОДЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ В ПЛАСТАХ КАМЕННОЙ СОЛИ**

**Есина Е.Н., Кевбрин Д.Н.**

*РУДН, г. Москва*

Формирование группы подземных резервуаров в пластах каменной соли позволяет сокращать сроки их строительства с одновременным снижением капитальных затрат при использовании слабоконцентрированного рассола и в целом снижает экологические риски [1-3]. Условием для создания групп резервуаров является наличие в необходимом объеме источников водоснабжения, близко расположенного химического предприятия, перерабатывающего насыщенный рассол, наличие наземных водных акваторий, водоносных горизонтов, пригодных для сброса в них ненасыщенного рассола [4,5]. Группа может содержать от трех до пяти подземных резервуаров, которые размываются одновременно. В этом случае значительно увеличивается расход растворителей [6]. Перспективным решением этой проблемы является повторное использование слабоконцентрированного рассола, образующегося при формировании полостей.

Для разработки технологии создания группы подземных резервуаров было рассмотрено несколько различных вариантов. При использовании параллельного способа размыва группы подземных резервуаров используется классический способ строительства. Одновременно водорассольный комплекс подает равномерно растворитель в несколько резервуаров, а образующийся слабоминерализованный рассол вытесняется на поверхность с помощью насосных агрегатов. При использовании данного метода существенно возрастают затраты на растворитель, а концентрация полученного рассола не достаточна для обеспечения рентабельности на доставку при направлении его на перерабатывающие заводы.

При использовании последовательного способа размыва группы подземных резервуаров слабоминерализованный рассол, получаемый в ходе создания первой выработки, повторно используется для создания следующего резервуара. Данный способ является наиболее эффектив-

ным, поскольку сокращаются затраты на растворитель, образуется высококонцентрированный рассол, что позволяет направлять его на переработку, появляется возможность поэтапного ввода резервуаров в эксплуатацию. Недостатком данного метода является невозможность равномерного обеспечения потребителя кондиционным рассолом.

Комбинированный способ размыва группы подземных резервуаров включает в себя совокупность технических решений параллельного и последовательного способа. В первый резервуар группы подается пресная вода, далее полученный рассол направляется в следующий с попутным добавлением пресной воды для уменьшения концентрации рассола и увеличения скорости растворения соляного массива. Далее размыв производится по аналогичной схеме.

Для обоснования оптимальных параметров создания группы подземных резервуаров были выполнены расчёты по различным вариантам организации подачи растворителя в размываемые подземные резервуары. Например, растворитель подаётся сначала в один резервуар, получаемый из резервуара слабоминерализованный рассол подаётся на растворение соли в два других строящихся резервуара в равных количествах. Перекачку рассола из первого резервуара в другие два целесообразно осуществлять в течение всего периода строительства, так как при этом обеспечивается солесъём во вторичных резервуарах.

Во всех вариантах рассматривались одинаковые объекты: три подземных резервуара по 150 тыс. м<sup>3</sup> полезного объёма каждый, производительность подачи растворителя на все резервуары 80 м<sup>3</sup>/ч, глубина заложения выработок 890 м, максимальное давление хранения газа 14 МПа, буферное давление 3 МПа. В таблице представлены основные параметры рассмотренных вариантов схем подачи растворителя.

Варианты I, IV и V предусматривают использование вытесняемого из резервуаров рассола в качестве растворителя в других резервуарах. Этим обеспечивается на некоторое время параллельность дополнительного наращивания объёма во всех трёх резервуарах, так как недонасыщенный рассол частично донасыщается во втором резервуаре, а не удаляется на рассолопромысел.

Варианты II и III предусматривают донасыщение рассола во вторичных резервуарах и поэтому как по концентрациям и объёму удаляемого рассола, так и по времени сооружения менее предпочтительны, чем варианты I, IV и V. Неперспективным является второй вариант, когда первичный резервуар развивается при производительности подачи растворителя 80 м<sup>3</sup>/ч, а по окончании его создания начинается параллельное создание двух вторичных резервуаров при подаче растворителя на каждый из них до 40 м<sup>3</sup>/ч. На предпоследнем месте по оптимальности стоит III вариант, когда одновременно подаётся пресная вода на

растворение соли во всех трёх резервуарах с производительностью 27 м<sup>3</sup>/ч. С учетом всех показателей наиболее эффективным представляется IV вариант, как по общему времени создания всех трёх резервуаров, так и по получению в эксплуатацию первичного и вторичного резервуаров. Однако следует учитывать, что закачка растворителя из резервуара в резервуар усложняет управление процессом и контроль.

В вариантах IV и V наименьшие временные затраты на создание всех трёх резервуаров, при этом вариант IV обеспечивает равномерный ввод в эксплуатацию подземных резервуаров уже через два года после начала их формирования.

Таблица

**Основные параметры рассмотренных вариантов схем подачи растворителя**

Вариант	Количество удаляемого рассола			Средняя концентрация, кг/м <sup>3</sup>	Время от начала сооружения до его окончания и ввода в экспл./объём активного газа, лет/млн.н.м <sup>3</sup>		
	Всего, млн.н.м <sup>3</sup>	В т.ч. кондиционного, млн.н.м <sup>3</sup>	Процент от общего		I очередь	II очередь	III очередь
1	2	3	4	5	6	7	8
I	2,94	0,63	22	287	2,1/19,8	4,84/59,4	—
II	3,54	0,63	18	239	2,1/19,8	5,82/59,4	—
III	3,1	1,8	58	274	5,1/59,4	—	—
IV	2,9	0,64	22	293	2,1/19,8	3,4/39,6	4,75/59,4
V	2,9	0,64	22	293	3,72/39,6	4,75/59,4	—

Следует отметить, что производительность и концентрация рассола, удаляемого с площадки строительства, определяют скорость нарастания объёма резервуара. Не рекомендуется соединять в один технологический комплекс более трёх последовательно соединённых скважин подземных резервуаров. Каменная соль интенсивно растворяется в пресной воде или слабонасыщенном рассоле, при повышении же концентрации скорость растворения быстро снижается.

При групповом размыве подземных резервуаров в процессе перекачки растворителя последовательно из одного резервуара в другие возникает необходимость снижения скорости растворения за счёт частичного насыщения растворителя солью по мере увеличения концентрации рассола:

$$K = 1 - \frac{C_0 \cdot \rho_n}{C_n \cdot \rho_0},$$

где  $C_0$  – концентрация получаемого рассола, кг/м<sup>3</sup>,  $C_n$  – концентрация насыщенного рассола кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_n$  – плотность насыщенного рассола относительно воды, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_0$  – плотность рассола с концентрацией  $C_0$ , кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, перераспределение и регулирование производительности потоков образующегося слабоминерализованного рассола является основой выбора рациональных геотехнологических параметров создания группы подземных резервуаров в пластах каменной соли.

### Список литературы

1. Хан С.А. Подземное хранение газа – залог надежного газоснабжения потребителей // Газовая промышленность. 2022. № S4 (841). С. 10-16.
2. Михаленко В.А., Хан С.А., Барсуков Н.Е. Роль подземных хранилищ газа в обеспечении энергетической безопасности России // Газовая промышленность. 2022. № S4 (841). С. 18-24.
3. Хлопцов В. Г. Подземные хранилища природного газа в отложениях каменной соли // Газовая промышленность. 2015. № 9. С. 28-31.
4. Малюков В.П. Физические процессы и технологии строительства подземных выработок-емкостей при гидродинамическом воздействии раствора на каменную соль // М.: РУДН, 2021. 399 с.
5. Казарян В.А. Подземное хранилище газов и жидкостей / Т.1. Проектирование. Строительство // М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2019. 844 с.
6. Мастобаев Б.Н., Локшина Е.А. Повторное использование рассолов при устройстве подземных газохранилищ в соляных пластах // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2019. № 2. С. 36–39.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТОЧНИКА КОЛЕБАНИЙ ПРИ ПОМОЩИ ПОСТРОЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЁХКООРДИНАТНЫХ ВИБРОСКОРОСТЕЙ

Икреников М.С.<sup>1,2</sup>, Вартанов А.З.<sup>1,2</sup>, Нефедов С.И.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ИПКОН РАН, <sup>2</sup>НИУ ВШЭ

Свёрточные нейронные сети, как средство поиска схожих фрагментов данных полученных при измерении каких-либо значений – являются передовым методом определения источника сейсмических колебаний. Таким образом может быть решена задача определения типа инициатора воздействия и дифференциация интересующего воздействия от остальных.

Предложенный метод основан на предположении о приближении определения источника, который включает в себя оценку расстояния и направления на источник исходя из соотношений, составляющих виброскоростей по координатам. Результаты, полученные этим методом, требуют дополнительной априорной информации для определения источника, так как по ним можно оценить только направление и расстояние до источника.

Если рассмотреть точечный источник, в однородном изотропном пространстве, то он создаёт сферическую волну распространяющуюся от этого источника. На достаточно большом расстоянии можно сказать, что фронт волны становится из сферического плоским [1]. Фронт остаётся сферическим, но для относительно близкорасположенных точек он плоский. В качестве примера можно провести простую аналогию с человеком на нашей Планете. Форма Планеты неидеальная сфера, но человеку, находящемуся на ней поверхность будет представляться плоской, таким образом изменение составляющих происходит только за счёт свойств среды.

В следствии изменения кривизны фронта сферической волны на разном расстоянии, происходит изменение компонент в направлениях перпендикулярных направлению распространения. Другими словами, можно сказать, что происходит перераспределение энергии или «растяжение» по координатам перпендикулярным направлению распространения. Также наличие приоритетных направлений скоростей может говорить о *неточечности* источника или о том, что поле ещё не сформировалось и находится в ближней зоне

Предложенный метод заключается в следующем:

1. По данным трёхкомпонентного датчика строится трёхмерная фигура. Каждая измерение вибрации интерпретируется как точка на трёхмерной поверхности.

2. Ищется плоскость относительно которой измерение составляющих было наибольшим

3. Сравниваются изменения значений на этой плоскости и на прямой перпендикулярной этой плоскости. Это нормаль к поверхности также показывает направление на источник

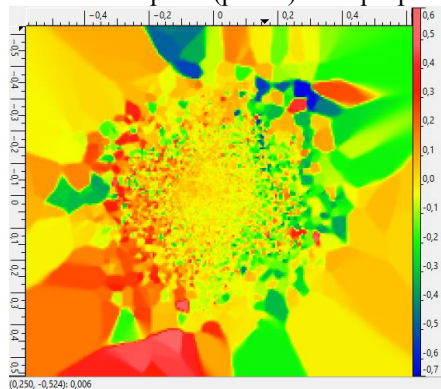
4. По соотношению значений на плоскости и кривой оценивается кривизна фронта волны.

5. По кривизне фронта и модели источника можно оценить расстояние до него.

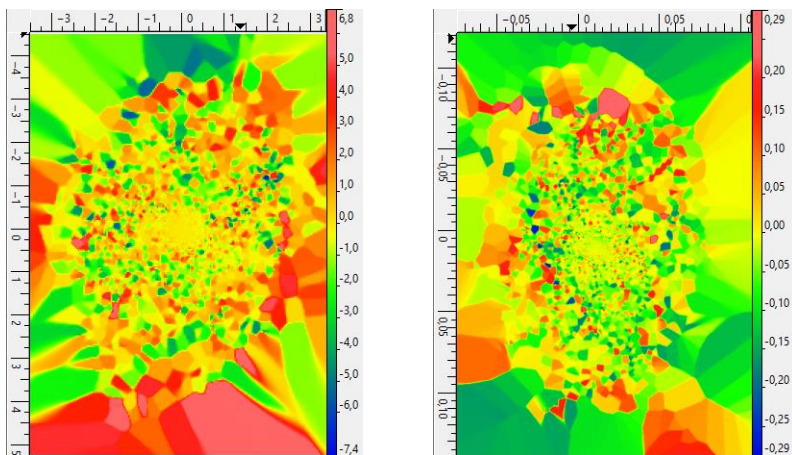
В соответствии с разработанным методом получены представленные на (рис. 1) изображения распределения виброскоростей по трем координатам для тестового набора данных, соответствующего земле-



трясению, произошедшему 25.05.2001 вблизи Большой гряды Курильских островов (44.22° с.ш. 148.33° в.д. с глубиной гиперцентра 33 км), и массового взрыва (рис. 2) на карьере в Кемеровской области.



**Рисунок 1 – Изображения распределения виброскорости по трём координатам для землетрясения**



**Рисунок 2 – Изображения распределения виброскорости по трём координатам для массового взрыва на двух датчиках**

Набор точек, находящихся в скученности, позволяет определить источник и выстроить направление распределение фронтов сейсмических волн.

Изучение подобных областей, а также их количества, положения и размера, является дополнительным независимым критерием, благодаря которому увеличивается однозначность правильного определения источника колебаний и снижается вероятность ошибки.

Использование свёрточных нейронных сетей для поиска схожих фрагментов, позволяет определить схожие по площади плоскости и произвести нормировку по вертикальной координате. В зависимости от положения источника относительно датчика изображения различны и нормировка необходима для повышения точности определения источника колебаний.

Применение сверточных нейронных сетей позволяет значительно сократить количество классифицируемых событий, за счет определения направления и нормировки углового положения, что повышает точность и сокращает объем данных.

#### **Список литературы**

1. Хохлов В.К. Обнаружение, распознавание и пеленгация объектов в ближней локации: Учеб, пособие. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. — 336 с.: ил.

2. Sebastian Raschka, Bahid Mirjalili: Python Machine Learning: Machine Learning and Deep Learning with Python, scikit-learn, and TensorFlow 2: 2019, 770 с.

**УДК 622.831**

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ГОРНОГО МАССИВА ПРИ ВЫЕМКЕ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ С УПРАВЛЯЕМЫМ ВЫПУСКОМ**

**Клишин В.И., Федорин В.А., Опрук Г.Ю., Варфоломеев Е.Л.**

*ФИЦ УУХ СО РАН*

Мощные пласты 8-9 м относятся к высокотехнологичным запасам при наличии соответствующей техники угледобычи [1]. Перспективным направлением подземной добычи угля из мощных пологих пластов является механизированная разработка в один слой с выпуском массива подкровельной толщи на конвейер, завальный или забойный. В мировой практике применяются комплексы, оборудованные дополнительным завальным конвейером, который усложняет конструкцию комплекса и требует значительного увеличения размеров секции крепи и введения дополнительного перегрузочного устройства на сопряжении лавы с конвейерным штреком, что создает трудности при обслуживании.

В ФИЦ УУХ СО РАН ведутся работы по созданию технологии с выпуском угля подкровельной толщи на забойный конвейер. В основе технологии лежит использование механизированных секций крепи поддерживающе-оградительного типа, в ограждениях которых выполнено выпускное окно, связанное с погрузочным желобом и питателем [2].

Подкровельная пачка, сложенная прочными труднообрушаемыми породами не способна обрушаться периодически с устойчивым шагом обрушения, а зависит на больших площадях над выработанных пространством. Зависший уголь обрушается крупными кусками, которые не проходят через выпускное окно в ограждении секции, что приводит к высоким эксплуатационным потерям и повышается вероятность возникновения эндогенных пожаров в выработанном пространстве. Кроме этого, в условиях зависающей труднообрушаемой кровли газ скапливается в завале и при внезапном обрушении кровли происходит «поршневой» выброс метана в существующие горные выработки, что сопровождается мощной ударной волной, которая может вызвать воспламенение и взрыв газа и угольной пыли.

При слабом, сильнотрещиноватом угле, с одной стороны, легче происходит его отделение от кровли, уменьшается зависание угля, улучшается его самообрушение; с другой, – снижается устойчивость потолочины и груди забоя в подсечном слое, что усложняет ведение очистных работ.

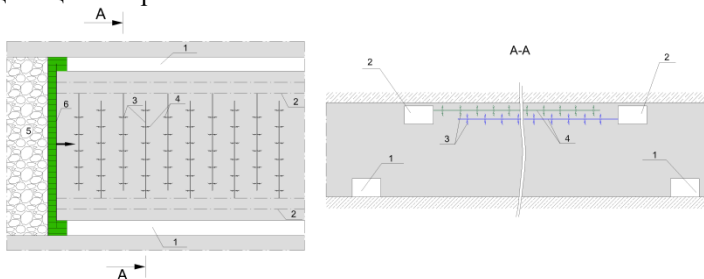
Поэтому для повышения эффективности и безопасности извлечения угля в этой технологии необходимо мероприятия, которые позволили бы осуществлять выпуск угля подкровельной толщи непрерывным потоком, обеспечивая при этом достаточно высокую степень извлечения угля, высокую производительность и безопасность горных работ.

В зависимости от мощности выпускаемой подкровельной толщи ее дезинтеграция по мере подвигания очистного забоя может быть осуществлена различными техническими средствами; например, для подкровельной толщи мощностью до 1 м на перекрытии секции механизированной крепи может быть установлен механический скальватор, ориентированный поперек преимущественного направления трещин. Для дезинтеграции более мощных подкровельных пачек, 1-2 м, может быть использован динамический скальватор, установленный во внутреннем пространстве заслона. Варианты разрушения массива подкровельной толщи, осуществляемые по мере подвигания очистного забоя в подсечном слое, требуют оснащения секции механизированной крепи дополнительным оборудованием [3,4].

При разработке пластов еще большей мощности, когда мощность подкровельной пачки достигает 5 и более метров, подкровельную толщу необходимо готовить к выпуску на забойный конвейер. Для этого может быть проведено заблаговременное разупрочнение верхней части подкровельного массива, непосредственно примыкающая к породам кровли пласта. В этом случае нарушаются связи пласта с породами кровли и сплошность угля.

Наиболее эффективным вариантом является гидроразрыв пласта, осуществляемый до начала ведения очистных работ. В подкровельной толще проходят промежуточные штреки, из которых в обе стороны бурят скважины, ориентируя их в плоскости напластования параллельно предполагаемой линии очистного забоя. Применение дезинтеграции угольного пласта методом поинтервального гидроразрыва при отработке мощных пологих и наклонных пластов длинными столбами позволяет создать систему трещин в подкровельной или межслоевой толще пласта по всей длине очистного забоя и повысить эффективность предварительной дегазации без проведения большого числа промежуточных выработок (рис.1) [5,6].

При технология разработки мощных пологих пластов с выпуском угля подкровельной толщи на забойный конвейер необходимо готовить массив угля подкровельной толщи к выпуску. Разрушение массива подкровельной толщи для его подготовки к выпуску может осуществляться по мере подвигания очистного забоя, не провоцируя вывалообразований перед секциями крепи – скальвателями.



**Рисунок 1 – Схема подготовки подкровельной толщи угля к выпуску поинтервальным гидроразрывом: 1 – выемочный штрек; 2 – промежуточный штрек; 3 – трещины гидроразрыва; 4 – дегазационные скважины; 5 – выработанное пространство; 6 – очистной забой**

При разработке пластов, когда мощность подкровельной пачки достигает 5 и более метров, верхняя часть пласта, примыкающая к породам кровли, подготавливается методом гидроразрыва, осуществляемым до начала ведения очистных работ; нижняя часть подкровельной пачки – по мере подвигания очистного забоя.

### Список литературы

1. Федорин В.А. Геотехнологическая оценка запасов мощных угольных пластов месторождений Кузбасса / В.А. Федорин, В.Я. Шахматов, И.Л. Борисов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 7. – С. 338-343. – EDN UGCCOZ.

2. Клишин В.И. Технология разработки запасов мощных пологих пластов с выпуском угля / В.И. Клишин [и др.]. – Новосибирск: Наука, 2013. – 248 с.

3. Дезинтеграция угольного массива подкровельной толщи при разработке мощных пластов с управляемым выпуском / В.И. Клишин, Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова [и др.] // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2020. – № 6. – С. 131-135. – EDN JLUUV.

4. Анферов Б.А. Управление массивом подкровельной толщи его дезинтеграцией при разработке угольного пласта с выпуском на забойный конвейер / Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 4(146). – С. 77-85. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-4-77-85.

5. Клишин В.И. и др. Дезинтеграция угольного массива подкровельной толщи при разработке мощных пластов с управляемым выпуском // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2020. – № 6. – С. 131-135.

6. The influence of coal and enclosing rock fracturing on the management of the rock massif during the exploitation of thick coal seams by the longwall top coal caving technology / S. V. Klishin, G.Y. Opruk, E.L. Varfolomeev, I.L. Borisov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Novokuznetsk, Virtual, 08–11 сентября 2020 года. – Novokuznetsk, Virtual, 2021. – P. 012011. – DOI 10.1088/1755-1315/823/1/012011.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ПЛАНШЕТОВ НА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ ЛОКАЛИЗАЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РФ**

**Нефедов С.И.<sup>1,2</sup>, Коновальцев А.В.<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>НИУ ВШЭ, <sup>2</sup>ИПКОН РАН, <sup>3</sup>МАИ*

Внедрение современных цифровых технологий на предприятиях горно-добывающей промышленности становится одним из современных трендов развития отрасли. Несмотря на сложности с внедрением комплексных единых систем, работающих в рамках предприятия, различные информационные системы и сервисы широко применяются непосредственными исполнителями на местах [1]. В этом смысле интерес представляет абонентское вычислительное устройство, класса микрокомпьютер, обладающее функционалом, необходимым для горного мастера или маркшейдера и выполненное с учетом конструкционных требований при работе в шахте.

На первый взгляд, такое устройство должно обладать возможностями по координатной привязке местоположения, как с использованием глобальных навигационных систем, так и без них, встроенными систе-

мами точного измерения расстояний (лазерный дальномер), встроенным компасом, доступом ко всем мобильным сетям связи, а также комплектом программного обеспечения, позволяющего организовывать опциональный абонентский доступ к информационным системам, применяемым на выбранном предприятии. Кроме того, данное устройство должно быть интегрировано в корпус, обеспечивающий класс защиты не ниже IP68 и при этом обеспечивать искробезопасность, соответствующую требованиям к работе в шахтах.

На сегодняшний день устройств, в полной мере удовлетворяющих всему комплексу требований на российском рынке нет [2], а их создание до недавнего времени было сопряжено с различными барьерами технологического, организационного и экономического характера. Дело в том, что основой для создания такого прибора может служить лишь универсальная цифровая вычислительная платформа, схемотехника и конструктив которой должны быть соответствующим образом доработаны для условий эксплуатации на горных предприятиях. Традиционно разработка таких систем под локализацию в РФ заказывались на зарубежных предприятиях и адаптация их для горных предприятий оказывалась просто нерентабельной.

Группе авторов доклада удалось создать базовую вычислительную платформу с использованием технологий предоставляемых отечественной промышленностью, так и с использованием элементной базы оригинальной разработки КНР [3]. Сочетание этих технологий позволило создать гибкий аппаратно-программный комплекс, который может быть легко адаптирован под нужды предприятий горно-добывающего комплекса.

Ядром вычислительной системы является процессорный модуль, созданный под применение в нем как отечественного процессора Элвис-Мульткор, так и китайского процессора, продаваемого на рынке под брендом RockChip. Оба модуля адаптированы под работу под управлением оригинальной сборки операционной системы Linux, что позволяет легко сопрячь рассматриваемое абонентское устройство с информационными системами, работающими на горных предприятиях. Процессорный модуль устанавливается в заводских условиях на периферийную плату, обеспечивающую поддержку внешних интерфейсов и питания. Именно она дорабатывается под требования установки лазерного дальномера и модулей высокоточного определения положения. Вся сборка устанавливается в специализированный корпус, обеспечивающий эксплуатационные требования.

Проведенный анализ показал, что на сегодняшний день, возможности отечественных предприятий промышленности позволяют выпол-

нить все необходимые технологические операции по изготовлению корпуса, сборке процессорного модуля и периферийной платы. Это позволит организовать мелкосерийное производство созданного абонентского устройства через механизмы контрактного производства.

### **Список литературы**

1. Анализ маркшейдерских цифровых планов для последующего включения их в геоинформационную систему / Гагарин А.А., Игнатов Ю.М., Роут Г.Н., и др.// Вестник Кузбасского государственного технического университета. №1 2017 с.45-52

2. Лучшие защищенные смартфоны и планшеты для строительства в 2021 году: прочные, надежные и водонепроницаемые/  
<https://www.planradar.com>.

3. Нефедов С.И., Коновальцев А.В., Решетова К.В. Малогабаритная одноплатная универсальная вычислительная платформа для применения в системах обработки данных реального времени. с.338-339 // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Под редакцией академика РАН К.Н. Трубецкого – М.: ИПКОН РАН – 2022. - 404 с.

**УДК 622.273.218**

## **ПРИНЦИПЫ ИЗОЛЯЦИИ ПОДЗЕМНЫХ КАМЕР ДЛЯ СЕРНОКИСЛОТНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ РУД**

**Радченко Д.Н., Гаджиева Л.А.**

*ИПКОН РАН*

Неуклонно возрастающие мировые объемы добычи полезных ископаемых в условиях снижения качества руд определяют необходимость совершенствования существующих технологий ведения горных работ, позволяющих наиболее полно и эффективно вовлекать в разработку бедные, некондиционные руды, относимые в настоящее время к забалансовым запасам. Комбинированные геотехнологии подземной добычи наиболее богатых руд и блочного выщелачивания некондиционных основаны на многофункциональном использовании выработанных пространств подземных камер [1,2]. Камера для подземного выщелачивания выполняется в виде горнотехнической конструкции, включающей возведенное в выработанном пространстве после отработки локальных рудных тел, либо в камерах второй/третьей очередей упрочненное днище, обуренное веерами скважин для подачи газов и отвода растворов. Здесь реализуется загрузка сырья требуемой крупности, организована подача, сбор и циркуляция выщелачивающих растворов и отвод отходящих газов [3]. Важным условием, определяющим эффективность ука-

занной технологии, является изоляция рабочего пространства камеры выщелачивания.

На основе проведенного аналитического обзора и оценки современных технологических возможностей предложена классификация способов изоляции подземных камер, в качестве классификационного признака в которой принят вид изолирующей конструкции. Первый класс конструкций предусматривает изоляцию рабочего пространства камеры путем возведения искусственных массивов – днищ, смежных конструкций и потолочин камеры. Следующим методом является формирование защитных оболочек путем заблаговременного создания защитного слоя на ранее возведенном днище требуемой прочности, инфузионного возведения маломощных конструкций для защиты смежных блоков и набрызга изолирующего материала в дистанционном режиме. Изоляция всего участка выщелачивания обеспечивается путем создания сплошных завес и барражных скважин. Тампонаж применяется для заполнения локальных водопроводящих трещин и зон нарушенности массива. Так, эффективная реализация технологии подземного блочного выщелачивания возможна лишь при изоляции рабочего пространства камеры оптимальным для конкретных горно-геологическим и гидрогеологическим условий способом или обоснованным сочетанием.

Однако, применение указанной технологии нецелесообразно при формировании изолирующих конструкций на основе дорогостоящих цементных материалов, отвечающих требованиям технологии выщелачивания. В связи с чем необходим поиск новых решений по эффективной изоляции наиболее ответственных конструкций блоков выщелачивания материалами на основе отходов добычи и производства.

В результате комплекса теоретических и лабораторных исследований обоснован состав геоплимерной смеси на основе вмещающих пород медно-колчеданного месторождения для создания изолирующих конструкций, способный обеспечить требуемые для технологии изоляции камер выщелачивания свойства [4]. Полученные на основе данной смеси образцы характеризуются высокой прочностью на одноосное сжатие – до 22МПа, устойчивостью к 10%-ому раствору серной кислоты, низким значением водопоглощения – не более 1%, и стойкостью к температурам до 600°С.

Установленный факт и обоснованная возможность использования пород от проходки горных выработок с высоким содержанием аморфного кремнезема для производства геоплимеров позволил разработать алгоритм обоснования параметров технологии изоляции камер выщелачивания, предусматривающий этапе геологической оценки выделение вме-



шающих пород, предположительно отвечающих требованиям к сырью для формирования геополимерных конструкций. Далее производится оценка возможности формирования геополимерных массивов на основе выделенных пород, включающая лабораторные минералогические и химические исследования, а также оценку свойств полученных геополимерных образцов. Кроме того, меняются требования к качеству полезного ископаемого при выделении рудных зон с учетом возможности вовлечения в эксплуатацию низкосортных руд. На этапе подсчета запасов производится дифференциация рудных зон по сортам в зависимости от наиболее эффективной технологии их отработки: традиционным подземным способом с последующим обогащением или технологией камерного выщелачивания. Объем рудной массы, подвергаемой в дальнейшем подземному выщелачиванию, является ключевым показателем, определяющим необходимые объемы рабочего пространства камер-реакторов и, следовательно, требуемых прочностных характеристик днищ камер. На основе полученных данных производится выбор технологии формирования днищ и применяемого для этих целей оборудования.

Таким образом, перспектива реализации технологии блочного выщелачивания руд в специальных камерах в комбинации с традиционной камерной подземной добычей системами разработки с закладкой выработанного пространства возможна при принципиально новом подходе к первоначальной оценке и проектированию таких горнотехнических систем, рассматривающем вмещающие породы месторождений не в качестве отходов производства, а одного из основных материалов производства смесей для возведения изолирующих конструкций камер выщелачивания.

### Список литературы

1. Каплунов Д.Р. Комплексное освоение недр комбинированными геотехнологиями / Д.Р. Каплунов, А.Д. Рубан, М.В. Рыльникова. – М.: ООО НИИЦ «Недра-XXI», 2010. – 304 с.
2. Трубецкой К.Н., Чантурия В.А., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья. – М.: Наука, 2010. – 437 с.
3. Патент № 2747275 С1 Российская Федерация, МПК E21C 41/22, E21B 43/28, C22B 3/04. Способ подземного выщелачивания металлов из сульфидсодержащего минерального сырья: № 2020136767: заявл. 10.11.2020: опубл. 04.05.2021 / Д. Р. Каплунов, Д. Н. Радченко, Л.А. Гаджиева [и др.].
4. Гаджиева Л.А. Повышение эффективности комбинированного способа подземной добычи руд и выщелачивания путем формирования горнотехнических конструкций на основе геополимерных композитов // Материалы научно-практической конференции «Комбинированная геотехнология: комплексное

освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых» - Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова. – 2023. - С. 74–76.

**УДК 504.064.4 + 550.462 + 550.4.02**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РИСКА ОБРАЗОВАНИЯ КИСЛЫХ СТОКОВ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ ОТХОДОВ ДОБЫЧИ УГЛЕЙ В ОТВАЛАХ**

**Хао Цзе, Кочеткова Е.М., Эпштейн С.А.**

*НИТУ «МИСИС»*

Добыча полезных ископаемых сопровождается образованием значительных объемов отходов горных пород. Такие отходы, как правило, либо размещают в отвалах, либо используют для целей рекультивации. Важной проблемой при размещении или использовании минеральных отходов является риск генерации кислых стоков. Образование кислых дренажных вод связано с окислением сульфидных минералов, содержащихся в отходах, при их длительном контакте с кислородом воздуха и влагой (1). В связи с этим в мировой практике для оценки риска образования кислых вод проводят статические и кинетические тесты минеральных отходов добычи полезных ископаемых (2).

В настоящей работе приведены результаты оценки риска дренажа кислых стоков с использованием методики (3, 4) и кинетического теста, разработанных в НИТУ МИСИС.

Кинетический тест основан на длительной обработке отхода в климатической камере в условиях постоянной влажности (95%) и температуры (25°C). На протяжении всего периода испытаний на установленных контрольных точках (3, 6, 9, 12, 25, 34 недель) определяют: содержание общей серы в пробах аналогично ГОСТ 32465–2013, pH водной вытяжки (полученной по ГОСТ Р 58914-2020), а также ее химический состав.

В качестве объектов исследования были выбраны отходы открытой добычи углей. Пробы У1 и У2 были отобраны от разных вскрышных уступов на месторождении бурого угля, а проба У3 была отобрана после буровзрывных работ по вскрыше на месторождении каменного угля (5). Исследуемые отходы имеют существенные различия в содержании серы: для отхода У2 содержание серы составляет 1,63%, в то время как для отходов У1 и У3 данный показатель существенно ниже (0,03 и 0,04% соответственно).

В таблице 1 представлена оценка риска дренажа кислых стоков для исходных отходов по методике (3, 4). В соответствии с методикой, про-

бы обрабатывали избытком HCl известной нормальности. Избыток кислоты, оставшейся после нейтрализации щелочных агентов, титровали раствором NaOH известной нормальности. Объем NaOH, пошедший на титрование избытка кислоты, использовали для расчета величины общего потенциала нейтрализации (NP). Для расчета кислотного потенциала нейтрализации (AP) использовали массовую долю общей серы, определенную в исходных отходах аналогично ГОСТ 32465–2013. Потенциал нейтрализации (Net NP) определяли как разность общего и кислотного потенциалов нейтрализации исследуемых проб. Полученное значение потенциала нейтрализации в тоннах эквивалента CaCO<sub>3</sub> на 1000 т отхода пересчитывали на значение в тоннах эквивалента кальция (Ca<sup>2+</sup>) на 1000 т отхода, после чего проводили оценку риска дренажа кислоты на основании критериев, приведенных в работе (4).

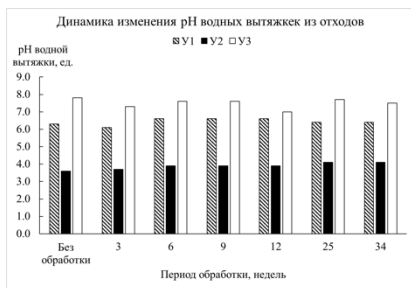
Из результатов, представленных в таблице 1, видно, что для отходов У1 и У3 риск дренажа кислых стоков невелик или отсутствует, в то время как для отхода У2 он значительно выше.

Таблица 1

### Потенциал нейтрализации исходных проб

№ пробы	Общий потенциал нейтрализации (NP)		Кислотный потенциал нейтрализации (AP)		Потенциал нейтрализации (Net NP)		Заключение о риске образования кислотных или щелочных дренажных вод
	в тоннах эквивалента CaCO <sub>3</sub> на 1000 т	в тоннах эквивалента Ca <sup>2+</sup> на 1000 т	в тоннах эквивалента CaCO <sub>3</sub> на 1000 т	в тоннах эквивалента Ca <sup>2+</sup> на 1000 т	в тоннах эквивалента CaCO <sub>3</sub> на 1000 т	в тоннах эквивалента Ca <sup>2+</sup> на 1000 т	
1	2	3	4	5	6	7	8
У1	0,2	0,1	0,9	0,4	-0,8	-0,3	Риск дренажа кислых стоков
У2	-7,9	-3,2	50,9	20,4	-58,9	-23,5	Значительный риск дренажа кислых стоков
У3	23,5	9,4	1,3	0,5	22,3	8,9	Отсутствие риска дренажа кислых стоков

На рисунке 1а показана динамика изменения величины рН водных вытяжек, полученных из отходов У1-У3 при разном времени обработки.



а



б

**Рисунок 1 - Динамика изменения показателей: а - pH водных вытяжек для отходов У1-У3, б - содержания серы для отхода У2**

На протяжении всего периода испытаний pH водных вытяжек из отходов У1 и У3 изменялся в диапазонах 6,1–6,6 и 7,0–7,8 ед. соответственно, а pH водной вытяжки отхода У2 в диапазоне от 3,6 до 4,1 ед. Кислый характер водных вытяжек из отхода У2 обусловлен высоким содержанием водорастворимой серы в полученных экстрактах (рис 1б). Содержание водорастворимой серы в отходе У2 имеет экстремальный характер: достигает максимума на 6-й неделе обработки (1,2%), после чего снижается и остается на уровне 0,6–0,7%.

Результаты кинетического теста подтверждают заключение о риске дренажа кислых стоков исследуемых отходов: на протяжении всего периода испытаний водные вытяжки из отхода с высоким содержанием общей серы имеют кислый характер, в то время как водные вытяжки из отходов с незначительным содержанием серы характеризуются как нейтральные. По всей видимости, такая закономерность определяется высокой мобильностью соединений серы: доля водорастворимой серы носит экстремальный характер, достигая максимума на 6-й неделе обработки (77%). Предположительно, в процессе длительной обработки отхода в условиях высокой влажности под действием кислорода воздуха происходит окисление серосодержащих минералов, что выражается в увеличении содержания водорастворимых форм серы на 6-й неделе и последовательном снижением общей серы после 9-й недели обработки.

Таким образом определение потенциала нейтрализации позволяет оценить риск образования кислых вод при длительном хранении отхода.

Работа выполнена в рамках Стратегического проекта «Технологии устойчивого развития» Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».

## Список литературы

1. Park I. et al. A review of recent strategies for acid mine drainage prevention and mine tailings recycling //Chemosphere. – 2019. – Т. 219. – С. 588-606.
2. Elghali A. et al. Prediction of acid mine drainage: Where we are? //Earth-Science Reviews. – 2023. – С. 104421.
3. Гущина Т.О., Соколовская Е.Е., Хао Цзе, Эпштейн С.А. Разработка отечественной методики оценки рисков образования кислых стоков при складировании и использовании отходов добычи и переработки углей. Горный журнал. 2021 г.
4. Гущина Т.О., Соколовская Е.Е., Эпштейн С.А., Фоменко Н.А. Отходы добычи и переработки углей. Методические подходы к оценке их экологической безопасности и направлений использования. Часть 4. Критерии оценки рисков дренажа кислых стоков при складировании и использовании отходов // ГИАБ. 2021. №4.
5. Хао Цзе, Кочеткова Е. М., Эпштейн С.А. Мобильность макро- и микроэлементов в отходах добычи углей // Химия твердого топлива. - 2023. - №4. - С. 64–72.

УДК 622.831.31

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ «ШУМА» РАБОТАЮЩЕГО ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА

Шадрин А.В.<sup>1</sup>, Шнайдер И.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФИЦ УУХ СО РАН (Институт угля),

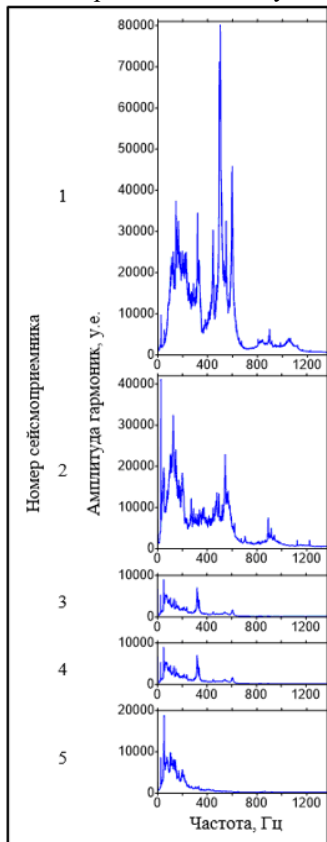
<sup>2</sup>ООО «Информационные горные технологии» (Ингортех)

На ударо- и выбросоопасных угольных пластах в соответствии с Федеральными нормативными документами осуществляется текущий прогноз динамических явлений (ДЯ) [1]. Одним из основных факторов опасности проявления ДЯ является горное давление [2]. Для его контроля применяются как инструментальные, так и геофизические методы. Из геофизических в последнее время наиболее широко для текущего прогноза как внезапных выбросов угля и газа, так и горных ударов применяется метод «по параметрам искусственного акустического сигнала» [1]. Наряду с этим методом, обоснован аналитически и готовится к экспериментальной проверке метод прогноза по медиане спектра «шума» [3].

Названные геофизические методы основаны на зависимости коэффициента затухания звука от горного давления и частоты спектральных составляющих [4, 5], которую можно описать следующим выражением:

$$\alpha_i = \alpha_0 + \beta_i \frac{f_i \sigma_{np}}{f_0 \sigma_m},$$

где  $\alpha_i$  и  $\alpha_0$  – соответственно затухание на  $i$ -ой и на самой низкой частоте рабочего диапазона геофона в отсутствии напряжений,  $\text{м}^{-1}$ ;  $\beta_i$  – параметр, который мы назвали динамическим коэффициентом затухания, определяемый свойствами массива,  $\text{м}^{-1}$ ;  $f_0$  – некоторое значение частоты из рабочей области геофона, Гц;  $\sigma_{np}$  и  $\sigma_m$  – средние соответственно предельное и текущие значения напряжений в массиве, Па.



**Рисунок 1 - Спектры «шума» проходческого комбайна, зарегистрированного сейсмоприемника 1-5**

Основываясь на данной закономерности, разработаны алгоритмы определения критерия выбросоопасности для различных вариантов исполнения методов прогноза, использующие спектральный анализ «шума» работающего оборудования [2, 3]. Таким образом, для применения данной закономерности в аналитических и экспериментальных исследованиях необходимо знать коэффициент затухания для отдельных спектральных составляющих «шума».

Очевидно, что рассчитать значения  $\alpha_0$  и  $\alpha_i$  чрезвычайно трудно или даже невозможно. Поэтому было решено оценить эти значения экспериментально на одной из шахт Кузбасса в соответствии со следующей методикой.

Для регистрации «шума» комбайна использовалась аппаратура «Микон-Гео». В борт выработки были установлены пять 3-координатных сейсмоприемников (далее - СМП) на расстоянии от забоя выработки соответственно 11; 21; 31; 47,7 и 57,7 м. Они регистрировали результат интерференции всех типов волн, излучаемых разрушаемым рабочим органом комбайна углем: продольной,

поперечной, каналовой и возникающих на границах угольного пласта и вмещающих пород поверхностных волн. После оцифровки сигналов, они подвергались быстрому преобразованию Фурье и рассчитывалось среднее квадратичное значение каждой гармоники от трех геофонов каждого СМП. Полученные спектры представлены на рис. 1.

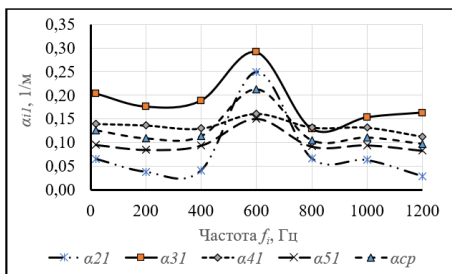
Из рисунка видны две особенности распространения «шума». Первая – ожидаемая – состоит в том, что с удалением СМП от забоя выработки высокочастотные гармоники затухают значительно быстрее низкочастотных.

Вторая особенность обусловлена разницей скоростей интерферирующих различных типов волн, вследствие чего амплитуда отдельных гармоник носит колебательный характер по мере удаления СМП от источника «шума». Поэтому затухание результирующей интерференционной волны оценивают эффективным коэффициентом затухания [6]. Его значения для гармоник на частотах 20; 200; 400; 600; 800; 1000 и 1200 Гц приведены на рис. 2 и рассчитывались по формуле [6]:

$$\alpha_{i1} = -\frac{\ln\left(\frac{A_i}{A_1}\right)}{r_{i1}}, \quad i \in [2; 5],$$

где  $\alpha_{i1}$  – эффективный коэффициент затухания на участке между 1-м и  $i$ -м СМП,  $m^{-1}$ ;  $A_1$  и  $A_i$  – соответственно амплитуды гармоник на 1-м и  $i$ -м СМП, у.е.;  $r_{i1}$  – расстояние между 1-м и  $i$ -м СМП, м.

Из рисунка видно, что коэффициент затухания одной и той же гармоники при удалении СМП от забоя выработки может изменяться в несколько раз. Для сглаживания этого эффекта рассчитали среднее значение коэффициента затухания  $\alpha_{cp}$  для гармоник на указанных частотах (см. рис.2).



**Рисунок 2 - Зависимость эффективного коэффициента затухания  $\alpha_{i1}$  гармоник «шума» частотой  $f_i$**

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект FWEZ-2021-0001 Создание многофункциональных систем мониторинга и прогноза газодинамических явлений, контроля напряженного состояния, разработка

*методов их предотвращения и оценки эффективности при подземной разработке угольных месторождений» (рег. № АААА-А21-121012290020-4).*

### **Список литературы**

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений». М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2021. Сер. 05. Вып. 49. - 128 с.

2. Шадрин А.В., Клишин В.И. Комбинация подсистем многофункциональной системы безопасности шахты для прогноза динамических явлений // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. Вып. 1. – С. 81-104.

3. Шадрин А.В. Алгоритмы определения критерия выбросоопасности для вариантов исполнения спектрально-акустического метода прогноза на основе анализа медианы амплитудно-частотной характеристики «шума» работающего оборудования / А.В. Шадрин, А.С. Телегуз // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2022, №2. – С. 5-16.

4. Ноздрев В.Ф. Молекулярная акустика. – М.: Высшая школа, 1974. – 288 с.

5. Новик Г.Я., Ржевская С.В. Физико-техническое обеспечение горного производства. – М.: Недра, 1995. – 256 с.

6. Азаров Н.Я., Яковлев Д.В. Сейсмоакустический метод прогноза горно-геологических условий эксплуатации угольных месторождений. – М.: Недра, 1999. - 199 с.

**УДК 622.33:547.992.2**

## **БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГУМАТОВ КАЛИЯ ОКИСЛЕННОГО КАМЕННОГО УГЛЯ КУЗБАССА**

**Шайхислам Г.,<sup>1</sup> Соловьев Т.М.,<sup>1</sup> Эпштейн С.А.,<sup>1</sup>  
Семина И.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*НИТУ МИСИС,*

<sup>2</sup>*Сибирский государственный индустриальный университет*

Гуминовые вещества (ГВ) широко применяются в сельском хозяйстве в качестве удобрений, стимуляторов роста растений, а также при проведении мелиоративных работ [1]. Эти вещества в основном выделяют из торфов и бурых углей с помощью щелочной экстракции [2]. Стоит отметить, что окисленные каменные угли также могут быть обогащены гуминовыми кислотами, которые образуются в процессе природного окисления органического вещества угля [3].



В настоящей работе проведена оценка биологической активности образцов гуматов калия (ГумК), выделенных из окисленного каменного угля разреза «Коксовый».

Для проведения испытания на биологическую активность были приготовлены растворы ГумК с содержанием гуминовых кислот 0,01% и 0,02%. Испытания проводили на семенах овса Виленского. Были рассмотрены варианты проращивания семян на фильтре и на ложе из прокаленного песка. Биологическую активность растворов ГумК оценивали по изменению показателей всхожести, длины главного корешка и стебля по сравнению с контрольным опытом (водный раствор и прокаленный песок). Все этапы испытания выполняли в соответствии с ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести».

Для формализации полученных результатов рассчитывали интегральный индекс фитоактивности (ИФ), который отражал отклонения показателей всхожести, средней длины главного корешка и стебля проростков от контроля (проращивания в воде) [4].

Результаты оценки биологической активности растворов ГумК представлены в таблице 1. Экспонирование семян на фильтре показало, что более высокая всхожесть и показатель ИФ наблюдается у семян, при использовании раствора с содержанием гуминовых кислот 0,01%. Раствор гуматов калия с содержанием гуминовых кислот 0,02% отрицательно влияет на рост семян, о чем свидетельствуют низкие показатели всхожести и средней длины главного корешка и стебля проростков по сравнению с контрольным опытом.

Таблица 1

**Результаты определения биологической активности растворов ГумК**

Образец	Всхожесть, %	Средняя длина корешка, см	Средняя длина стебля, см	ЭП	ДК	ВП	ИФ
Контрольный на фильтре	62	10,4	7,3	100	100	100	1,00
Гумат калия 0,01% на фильтре	68	9,3	7,5	109,7	89,4	102,7	1,01
Гумат калия 0,02% на фильтре	56	6,2	6,0	90,3	59,6	82,2	0,77
Контрольный на песке	82	10,9	9,7	100	100	100	1,00
Гумат калия 0,01% на песке	92	11,6	10,0	112,2	106,4	103,1	1,07

*Примечание:* ЭП – отклонение всхожести семян от контрольного опыта; ДК – отклонение длины главного корешка проростка от контрольного опыта;

ВП – отклонение длины стебля проростка от контрольного опыта; ИФ – индекс фитоактивности.

При проращивании семян на ложе из песка в целом получились более высокие значения по всем оцениваемым показателям, чем при испытании семян на фильтрах. Это скорее всего связано с тем, что семена проращивались в более благоприятных для роста условиях, в том числе из-за высокой влагоемкости песка.

Анализ полученных данных показал, что при применении раствора ГумК (0,01%) наблюдается увеличение всех показателей относительно контрольного опыта: всхожесть семян увеличилась на 12,2%, средняя длина главного корешка – на 6,4%, а средняя длина стеблей на 3,1%. При этом ИФ гумата составил 1,07.

Таким образом, показано, что увеличение концентрации гуминовых кислот в растворе гумата калия от 0,01% до 0,02% приводит к снижению всхожести, длины главного корешка и стебля семян как по сравнению с раствором гумата калия 0,01%, так и с контрольным значением. Использование 0,01% раствора гумата калия на песчаном субстрате позволяет существенно повысить биологическую активность.

#### Список литературы

1. Газизов Р.Р., Суханова И.М., Прищепенко Е.А., Биккинина Л.М.-Х., Дегтярева И.А., Ильясов М.М. Влияние бурого угля и глауконита на плодородие почвы и урожайность культур // Плодородие. – 2020. – № 6 (117). – С. 34-36. DOI:10.25680/S19948603.2020.117.10.

2. Шевченко Т.В., Новикова Я.А., Санников Ю.Н., Бердова К.А. Рекультивация земель с использованием окисленных углей // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-23. – С. 5100-5103.

3. Верещака Я., Пузински С., Кугларз К., Глуба И. Использование золы каменных углей для грунтового биологического слоя с целью рекультивации деградированных почв // Материалы III научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование». – 2010. – С. 72 – 75.

4. Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Вотолин К.С., Шпакодраев К.М., Исмагилов З. Р. Биологическая активность нативных и модифицированных гуминовых кислот // Химия твердого топлива. – 2020. – № 4. – С. 3-7 DOI: 10.31857/S002311772004009X.

*Работа выполнена в рамках Стратегического проекта «Технологии устойчивого развития» Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».*

# **ОБОСНОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ШТАБЕЛЯ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ НАМЫВА ПРИ ДАМБОВОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ**

**Вильмис А.Л., Салахов И.Н., Тухватуллин Б.Ф.**

*МГРИ-РГТУ*

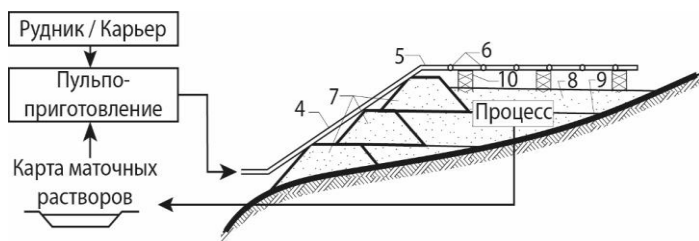
Метод дамбового выщелачивания предусматривает подготовку и размещение руды за специальной дамбой или плотиной, т. е. структурой, удерживающей руду.

Выщелачивание руды осуществляется с последовательным постепенным подъемом площадки вверх по склону. При этом, подавляющая часть руды остается в контакте с раствором выщелачивания. Продуктивный раствор после фильтрации через штабель собирается с помощью системы дренажных труб или траншей, часто с использованием перфорированных труб, ведущих к прудкам продуктивных растворов, в которых аккумулируются металлосодержащие растворы, вытекающие (просачивающиеся) из штабеля. После завершения процесса рудный материал остается на месте и рекультивируется таким же образом, как и отвалы пустых пород.

Применимость дамбового выщелачивания зависит от прочности руды и ее способности оставаться проницаемой под нагрузками после последовательной закладки новых ярусов. Основным преимуществом метода является применимость к крутым рельефам местности и его использование в широком разнообразии климатических условий.

Метод намыва штабеля кучного выщелачивания может применяться в условиях долинного, овражно-балочного и косогорного рельефа, когда перепад высотных отметок по контуру превышает высоту дамбы обвалования, она возводится не по всему периметру, а высота изменяется от максимально принятой отметки до нуля. При этом более предпочтительна схема намыва от плотины к верховью (откосам), но также возможно применение от верховья морфологической структуры к плотине.

Такой рельеф (рис. 1) позволяет осуществлять дамбовое выщелачивание, особенностью которого является подготовка к размещению рудной массы и сохранение раствора в пределах самого штабеля за вододерживающей плотиной. Выщелачивание при этом производится с последовательным подъемом площадки под основание штабеля вверх по склону. Причем она является ответственным гидротехническим сооружением, отвечающим всем требованиям, предъявляемым к вододерживающей плотине.



**Рисунок 1 - Схема дамбового выщелачивания**

Дамбовое выщелачивание предполагает сохранение раствора в пределах самого штабеля. При этом отвод растворов для переработки или рециркуляции может быть осуществлен путем откачки из отстойников или дренированием из более низких уровней в пределах штабеля. Продуктивный раствор после фильтрации через штабель собирается с помощью системы дренажных труб или траншей, ведущих к прудкам продуктивных растворов, в которых аккумулируются металлосодержащие растворы, просачивающиеся из штабеля.

Интенсивность технологического процесса обосновывается предлагаемыми вариантами подачи смеси к месторасположению массива штабеля. Гидротранспортные установки, в т.ч. загрузочные аппараты вихревого пульпоприготовления могут работать в двух технологических режимах.

Первый – предусматривает проведение процесса формирования штабеля на стадии подачи горной массы с реагентом в загрузочно-обменные емкости гидротранспортной установки в т.ч. с использованием закрученных кольцевых струй жидкости при пульпоприготовлении. При этом реагент загружают непосредственно в гидротранспортное устройство и процесс выщелачивания осуществляется при взаимодействии твердых частиц исходного материала с коаксиально-закрученными струями раствора реагента, значительно увеличивая массообмен между ними и образуя высоконасыщенную смесь (>30% по объему), которая за счет избыточного давления подается из аппарата в трубопровод и далее для намыва штабеля в фильтрационном режиме.

Таким образом, в системе загрузочный аппарат – транспортный трубопровод возникает высокотурбулентный режим перемешивания раствора с рудной массой, который увеличивает относительную поверхность контакта твердых частиц с раствором реагента и уменьшает толщину диффузионного слоя с определенным градиентом давления. Это позволяет ликвидировать лимитирующие пленки внешней диффузии и инициирует процессы внутренней диффузии в порах обрабатываемого материала, что значительно интенсифицирует процесс извлечения ценных компонентов.

В итоге, рудный материал находится в полном контакте с выщелачивающими растворами на всех стадиях, в высокотурбулентном вихреобразовании гидротранспортного аппарата, а также при напорном движении гидросмеси в трубопроводе, а за счет герметичности всей гидротранспортной системы – технологический процесс в ней экологически безопасен.

Второй вариант формирования штабеля для кучного выщелачивания гидротранспортными средствами – аналогичный процессу гидроотвалообразования, когда несущей средой твердого материала является напорный поток воды, образующий при выпуске намывной массив с последующей укладкой на его поверхности оросительных систем, которые могут быть точечными, капельными, с равномерным разбрызгиванием и прудковым смачиванием. Укладка оросителей может быть как открытой, так и закрытой.

Кроме того, нет необходимости в прокладке дополнительных систем орошения, а для подачи рабочих реагентов возможно использование ранее проложенных трубопроводов, с равномерной подачей их через выпускные патрубки.

При рассредоточенном гидронамыве штабеля он имеет все преимущества рыхлой структуры, но перед началом кучного выщелачивания необходимо, чтобы штабель дренировался в течение двух-пяти суток.

### **Список литературы**

1. Водолазов Л.И., Дробаденко В.П., Лобанов Д.П., Малухин Н.Г. Геотехнология. Кучное выщелачивание бедного минерального сырья // - М.: Изд. Московской геологоразведочной академии. -1999. -300 с.
2. Фазлуллин М.И. Кучное выщелачивание благородных металлов // - М.: Изд. Академии горных наук, 2001, -647 с.
3. Дробаденко В.П., Салахов И.Н. Обоснование технологии сооружения штабелей кучного выщелачивания методом намыва гидротранспортными установками // Недропользование XXI век. 2022. №2. С. 22-29.
4. Аренс В.Ж., Артушкевич В.А., Фазлуллин М.И., Хчеян Г.Х., Шумилова Л.В. Технологии скважинного и кучного выщелачивания металлов // - М.: Дом НИТУ «МИСиС», 2018. - 280 с.

## **РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ СОЗДАНИЯ КОНВЕРГЕНТНЫХ ГОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

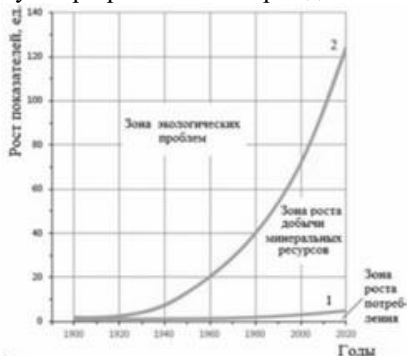
**Галченко Ю.П.**

*ИПКОН РАН*

### Общие положения

Получение полезных ископаемых является сегодня и в обозримом будущем безальтернативной необходимостью для самого факта существования

ния нашей цивилизации. Масштаб возникающих при этом фундаментальных задач определяется тем, что основной объем вещества, применяемого для построения всех элементов антропосферы, сегодня и в обозримом будущем будет почти полностью добываться из литосферы нашей планеты путем разработки месторождений полезных ископаемых (рис.1).



**Рисунок 1 - Рост  
населения (1)  
и недропользования (2)**

Поэтому формирование и реализация новой идеологии технологического развития при освоении недр не только позволит кардинально изменить текущую экологическую ситуацию, но и сохранит свое значение в средней и дальней перспективе[1].

#### Методические подходы

В современном мире возможности успешного преодоления нарастающих проблем и противоречий связывают исключительно с концепцией устойчивого развития (**sustainable development**), которая объединяет в себе фундаментальные принципы физики, биологии и морали в области регламентации взаимодействия Человека и Природы. [2, 3]. Это требует актуализации принципиально новых механизмов обеспечения как технологической безопасности, так, и сохранения природы на основе экологизированной технологической парадигмы недропользования.

В самом общем виде содержание понятия парадигмы принято трактовать как образец, закон, теорию, сумму формализованных операций или способов, нацеленных на достижение определенного результата. Это означает, что применительно к проблемам минерально-сырьевого комплекса таким результатом (или целью) можно считать обоснование путей преодоления экологического кризиса в этой области знаний и хозяйственной деятельности.

Привлечение к решению этих проблем методов структурно-функционального анализа позволяет выявить характеристики новой технологической парадигмы развития минерально-сырьевого комплекса,

как сложной открытой системы, в которой взаимосвязаны следующие три элемента: биологический, технико-экономический и управленческий. В соответствии с основными положениями теории когнитивного резонанса [4], структура этого сложного экологического объекта формируется как новое решение, возникающее при встраивании биогенной информации в существующую систему знаний о геотехнологии.

### Результаты исследований

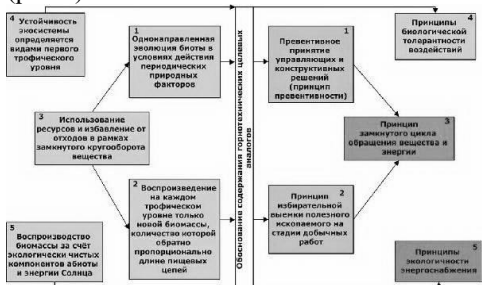
Для количественной и качественной оценки эффективности функционирования биологических систем созданы необходимые критерии и методы их определения [5]. Однако возможность применения этих показателей и подходов для оценки функционирования технических систем требует специального обоснования. Для количественной оценки интенсивности изменения продуцированной на каждом трофическом уровне биомассы принято использовать текущий показатель экологической эффективности. Сумма показателей всех трофических уровней определяет величину общей экологической эффективности системы. В системе освоения недр исходное вещество литосферы также превращается в конечный продукт хозяйственного использования, проходя несколько уровней своего изменения (технологических уровней) (рис. 2).



**Рисунок 2 - Пирамида вещества и энергии при разработке месторождений**

Концепции построения сложных функциональных систем из несовместимых по конечным целям элементов базируются на иерархической теории потребностей. Генеральная цель развития всей природно-технической системы может быть достигнута только в том случае, если зоны приоритетов каждого из элементов (Природного и Технического) развиваются параллельно и независимо по своим внутренним законам. Такое взаимодействие можно определить, как «...параллельное неразрушающее развитие...» или «коэволюция» [3]. Исходя из этого, все современные и перспективные технологии и процессы несложно разделить на две группы: имеющие прямые аналоги в живой природе и не имеющие таковых. Во втором случае, применительно к проблемам минерально-

сырьевого комплекса, можно говорить о создании технических систем с новыми качествами за счет функционального сближения (конвергенции) их с системами биологическими, которые уже обладают этими качествами. Согласно классической теории и основным теоремам подобия, такая форма переноса информации предусматривает возможность изменения «масштабного» фактора при полном сохранении идентичности процесса или явления [6]. Отсюда следует очевидная возможность построения принципиально нового типа горных технологий, в которых антропогенные процессы взаимодействуют между собой в биоподобной функциональной структуре, то есть конвергентных горных технологий (рис.3).



**Рисунок 3 - Принципы формирования конвергентной горной технологии**

### Заключение

Предлагаемые принципы формируют новый облик горной технологии для добычи полезного ископаемого, возникающий в результате гомеостатической трансформации в техносферу законов функционирования биологических систем. Тогда функциональная структура горнотехнической системы разработки месторождения, соответствующей характер обращения вещества в биологических системах, а условия взаимодействия компонентов всей природно-технической системы освоения ресурсов участка недр, обеспечивают сохранение устойчивости её природной составляющей, при соблюдении требований к энергосбережению горных работ.

Одновременная реализация всех биогенных принципов позволит структурировать во времени и пространстве процесс получения полезных ископаемых в полном соответствии с ограничениями экологического императива и устойчивого развития.

### **Список литературы**

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Геоэкология освоения недр и экогeотехнология разработки месторождений. — М.: Научтехлитиздат, 2015. - 360 с.
2. Маевская Р. Технологическая сингулярность [электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://notes2>



3. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Природоподобная геотехнология комплексного освоения недр: проблемы и перспективы. — М.: Научтехлитиздат, 2020. — 368 с.

4. Седов Л.И. Теория подобия и размерностей в механике. — М.: Наука, 1987. — 432 с.

5. Бауэр Э.С. Теоретическая биология. — М.;Л.: Изд-во ВИЭМ, 1935. — 206 с.

6. Акаев А.А. Учение В.И. Вернадского и Н.Н. Моисеева о ноосфере, коэволюции человека и биосферы — императив эпохи // Партнерство цивилизаций. — 2013. — № 1–2. — С. 90–111.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПАССИВНОЙ АМПЛИТУДНОЙ ЛОКАЦИИ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ПОМОЩИ МАЛОАПЕРТУРНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ**

**Икреников М.С.<sup>1,2</sup>, Варганов А.З.<sup>2</sup>, Нефедов С.И.<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>ИПКОН РАН, <sup>2</sup>МИЭМ НИУ ВШЭ*

Сейсмические волны – это волны, которые переносят энергию механических колебаний в Земной коре. Источники сейсмических волн имеют различную природу как техногенную (проезд автотранспорта, работа промышленных установок, взрывные и строительные работы), так естественную (землетрясения, грозовой фронт). В упругой среде присутствуют неоднородности, на которых происходит отражения, преломления и преобразование типов волн, распространяющихся внутри и по границам раздела сред [1].

В настоящей работе разработан алгоритм выявления и определение положения микросейсмических событий на небольшом удалении от датчиков и разделение с макросейсмическими событиями от удалённых источников. Для решения данной проблемы предлагается использовать малоапертурную сейсмическую антенну, состоящую из группы близко-расположенных датчиков, расположенных по заданной геометрии.

Система построена на определённых допущениях, связанных с ограничениями исследуемых сигналов по скорости и частоте. Благодаря этим допущениям производится совместная обработка сигнала на уровне антенны и решается задача обнаружения и определение положения источника возмущений. Также значительно упрощается задача синхронизации и сбора данных по сравнению с классической разнесённой системой.

В земной коре волны с высокой частотой затухают быстрее чем с низкой, этим обусловлен интерес к спектру сигнала в диапазоне низких частот. Благодаря исследованию только низких частот по теореме

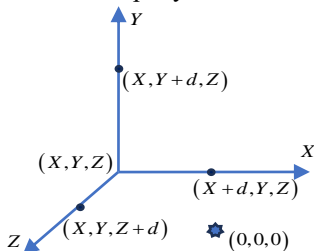
Котельникова можно применять небольшую частоту дискретизации (не менее чем в два раза больше чем максимальная частота в спектре сигнала), а соответственно и большой шаг дискретизации (величина обратно пропорциональна частоте). Медленные изменения в амплитуде сигнала приводят к тому, что значения, измеренные в близко расположенных точках схожи. Сильные изменения будут связаны только с большим изменением пути распространения от источников до датчиков, для отдалённых источников эти изменения пути не существенны.

Волны в твёрдой среде имеют разную скорость и путь распространения в результате чего, образуется задержка для разных типов волн, как следствие детектор регистрирует разнонаправленный – многолучевой сигнал, который состоит из суперпозиции сейсмической **P**-волн, **S**-волн, волн Рэлея и головных волн, а также их отражений и переломлений. Для разнесённой системы датчиков это приводит к фиксации волн на датчиках в разные моменты времени, в то время как для предлагаемой сейсмической антенны измерения на всех датчиках будут в одном временном створе, что позволяет не строить множество гипотез чтобы соотнести измерения.

При расчете максимального расстояния  $D$  можно пренебречь влиянием скорости распространения  $V_{min}$  (минимальная скорость волны из исследуемых), если считать, что изменение на долю  $\alpha$  длины волны  $\lambda_{min}$  максимальной частоты в исследованном спектре **S** не приводят к существенным изменениям показателей (исходя из фактора скорости распространения волны в среде).

$$\begin{cases} D = \lambda_{min} \alpha \\ \lambda_{min} = \frac{v_{min}}{S} \end{cases} \quad (1)$$

Предлагаемая сейсмическая антенна состоит из четырёх сейсмоприёмников. Три станции располагаются относительно одной по декартовым координатам на расстоянии  $d \leq D$ . Расположение станций показана схематично на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Относительное положение станций и источника возмущений**

Источник возмущений расположен в начале координат. Сейсмо - станция 0 находится в координатах  $(X, Y, Z)$ . Станции 1, 2, 3 располагаются в координатах  $(X + d, Y, Z)$ ,  $(X, Y + d, Z)$ ,  $(X, Y, Z + d)$ , соответственно. Каждый раз для источника шума определяется координаты станций относительно него, соответственно можно вычислить координаты источника относительно одной из станций.

Основой метода является известная зависимость амплитуды  $A$  измеренного сейсмического колебания от его мощности  $W$  и расстоянием  $R$  между источником и датчиком [1], приведенная в уравнении 2.

$$A = \frac{k\sqrt{W}}{R^n}$$

$k$  – постоянная величина, определяемая свойствами среды,

$n$  – эффективный коэффициент затухания сейсмических и сейсмоакустических волн в среде.

Из-за близкого расположения датчиков предполагается, что условия распространения волн схожи, поэтому коэффициент  $n = const$ . Среда неоднородна и анизотропна с нелинейными потерями, но для близко-расположенных датчиков путь распространения примерно одинаковый, таким образом, принятая амплитуда описывается по формуле 2, где варьируя параметры  $n$  и  $k$ .

Исходя из этих формул можно составить систему уравнений 3:

$$\begin{cases} A_0 = \frac{k\sqrt{W}}{R_0^n} = \frac{k\sqrt{W}}{(\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2})^n} \\ A_1 = \frac{k\sqrt{W}}{R_1^n} = \frac{k\sqrt{W}}{(\sqrt{(X+d)^2 + Y^2 + Z^2})^n} \\ A_2 = \frac{k\sqrt{W}}{R_2^n} = \frac{k\sqrt{W}}{(\sqrt{X^2 + (Y+d)^2 + Z^2})^n} \\ A_3 = \frac{k\sqrt{W}}{R_3^n} = \frac{k\sqrt{W}}{(\sqrt{X^2 + Y^2 + (Z+d)^2})^n} \end{cases}$$

Решение системы уравнений позволяет однозначно определить положение источника колебаний в пространстве относительно датчиков.

Таким образом, использование малоапертурной сейсмической антенны позволяет различать макросейсмические события от микросейсмических событий, что упрощает задачу синхронизации и сбора данных. Преимуществом такого решения является возможность установки сейсмостанции в более зашумлённой области, поскольку система способна отличать помеховые микросейсмические колебания от макросейсмических удалённых событий.

## Список литературы

1. Сергеев С. И., Санина И. А., Королёв С. А., Волосов С. Г. Раннее обнаружение сейсмической активности в районах проведения горных работ с использованием малоапертурных сейсмических антенн // ГИАБ. 2017. №10.

2. Syten'ky V.D., 2012. Determination of coordinates of seismic wave source by amplitude method of passive location. Geodynamics & Tectonophysics 3 (4), 4.

УДК 550.837

## ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗЛОМНОЙ ЗОНЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО ДОНБАССА МЕТОДАМИ ГЛУБИННОЙ ГЕОЭЛЕКТРИКИ

Николаев И.Ю., Шалованов О.Л., Грицаенко А.Ю.

*ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк*

Расположение месторождений полезных ископаемых контролируются региональными структурами – крупными разломами в земной коре и их зонами. Для антиклинальных структур в условиях Донбасса характерна локализация эндогенного оруденения [1]. Здесь зоны глубинных разломов оказали существенное влияние на пространственное размещение гидротермальных рудных полезных ископаемых [2]. Ртутная, сурьмяно-ртутная и золотополиметаллическая минерализация приурочены к Центрально-Донецкому продольному глубинному разлому, вдоль Главной антиклинали. Для Донбасса характерно наличие как продольных, так и поперечных глубинных разломов [2]. К поперечным можно отнести Волновахско-Чернухинский глубинный разлом [1] (Донецко-Кадиевский по [2]) вдоль которого в пределах Донецко-Макеевского района расположены тектонические структуры северо-восточного простирания – это Ветковская, Чайкинская, Калиновская, Ясиновско-Ждановская флексуры.

В углепородном массиве Донецко-Макеевского района, по мере приближения к крупным разрывным нарушениям, фиксируется достаточно большая концентрация метана [3], что представляет собой опасность при отработке угольного месторождения. Авторами [4] установлено, что из глубинных разломов, по крупным и мелко амплитудным разрывным нарушениям к земной поверхности мигрируют метано-водяные смеси (флюиды сложного состава, обогащенные гелием и водородом) и газоносность пород Донецкого бассейна на современном этапе развития продолжает формироваться за счет дополнительных глубинных флюидопотоков как метаморфогенного (глубокие горизонты Донецкого складчатого сооружения и Кальмиус-Торецкой котловины), так и абиогенного (глубинные разломы, в частности, Донецко-Кадиевский) происхождения. В результате происходит перераспределение углеводородных газов в угольно-породном массиве, формируется высокая газонасыщен-

ность вплоть до газовых скоплений и мелких месторождений на флексуры и куполоподобных складках, в зонах мелкоамплитудной нарушенности.

Своевременная детальная локализация разломных структур с поверхности и их картирование является актуальной задачей для обеспечения безопасности ведения горных работ, решение которой возможно при применении современных методов электроразведки [5].

Для определения характеристик глубинного геоэлектрического разреза Донецко-Макеевского района и его окрестностей были проанализированы результаты геоэлектрических исследований методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ) прошлых лет и проведены электроразведочные работы методом аудиомантителлурического (АМТЗ) зондирования в зоне влияния поперечного Волновахско-Чернухинского глубинного разлома.

Возможность использования методов электроразведки для поисков глубинных разломов Донбасса обуславливается резким понижением удельного электросопротивления до 0,5 Ом·м из-за наличия флюидов, возникших при активизации и частичном плавлении в интервале глубин 20–25 км [7]. Аномальные скопления газа в осадочной толще характеризуются повышением значений удельного электросопротивления [5, 6].

Профиль АМТЗ начинается на Украинском щите, пересекает девонские отложения и выходит в направлении Донецка параллельно Александровской антиклинали и сопряженной с запада Еленовской синклинали вдоль Волновахско-Стахановского поперечного вала, который определяется [1] как контролируемая Волновахско-Чернухинским разломом область распространения складок, ориентированных поперечно основным складчатым структурам Донецкого бассейна.

Эффективные кривые МТЗ по пунктам наблюдений, находящимся в достаточном удалении от зоны влияния Волновахско-Чернухинского глубинного разлома, демонстрируют характер изменения геоэлектрических характеристик для Донбасса – увеличение сопротивления с глубиной, появление проводника на определенных глубинах и выход на уровень глобальной кривой ГМТЗ. Выделяются проводящие тела на периодах зондирования 2 и 6 с. Кривая МТЗ по пункту наблюдений, который располагается в районе Ясиноватско-Ждановской флексуры, контролируемой Волновахско-Чернухинским глубинным разломом, демонстрирует аномально низкие значения электросопротивления, в левой своей части фиксируя наличие проводника. Правая часть кривой также фиксирует аномально низкоомный характер разреза.

Геоэлектрический разрез по линии профиля АМТЗ можно условно разделить на три части, с юга на север. Первая, от пункта 1 до пункта 4 – высокоомная часть. Она характеризует Украинский щит (пункт 1),

девонские образования (пункт 2), отложения нижнего карбона (пункт 3). Граница между Приазовским блоком и Донбассом на этом разрезе не выделяется. Для второй части разреза, от пункта 4 до пункта 8, характерно наличие как высокоомных, так и низкоомных областей, имеющих субвертикальное расположение. Северная часть разреза, пункты 9 и 10, – это низкоомная область с высокоомными включениями. В общем случае, как низкоомные, так и высокоомные области в верхней части разреза имеют связь с нижней его частью. Исключение составляет низкоомная область в верхней части разреза в районе пункта 3, который находится на участке распространения нижнекаменноугольных отложений. Отмечается наличие низко- и высокоомных включений по разрезу, начиная с пункта 2, на уровне глубин до 1000 м. В целом, можно сказать, что результаты АМТЗ демонстрируют геоэлектрическое строение района зоны сочленения Приазовского блока и Донбасса (высокоомная часть) и южного склона Донецкого складчатого сооружения (низкоомная часть) в зоне влияния Волновахско-Чернухинского глубинного разлома.

По результатам геоэлектрических исследований АМТЗ определены участки профиля и области изменения геоэлектрических характеристик по простиранию и глубине, которые могут свидетельствовать о происходящих изменениях флюидного режима, о наличии газо- или водонасыщенных трещиноватых зон. В пределах складчатого Донбасса в зоне влияния Волновахско-Чернухинского глубинного разлома разрез характеризуется общим низкоомным характером с высокоомными вставками.

### Список литературы

1. Крисак О.С., Попов Ю.В. Волновахско-Стахановский поперечный вал в структуре Донецкого бассейна // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа: Коллективная монография по материалам XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2021)». Том XI. Москва: Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, 2021. С. 100–104.

2. Доленко Г.Н., Варичев С.А., Колодий В.В. Разломная тектоника и нефтегазоносность Украины. К.: Наук. думка, 1989. 116 с.

3. Иванов Л.А., Туманов В.В., Савченко А.В., Шалованов О.А., Донченко Э.В., Салий С.Г. Особенности поля шахты «Калиновская Восточная», определяющие условия экспериментальных геофизических исследований // Труды РАНИМИ: сб. науч. тр. Донецк, 2023. № 20–21 (35–36). С. 79–86.

4. Анциферов А.В., Канин В.А., Голубев А.А., Галемский П.В. Данные о глубинных подтоках флюидов, формирующих современную газоносность пород Донбасса // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2014. №14. С. 384-398.

5. Анциферов А.В., Иванов Л.А., Туманов В.В., Савченко А.В., Анциферов В.А. Использование электромагнитного зондирования для оценки состояния подработанного углепородного массива // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2021. Т. 8, № 1. С. 15–19.

6. Туманов В.В., Иванов Л.А., Савченко А.В., Мартынов Г.П., Донченко Э.В., Салий С.Г., Ершова Г.А. Об использовании метода АМТЗ для выявления скоплений метана на угольных месторождениях // *Труды РАНИМИ*. 2021. № 12–13 (27–28). С. 85–100.

7. Гордиенко В.В., Тарасов В.М. Современная активизация и изотопия гелия территории Украины. К.: Знання, 2001. 100 с.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СРЕДСТВ АППАРАТНОЙ ПОДДЕРЖКИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

**Нефедов С.И.<sup>1,2</sup>, Рожин А.К.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>НИУ ВШЭ, <sup>2</sup>ИПКОН РАН*

Внедрение технологий искусственного интеллекта стало в последнее время неотъемлемой частью процессов цифровой трансформации различных отраслей промышленности. Горные предприятия не являются исключением. В случаях, когда не удается обеспечить строгого математического решения прикладной задачи пытаются найти решение в виде описания процесса с помощью EML модели искусственного интеллекта [1-3]. Однако программные технологии, которые традиционно понимаются под искусственным интеллектом в среде отечественного инвестиционного и IT-бизнеса на самом деле затрагивают лишь малый пласт понятия искусственный интеллект. Основной и драйвером развития которого на ближайшие 10...20 лет будут являться технологии аппаратной поддержки.

Под аппаратной поддержкой технологий искусственного интеллекта понимается специализированное и адаптированное под нейрокомпьютерные вычисления промышленное вычислительное оборудование. На сегодня искусственный интеллект работает либо на универсальных высокопроизводительных серверах, либо на графических ускорителях, построенных на графических процессорах GPU производства компании Nvidia. Однако развитие сложности моделей и задач, которые решаются методами искусственного интеллекта уже сейчас отчетливо рисует барьер применению этих технологий на перспективу 5...10 лет без перехода на новые вычислительные архитектуры.

Новым направлением в сфере искусственного интеллекта будет являться развитие технологий нейропроцессоров, так называемых NPU. Внутри данного класса процессорных технологий можно устойчиво

выделить тензорные и нейроморфные процессоры. И одни и другие на сегодняшний день находятся на начальной стадии создания продуктов на их основе. Однако уже сейчас можно прогнозировать на горизонте 5...10 лет активное внедрение их в сфере компьютерных технологий в виде процессоров для применения в аппаратуре, в виде ускорителей для работы в составе персональных вычислительных средств и серверов, в виде ускорителей стоечного исполнения для работы в составе корпоративных систем хранения данных, а также в виде специализированного оборудования для создания специализированных дата-центров, предназначенных для организации вычислений по технологии искусственного интеллекта в виде услуги. Все перечисленные уровни технологии будут использоваться в том числе и в горной промышленности.

В первую очередь можно прогнозировать на первом этапе внедрения этих технологий появление специализированного программного обеспечения, позволяющего эффективно выполнять модели, разработанные для универсальных или графических процессоров на новых тензорных системах, а на втором этапе потребует доработку вычислительных систем и корпоративных систем хранения и обработки данных путем внедрения в них специализированных нейрокомпьютерных ускорителей стоечного исполнения.

Следует отметить, что уже сейчас искусственный интеллект с точки зрения применяемой для него аппаратной поддержки подразделяется на так называемые системы LargeAI и системы EdgeAI. Системы LargeAI – это системы, предназначенные для работы либо крупных облачных хранилищ данных, либо в локальном серверном оборудовании. Данные системы, с точки зрения горного дела будут находить применения в системах поддержки принятия решений, в системах управления предприятиями для решения сложных задач диагностики, предсказания и анализа данных. Системы EdgeAI – это процессорные системы, встраиваемые непосредственно в аппаратуру. Уже сейчас системы такого класса могут находить применение в аппаратных системах, реализующих алгоритмы технического зрения, высокоточного измерения и оценивания параметров, предиктивной аналитики и поддержки принятия решения в масштабе роботизированной системы и объекта автоматического и автоматизированного управления.

Таким образом, в ближайшее время можно ожидать активного внедрения технологий аппаратной поддержки искусственного интеллекта в современных технических системах, внедряемых на предприятиях горнодобывающего комплекса.



## Список литературы

1. Аброськин А.С., Применение современных систем автоматизации на открытых горных работах // Известия ТПУ. 2015. №12.
2. Шамаев С.Д. Применение методов искусственного интеллекта при обработке и интерпретации данных геофизических методов // Известия УГГУ. 2022.
3. Хисамов Р.С., Бачков А.П., Войтович С.Е., Грунис Е.Г., Алексеев Р.А. Искусственный интеллект — важный инструмент современного геолога // Геология нефти и газа. – 2021. – №2. – С. 37–45. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-2-37-45.

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДОПОДОБНОГО ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ**

**Конарева Т.Г.**

*ИГД ДВО РАН, г. Хабаровск*

В настоящее время горнодобывающая промышленность является одним из основных источников загрязнения окружающей среды. При переработке руд образуется большое количество отходов (породы внутренней вскрыши, забалансовые руды, хвосты обогащения, кеки цианирования и др.), которые содержат полезный компонент. Запасы металлов в таких техногенных образованиях зачастую сравнимы с их запасами в кондиционных рудах крупных полиметаллических месторождений. Так как запасы высококачественного сырья ограничены и быстро истощаются, то вовлечение в переработку техногенного сырья могло бы способствовать оздоровлению экологической обстановки и существенному расширению сырьевой базы цветной металлургии. Вместе с тем, поскольку такие техногенные отходы и руды, оставленные в неотработанных участках карьерных и рудничных полей имеют, как правило, сложный вещественный состав, низкое содержание ценных компонентов и сложные формы их нахождения, то вовлечение в эксплуатацию таких объектов требует использование не стандартных эффективных и экологически безопасных технологий. При этом наиболее целесообразно использовать технологии, обеспечивающие извлечение из такого сырья ценных компонентов на месте его складирования или залегания.

Мировая практика разработки медно-порфировых месторождений и месторождений медистых песчаников показывает, что использование сочетания традиционных и физико-химических геотехнологий обеспечивает максимальный экономический результат и минимизацию экологического ущерба.

Особенностью месторождений, разрабатываемых в ДФО, является концентрирование ценных металлов внутри рудных минералов-носителей в форме инкапсулированных включений, кластеров и отдельных атомов, что предопределяет упорность руд как для обогащения, так и последующего гидрометаллургического передела и приводят к значительным потерям металла в хвостах и кеках. Тем более сложно извлечь металлы таких форм нахождения при использовании физико-химических геотехнологий - кучного и подземного выщелачивания.

Одной из возможных технологий доизвлечения металлов из упорных руд и вторичной переработки техногенных отходов, является преобразование сульфидных и сульфосольных минералов, а также вещественно-структурной трансформации продуктивной алюмосиликатной минеральной матрицы растворами, содержащими активные гидратированные формы кислорода. Кислород является наиболее универсальным и доступным окислителем в природных и технологических процессах. Обычная, 2-х атомарная форма кислорода в природных системах окисляет минеральные вещества за относительно продолжительный период времени - порядка нескольких десятилетий. Катализ и биокатализ, повышение концентрации может существенно ускорить процесс окисления минерального вещества. Кроме того, перевод 2-х атомарного кислорода в его более активные формы - атомарную и озон, также позволяет осуществлять окисление в существенно более короткие интервалы времени. Поэтому наряду с прогрессивными технологиями автоклавного и бактериального окисления руд и концентратов, практическое применение может найти и технология их окисления так называемыми активными формами кислорода и сопутствующим ему пероксидно-гидроксидным комплексом.

Использование озона и сопутствующих ему высокоактивных окислителей, с целью последующего озонирования пульп и выщелачивающих растворов было предложено еще в работах чл.-корр. АН СССР И.Н.Плаксина, несколько позже и американских исследователей D.J.Sheiner, R.E.Lindstrom, затем W.P. Van Antwerp, Ph.A.Lincoln, японским специалистом Omasa. Однако, не смотря на высокий уровень извлечения металлов, достигнутый при использовании озона и сопутствующих ему соединений, вследствие интенсивного окисления минеральных матриц, технические сложности и высокие энергозатраты не позволили этому методу найти широкое применение в горнорудной промышленности. Поскольку и озон, и атомарный кислород в растворах переходят в гидратированную форму, в которой они себя проявляют как окислители, то формирование растворов с активными формами кислорода может осуществляться не только их барботажем газами, но и прямым синтезом в

водной среде посредством электрохимических, фотохимических процессов, введением в нее реагента Фентона и комбинацией этих процессов.

В ИГД ДВО РАН проводятся исследования процессов перколяционного выщелачивания меди, серебра и золота из медно-порфировых руд Малмыжского месторождения. В частности, исследовалась возможность веществено-структурной трансформации окисленных руд и предокисления смешанных (частично окисленных первичных) забалансовых и первичных медно-порфировых руд активированными сернокислотными растворами для подготовки к перколяционному выщелачиванию. Отличительной особенностью подготовки таких растворов является формирование в них гидратированных гидроксил-радикалов с использованием реакции Фентона в инновационном варианте:  $2\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{K} = 2(\text{Fe}^{2+} + \text{H}^+) + 2\text{OH}^* + 2\text{OH}^- + \text{K}$ , где К - катализирующий компонент. Необходимость использования катализирующего компонента в реактиве Фентона была обусловлена его низкой эффективностью для процесса предокисления при подготовке руд к выщелачиванию. Следует отметить, что в предлагаемом варианте подготовки активного раствора вместо обычной перекиси водорода могут быть использованы перекисные соединения, синтезированные при электрохимической обработке исходного сернокислотного раствора.

В результате лабораторных исследований получены положительные результаты, позволяющие считать, что этот метод предокисления может быть использован в системах кучного и подземного выщелачивания меди и др. металлов и сопутствующих сложноизвлекаемых форм золота из бедных руд. На основе этих исследований разработаны способы непосредственного выщелачивания металлов из упорных руд с использованием рабочих растворов, прошедших предварительную обработку для формирования в них высокоактивных окислителей - активных форм кислорода. Показана возможность эффективной переработки забалансовых смешанных и первичных руд Малмыжского месторождения с высоким кремниевым модулем методом стадийного выщелачивания с активационным предокислением.

### Список литературы

1. Секисов А.Г., Рассказова А.В., Конарева Т.Г. Комбинированные геотехнологические схемы освоения золотосодержащих техногенных минеральных образований // ГИАБ. 2023. №12-2. С. 116-128.

2. Способ выщелачивания золота и меди из упорной бедной золотомедной руды / А.Г. Секисов, А.В. Рассказова, Т.Г. Конарева // Патент РФ 2764275, 17.01.2022.

3. Секисов А.Г., Рассказова А.В., Конарева Т.Г. Реагентные комплексы и их применение при извлечении золота из сложных природных образований // Золотодобывающая промышленность. 2022. №2 (110). С. 24-27.

5. Секисов А.Г., Лавров А.Ю., Рубцов Ю.И., Рассказова А.В., Конарева Т.Г. Физико-химические геотехнологии освоения месторождений дальневосточного федерального округа. Чита, 2021.

6. Способ извлечения благородных металлов из растворов и пульпы и реактор для его осуществления / А.Г. Секисов, С.А. Мазуркевич // Патент РФ 2251582, 10.07.2003.

**УДК 622**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ БУРОГО УГЛЯ ПОСЛЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ОЗОНОМ**

**Кондратьев Н.Н., Андреева Ю.Е., Эпштейн С.А., Коссович Е.Л.**

*НИТУ МИСИС*

Окисление углей в природных и техногенных условиях оказывает негативное влияние на качество углей и угольной продукции и повышает риски их самовозгорания. Низкотемпературное окисление углей сопровождается изменением их структуры, что проявляется (по данным, полученным методами ИК-Фурье и  $^{13}\text{C}$  ЯМР) в частичном преобразовании углеводородных соединений на поверхности угольного вещества, в том числе в активные кислородсодержащие группы [1-3]. В НИТУ МИСИС разработана и используется методика оценки склонности углей к самовозгоранию, основанная на определении химической активности углей по озону [4,5]. Использование озона как окислителя позволяет проводить соответствующие эксперименты при комнатных температурах за сравнительно короткое время [6]. Разработанная в [4] кинетическая модель взаимодействия углей с озоном позволила выявить центры разных типов на поверхности угля, а также оценить влияние этих центров на процессы сорбции и окисления. В работах [5,7] показано, что соотношение активности центров разных типов определяет температурный интервал самовозгорания углей и интенсивность тепловыделения при низкотемпературном окислении. В настоящей работе показана возможность использования Рамановской спектроскопии для оценки изменения структуры углей в процессах взаимодействия с озоном. Для этого были использованы пробы бурых углей, отобранные от разных пластов Харанорского месторождения. Обработку углей озоном проводили на экспериментальной установке [4], которая состоит из генератора озона (ГС-024-1М), хемилюминесцентного газоанализатора (3.02П-А) фирмы АО «Оптэк», реактора и специализированного программного обеспечения. Представительную пробу бурого угля массой 1 г крупностью менее

0,2 мм обрабатывают озоном по методике, описанной в статье [4], при концентрации озона 350 мкг/м<sup>3</sup> на входе в реактор.

Исследование структуры органического вещества углей до и после взаимодействия с озоном проводили с использованием Рамановской спектроскопии. Для этого был использован Рамановский спектрометр EnSpectr R532 (ООО «ФОТОН-БИО»), который монтируется в виде приставки к оптическому микроскопу отраженного света Olympus BX51. Спектрометр оснащен универсальным зеленым лазером с длиной волны 532 нм с разрешением 4 см<sup>-1</sup>. Измерения проводили на поверхности обработанных озоном и исходных измельченных углей при комнатной температуре. Для каждого образца угля было проведено не менее 30 измерений. Спектры для каждого угля обрабатывали для получения средних сглаженных спектров в диапазоне комбинационного сдвига 1000-1800 см<sup>-1</sup>.

Деконволюцию спектров проводили в соответствии с моделью [8] на 7 полос: *SL* – летучие углеводородные соединения, полиены; *D* – дефекты графитовой решетки; *VR* – метильные группы; *VL* – метиленовые группы; *GR* – «аморфный» углерод, ароматика с менее чем пятью кольцами; *G* – идеальные графитовые структуры; *G2* – неупорядоченные графитовые структуры.

В таблице 1 приведены результаты обработки спектров. Для всех исследованных углей отмечено отсутствие полосы *VR*, отнесенной к метильным группам. Показано, что максимальной величиной структурного показателя *S*, отражающего соотношение аморфных и кристаллитных форм соединений углерода в органическом веществе, характеризуется уголь №2, а минимальным – уголь №3. Это указывает на то, что бурые угли Харанорского месторождения, отобранные от разных пластов, различаются по структуре органического вещества.

Таблица 1

### Результаты обработки Рамановских спектров углей

Параметры разложения	Количественные значения параметров обработки спектров углей:					
	№1		№2		№3	
	исходный	после обработки озоном	исходный	после обработки озоном	исходный	после обработки озоном
1	2	3	4	5	6	7
<i>X SL</i>	1277	1271	1268	1262	1261	1257
<i>A SL</i>	49662	15061	34529	27667	20907	13435
<i>X D</i>	1366	1356	1360	1352	1355	1360

продолжение таблицы 1

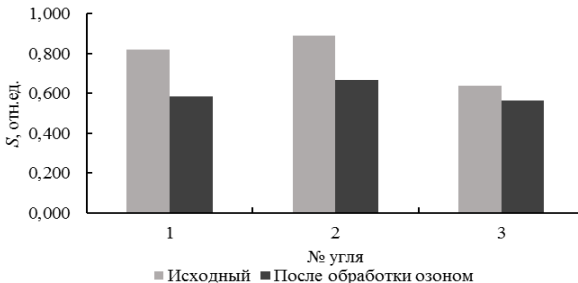
1	2	3	4	5	6	7
<i>A D</i>	60078	38025	43492	53986	35664	57523
<i>X VL</i>	1468	1463	1446	1443	1433	1521
<i>A VL</i>	14148	8463	14656	14112	9118	13380
<i>X GR</i>	1537	1541	1532	1532	1524	1563
<i>A GR</i>	19973	10642	20091	17969	12352	13829
<i>X G</i>	1574	1580	1574	1572	1569	1595
<i>A G</i>	23172	11636	20427	19328	16348	10589
<i>X G2</i>	1606	1612	1607	1604	1604	1621
<i>A G2</i>	18715	8916	14067	16064	14477	4040
<i>S</i>	0.822	0.583	0.888	0.668	0.637	0.563

Примечания к таблице:

- 1) *X* – точное положение соответствующего пика (см<sup>-1</sup>);
- 2) *A* – площадь соответствующего пика (отн.ед.);
- 3) *S* – отношение суммы площадей пиков, отнесенных к аморфному углероду, к сумме площадей пиков, отнесенных к кристаллитной форме углерода (отн.ед.).

После взаимодействия с озоном для всех трех образцов углей выявлено уменьшение площади полосы *SL*, отнесенной к летучим углеводородным соединениям. Это хорошо согласуется с данными, приведенными авторами [1-3], о трансформации углеводородных соединений на поверхности углей при окислении.

На рисунке 1 показаны результаты расчета показателя *S* (соотношение между аморфными и кристаллитными формами соединения углерода в углях) после их взаимодействия с озоном.



**Рисунок 1 - Результаты оценки структурного показателя *S* для углей до и после взаимодействия с озоном**

После взаимодействия углей с озоном отмечено увеличение доли кристаллитных форм соединений углерода в органическом веществе. При этом, степень изменения показателя  $S$  не является одинаковой для всех исследованных углей (см. рисунок 1): минимальное изменение показателя  $S$  выявлено для угля №3, характеризующегося наименьшей долей аморфных форм соединений углерода среди рассмотренных образцов, а максимальное – для углей №1 и №2. Полученные результаты указывают на то, что угли, характеризующиеся более высоким содержанием аморфных форм соединений углерода в органическом веществе, претерпевают более глубокие превращения при взаимодействии с озоном.

Работа выполнена в рамках Стратегического проекта «Технологии устойчивого развития» Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».

### Список литературы

1. Huang J., Tan B., Gao L., Fan L., ... Qi Q. Study on the evolution characteristics of molecular surface active sites of low-rank coal in low-temperature oxidation stage // *Energy*. 2024. - Vol. 294. - P. 130850. DOI: 10.1016/j.energy.2024.130850.

2. Li H., Xu C., Ni G., Lu J., ... Ye Q. Spectroscopic (FTIR,  $^1\text{H}$  NMR) and SEM investigation of physicochemical structure changes of coal subjected to microwave-assisted oxidant stimulation // *Fuel*. 2022. - Vol. 317. - P. 123473. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.123473.

3. Fredericks P.M., Warbrooke P., Wilson M.A. Chemical changes during natural oxidation of a high volatile bituminous coal // *Organic Geochemistry*. Pergamon, 1983. - Vol. 5. - № 3. - P. 89–97. DOI: 10.1016/0146-6380(83)90019-0.

4. Kaminskii V., Kossovich E., Epshtein S.A., Obvintseva L., Nesterova V. Activity of coals of different rank to ozone // *AIMS Energy*. 2017. - Vol. 5. - № 6. - P. 960–973. DOI: 10.3934/energy.2017.6.960.

5. Коссович Е.Л. Теоретическое и экспериментальное обоснование кристаллитных показателей для прогноза пылеобразования при разрушении углей и их склонности к самовозгоранию // Дисс.на соискание уч.степени д.т.н. – Москва, 2024.

6. Обвинцева Л. А., Сухарева И.П., Эпштейн С.А., Добрякова Н.Н., Аветисов А.К. Взаимодействие углей с озоном при низких концентрация // *Химия твердого топлива*. 2017, № 3, С. 25–30.

7. Epshtein S., Gavrilova D., Kossovich E., Nesterova V., ... Fedorov S. Technologies of coatings employment for coals oxidation resistance improvement // *AIMS Energy*. 2019. - Vol. 7. - № 1. - P. 20–30. DOI: 10.3934/energy.2019.1.20.

8. Kossovich E., Epshtein S., Krasilova V., Hao J., Minin M. Effects of coals microscale structural features on their mechanical properties, propensity to crushing

## **О СТРАТЕГИИ ОСВОЕНИЯ РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ**

**Кузьмин М.Б.<sup>1</sup>, Красавин А.Г.<sup>1</sup>, Рыжова Л.П.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>ИПКОН РАН, <sup>2</sup>РГГРУ*

Конкурентная борьба за месторождения стратегического сырья, в том числе редкоземельных металлов (РЗМ) проходит и будет проходить на конкурентной основе, где сталкиваются интересы не только физических объектов и их стоимость, как считают эксперты ВИМС (1), а перспективные технологии, закладывающие научные основы разработки с целевым назначением, в том числе РЗМ, отвечающих за этапы развития современных индустрий. Темпы роста потребления РЗМ на сегодняшний день в 3-5 раз опережают темпы роста потребления черных и цветных металлов. Если в начале 1990 годов мировой объем производства редких металлов оценивался в 40 тыс. т, то в настоящее время мировой объем производства редких металлов достигает примерно 180 тыс. т.

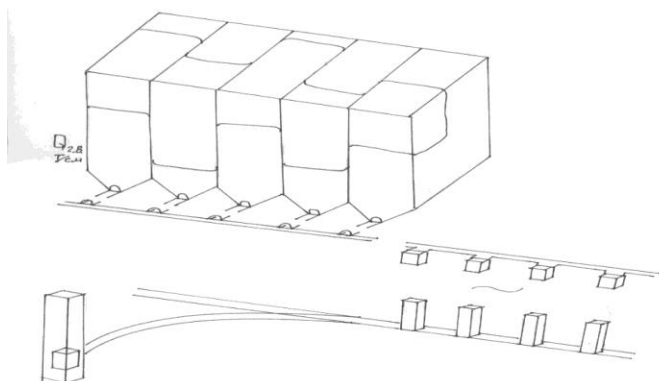
В этой связи системный анализ информации, касающейся включенности стратегий наукоемких цифровых геотехнологий научно-технического потенциала прогрессивных систем разработки месторождений с торцевым выпуском руды является важным, а ключевым звеном в многомерном информационном поле руднометаллических месторождений является геолого-технологическое картирование и мобильность самоходного оборудования.

Так, например, картирование участков месторождения для развития технологий и техники в ВПК, аэрокосмических и телекоммуникационных системах, связи и других высоких технологий, что может быть проявлено, как в многозабойных, так и в цифровых геотехнологиях панели, где сортность руд и виды металлов создаются с их целевым назначением. Это обеспечивается мобильностью самоходного технологического оборудования в программах стратегического партнерства, где используются рудоспуски – магазины (рисунок), открывающие пути новым перспективным направлениям инновационного развития уникальных свойств георесурсов, в том числе РЗМ, являющихся основой для развития техники и технологий, которые указывают на долгосрочные перспективы (2) как в современных индустриях передовых стран мирового сообщества, так и нашей страны.

На рисунке показан фрагмент участка редкометаллического месторождения с информационным потоком сортности редких металлов, базирую-



щийся на системе подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды, где самоходное оборудование позволяет производить многовариантную добычу полезных ископаемых путем использования технологических схем добычи по сортам и видам металлов на рудоспуски (магазины).



Научно-технический прогресс промышленно развитых стран в XXI веке напрямую связан с георесурсами, которые определяют перспективы в минерально-сырьевой политике (3), открывая таким образом пути использования геопотенциала руднометаллических месторождений разумной достаточности (4), что является подтверждением нового этапа комплексного освоения недр.

Еще одним прогрессивным научно-техническим шагом, где эффективность использования геометризации будет способствовать развитию технологий, разрабатывается в ГЕОХИ РАН (5), использующих газово-жидкие включения в своих исследованиях минерального сырья.

В исследованиях, связанных с определением научно-технических потенциалов разработки редких и редкоземельных месторождений, как с использованием методов геометризации, так и с применением прогрессивных систем разработки, отмечаются определенные комбинаторные возможности получения целого ряда видов металлов на разрабатываемом горизонте.

Отмечая перспективы научно-технического потенциала освоения редкоземельных месторождений с использованием геолого-технологического картирования и построение моделей рудных залежей позволит уточнить содержание и особенности распределения редкоземельной минерализации и возможности ее подготовки к промышленному освоению.

#### Список литературы

1. Информационный интернет бюллетень Природные ресурсы. - №180 – (01 марта-04 апреля 2018 г.) – С. 94.

2. Редкие металлы на мировом рынке.// М.6 Издательство ИМГРЭ. Металлы, имеющие собственные месторождения. – 2008. – Книга 1.

3. Кузьмин М.Б., Красавин А.Г., Рыжова Л.П. Инновационная технология геометризации подземной разработки с применением самоходного оборудования. // Маркшейдерия и недропользование. – 2010. - №4 – С. 22-29.

4. Козловский Е.А. Минерально-сырьевые ресурсы в экономике мира и России. Проблемы стратегического исследования недр России. // Известия вузов. Геология и разведка. – 2015. - №2 – С.52-59.

5. Трубецкой К.Н. Изучение и освоение недр в свете современного содержания горных наук. // Маркшейдерия и недропользование. – 2002. - №2 – С. 4-7.

6. Наумов В.Б., Дорофеева В.А., Миронова О.Ф. Физико-химические параметры формирования гидротермальных месторождений по данным исследования флюидных включений. V. Месторождения сурьмы, мышьяка и ртути. // Геохимия. – 2018. – С.869-882.

**УДК 622.693**

## **ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГРЕМЯЧИНСКОГО РУДНИКА С ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СХемой ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ЗАКЛАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА**

**Яковлев И.В.**

*ИПКОН РАН*

В условиях глобального увеличения спроса на калийные удобрения, вызванного ростом объемов сельскохозяйственного производства, возникает необходимость в разработке новых высокоэффективных технологий ведения горных работ. Это особенно актуально для глубокозалегающих калийных месторождений, где сложные горно-геологические условия добычи создают новые повышенные риски возникновения и развития аварий в ходе их эксплуатации [1]. Гремячинское месторождение калийных солей характеризуется не только высоким горным давлением и его газодинамическими проявлениями, но и особыми вызовами, связанными с управлением состоянием массива горных пород.

Проведённые в ИПКОН РАН исследования по обоснованию способа и технологии закладки выработанного пространства в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях ведения горных работ на Гремячинском месторождении калийно-магниевого солей показали, что использование гидравлической закладки в специфических условиях месторождения связано с риском деградации междукамерных и барьерных целиков, пучению пород, ослаблению кровли, изменению температурных

условий и влажности рудничной атмосферы под влиянием рассолов. В связи с этим были проведены исследования по разработке альтернативной технологии закладки выработанного пространства с формированием монолитного консолидированного закладочного массива [2], что обуславливает необходимость совершенствования логистической схемы подземного рудника, особенно в части доставки закладочных материалов и приготовления смеси с её размещением в выработанном пространстве. Формирование консолидированного монолитного твердеющего закладочного массива на основе солейотходов в условиях Гремячинского месторождения возможно только при контролируемом уровне влагоотдачи смеси. Поэтому параметр влажности смеси при формировании массива должен оставаться на уровне 8%.

Для обоснования логистической схемы закладки были проведены исследования по определению оптимальной схемы транспортирования, включающей: поддержание установившегося ламинарного движения смеси на протяжении всей транспортной трассы, оценка производительности транспортной схемы, оценка её надежности, выявление возможных рисков, связанных с нарушением режима транспортирования. В ходе проведения опытно-промышленных испытаний было установлено, что реологические характеристики предложенной смеси для формирования консолидированного закладочного массива необходимо применение высокопроизводительных насосов типа PULLMASTER. Кроме того, производится оценка технологии дезинтеграции и перемешивания соляных пород, подача их по трубопроводному транспорту в выработанное пространство.

В качестве альтернативы традиционному гидравлическому способу закладки выработанного пространства предложены два способа транспортирования и формирования закладочного массива: сухой механизированный (циклический) и гидромеханизированный. Для обоих методов необходима модернизация существующей логистической схемы ГОКа, так как при первоначальном проектировании не учитывалась необходимость исключения контакта массива пород с растворами солей при формировании закладочного массива.

Технологическое различие между механизированным и гидромеханизированным способами заключается в последовательности обработки смеси на всех этапах транспортировки (табл.1). Так, при гидромеханизированном способе доставки закладочная смесь транспортируется в виде пульпы, где основным средством обезвоживания служат гидроциклоны, расположенные в подземных условиях. При этом рассолы транспортируются вместе со смесью и удаляются только при формировании закладочного массива до установленного уровня влагоотдачи.

Таблица 1

**Основные технологические характеристики механизированного и гидромеханизированного способов транспортирования закладочного материала**

Параметр	Механизированный способ	Гидромеханизированный способ
Тип транспортировки	Сухой (конвейерный, погрузочный)	Жидкостной (гидротранспорт)
Расстояние транспортировки	До 11,5 км в восточном и западном направлении	До 13 км при полном заполнении пульпопроводов
Оборудование	Конвейеры, погрузчики, бульдозеры, дробильно-сортировочные установки	Насосные станции, трубопроводы высокого давления (до 12 МПа)
Условия для осушения	Использование вакуум-фильтров и сушилок (на поверхности)	Осушение в подземных камерах с центрифугами
Сложность инфраструктуры	Требуется строительство и реконструкция конвейерных сетей и оборудования на поверхности и под землей	Требуется строительство новых трубопроводов и насосных станций

При сухом механизированном способе закладочная смесь, находясь в сухом виде, транспортируется конвейерами и погрузочно-доставочным оборудованием. Она обрабатывается отдельно доставляемым рассолом через оросительные форсунки в процессе формирования массива до достижения границы влагоотдачи и требуемой влажности не более 8%.

Таким образом, оба метода имеют свои особенности и технологические требования, зависящие от типа оборудования и последовательности операций. Контроль влажности на границе влагоотдачи является общим элементом для обоих способов и играет ключевую роль в обеспечении безопасности ведения работ и устойчивости закладочного массива в условиях Гремячинского месторождения. Однако, механизированный способ предпочтителен для более сухих и мелких солеотходов, хотя требует значительных вложений в наземную инфраструктуру и специализированное оборудование, тогда как гидромеханизированный способ более экономичен в условиях больших расстояний транспортирования (более 10 км) и требует проведения значительных работ по обоснованию оптимального оборудования требуемой конфигурации для наиболее эффективного распределения пульпы по закладочный выработкам.

Результаты сравнительного анализа указывают на необходимость дополнительных исследований технологических возможностей обоих способов транспортирования для определения оптимальной логистической схемы Гремячинского рудника.

## Список литературы

1. Проблемы освоения крупнейших калийных месторождений мира. Журнал Современные проблемы науки и образования. – 2012.
2. Отчет о НИР «Обоснование и выбор вида, способа и технологии закладки выработанного пространства в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях ведения горных работ на Гремячинском месторождении калийно-магниевых солей (промежуточный, этап 2)» / рук. М.В. Рыльникова. – Москва: ИПКОН РАН, 2022. – 92 с.

**УДК 622.232**

## **ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ОСНОВА СОЗДАНИЯ ОБЛИКА ПОДЗЕМНЫХ РОБОТОВ ДЛЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

**Радченко Д.Н., Федотенко Н.А.**

*ИПКОН РАН*

Устойчивое развитие горнотехнических систем как объектов, созданных в недрах и предназначенных для обеспечения общества георесурсами неопределенно долго предусматривает своевременную подготовку рудника к переходу на эксплуатацию ресурсов земных недр в условиях больших глубин и сопряженных с ними экстремальными условиями [1-3]. Поэтому современные технологии и материалы играют все более важную роль в добыче полезных ископаемых на больших глубинах. Однако, работа в горных условиях всегда сопряжена с определенными рисками для человека, как правило, увеличивающимися с глубиной разработки на месторождениях твердых полезных ископаемых. В связи с этим, все большее внимание в мире уделяется разработке подземных роботов, способных заменить человека при проходке тоннелей, обследовании подземных природных и техногенных пустот, извлечению полезного ископаемого и т.п. По-видимому, ключевое значение в проектировании облика таких роботов будут иметь природоподобные технологии, позволяя таким машинам эффективно функционировать в условиях подземных рудников. Данное утверждение базируется на положении, что все роботы для работы в других природных экстремальных средах созданы по образу существ (или растений, природных тел и т.п.), пребывание которых в этих средах не связано со снижением функциональных возможностей, а напротив, обеспечивает преимущество пребывания и эффективной жизнедеятельности, либо нахождения и развития. Примером реализации является форма, цвет, структура, материалы и механическая устойчивость оборудования для работы в воздухе,

космосе, в условиях морских глубин, повышенных температур, радиации и других.

Для достижения поставленной цели исследователи [4-7] обращают внимание на природные механизмы и структуры, которые могут быть использованы в конструкции подземных роботов. Например, биологические организмы, такие как кроты, муравьи или черви, обладают уникальными способностями передвижения и проникновения в грунт. Использование подобных природных принципов позволяет создать роботов, способных эффективно работать в сложных условиях шахт и рудников, что позволит им эффективно передвигаться в подземном пространстве. Также, природоподобные технологии могут использоваться для создания защитных механизмов, способных обеспечить безопасность роботов в условиях высокого давления и температуры, обрушения грунта, затопления и загазованности подземного пространства.

Использование природоподобных технологий для проектирования облика подземных роботов является перспективным направлением развития промышленности добычи полезных ископаемых. Эти технологии позволяют создать эффективные и устойчивые решения для работы в условиях подземных рудников.

Роботы, созданные на основе природоподобных принципов, могут значительно увеличить производительность горных работ и снизить риск для человека. Благодаря своей подвижности и надежности, подземные роботы могут осуществлять добычу полезных ископаемых в условиях, недоступных для человека.

На данный момент в горнодобывающей отрасли роботизация оборудования преимущественно заключается в оснащении известных буровых, крепежных, погрузочно-доставочных машин, автосамосвалов и конвейеров различными датчиками. Однако, до настоящего времени нет роботов, работающих автономно в литосфере в целях добычи полезных ископаемых в силу ряда объективных причин.

Актуальность темы исследований связана с реальным внедрением автономных природоподобных роботов во все сферы жизни (космос, океанические глубины, атмосфера и т.п.). Одной из главных задач является формулировка перечня требований к созданию роботизированных комплексов для работы машин под землей в условиях, несовместимых с пребыванием человека в подземном пространстве (горные удары, обрушения горных пород, стрельания, сверхглубины с высокими температурами, давлением флюидов и атмосферным давлением, загазованность, радиация, ядовитые газы и т.п.).

Ведение горных работ в столь экстремальных условиях с высокими рисками возможно путем создания в границах горнотехнической системы техносферы, базирующейся на технологиях, воспроизводящих системы

и процессы живой природы в виде технологических процессов, интегрированных в литосферу [6]. Таким образом, основываясь на законах природы и воплощая их в геотехнологиях и технике возможно создание инновационных решений для ответов на глобальные вызовы при создании природоподобных технологий.

Например, интересен опыт разработки робота-копателя на биологической основе под названием «Mole-bot», который имитирует биологическую структуру и поведение крота для разведки ресурсов на Земле и других планетах.

Для создания бурового робота-крота ученые из The Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) использовали физиологические особенности строения африканского и европейского кротов. Первая особенность, это устройство зубов крота обеспечивающее усилие копания в 48 раз превышающее вес их тела, вторая - после копания робот удаляет извлеченный грунт и мусор с помощью передних конечностей за собой, что не препятствует основной работе по выемке грунта. Встроенная функция мышц, имитирующая лопатку европейского крота, преобразует линейное движение в мощное вращательное усилие. При направленном бурении удлиненная талия робота меняет направление движения на  $360^\circ$ , как у живых млекопитающих. В отличие от обычных процессов бурения, крот-бот может уменьшить разрушение подземного пространства, экономит затраты на рабочую силу, не требует дополнительных трубопроводов для подачи воды, воздуха, или другого вспомогательного оборудования [7].

В последнее время значительное внимание уделяется исследованию природных материалов, поверхностей и покрытий, как прототипа для создания новых веществ и структур в области техники. Тот факт, что различные виды животных и организмов пережили самые суровые условия, путем многогранной эволюции, развили кожу и поверхность для выполнения широкого спектра действий, вдохновляет инженеров на создание или имитацию подобных материалов [8]. Исследуя особенности передвижения таких животных, как рептилии, гусеницы, дождевые черви, гусеничные черви и морские звезды, ученые научились использовать данные принципы пластичности при изготовлении высокодеформируемых и «мягких» материалов в робототехнике. Эти материалы позволяют роботам выполнять широкий спектр операций, включая ползание, плавание, полет и передвижение, а также позволяют выполнять такие функции, как контролируемое сцепление (захват), механическая анизотропия, газообмен, термоконтроль и т.д.

Изучение структуры, форм чешуек рептилий и механизма их передвижения позволили создать прототип робота с «мягким» ползающим механизмом - «роботизированную змею». К преимуществам «мягкого»

робота с змееподобными чешуйками относят износостойкость, защиту от серьезных повреждений. В отличие от традиционных жестких и металлических роботов, «мягкие технологии» обеспечивают гибкое взаимодействие с непредсказуемыми или динамическими средами. В перспективе такие универсальные «мягкие» роботы могут использоваться в сложных условиях недр для разведки, мониторинга, в поисково-спасательных операциях.

В последнее время изучение роботов, способных зарываться в гранулированные сыпучие среды, вызывает растущий интерес из-за их широкого спектра потенциальных применений, например: поисково-спасательные работы и добыча полезных ископаемых, изучение биологических организмов и упругости почв, исследование морского дна, подземных и внеземных сред и мониторинг загрязняющих веществ. Коллективом ученых-инженеров разработан робот, способный автономно передвигаться в толще сыпучего материала, проталкивая себя вперед с помощью двух конечностей, напоминающих плавники черепахи.

Основной задачей исследования при проектировании облика подземных роботов для добычи полезных ископаемых на больших глубинах является обоснование требований к созданию роботизированного и дистанционно управляемого оборудования в зависимости от условий эксплуатации, вида и состояния технологической среды и негативного воздействия.

Природоподобные технологии, как основа для проектирования облика подземных роботов для добычи полезных ископаемых представляют собой важное направление развития горной промышленности, в частности, горного машиностроения. Использование таких технологий позволяет снизить риск аварий в ходе пребывания человека в подземных условиях и увеличить эффективность горных работ. Подземные роботы, инспирированные природоподобными технологиями, становятся незаменимыми помощниками при работе на больших глубинах, где условия для человека являются слишком опасными. Таким образом, развитие природоподобных технологий в горной отрасли имеет большое значение и потенциал для улучшения условий труда и безопасности работников.

### Список литературы

1. Захаров В.Н., Каплунов Д.Р., Федотенко В.С. Принципы и направления цифровизации горнотехнических систем комплексного освоения недр // Горный журнал. 2023. № 2. С. 4-8. DOI 10.17580/gzh.2023.02.01.
2. Каплунов Д.Р., Федотенко В.С. Устойчивое развитие горнотехнических систем как переход от добычи полезных ископаемых к освоению георесурсов и сохранению недр // Горный журнал. 2021. № 8. С. 4-7.



3. Kaplunov D., Rylnikova M., Radchenko D. The new wave of technological innovations for sustainable development of geotechnical systems. E3S Web of Conferences, Khabarovsk, 25–27 сентября 2018 года. Vol. 56. P. 04002. – DOI 10.1051/e3sconf/20185604002.

4. CAI M F, XUE D L, REN F H. Current status and development strategy of metal mines [J]. Chinese Journal of Engineering, 2019, 41(4): 417–426.

5. Ковальчук М.В., Нарайкин О.С., Яцишина Е.Б. Природоподобные технологии: новые возможности и новые вызовы // Вестник РАН. 2019. Т. 89. С. 455-465.

6. M. Cai, P. Li, W. Tan et al. Key Engineering Technologies to Achieve Green, Intelligent, and Sustainable Development of Deep Metal Mines in China. Engineering. 2021; 7: 1513-1517. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.07.010>.

7. Mole-bot: Development of bio-inspired embedded directional drilling robot. – 2020 [Electronic resource]. URL: <https://kmatrix.kaist.ac.kr/mole-bot-development-of-bio-inspired-embedded-directional-drilling-robot/> (date of application: 01.05.2024).

8. Meng, Y.; Xu, J.; Jin, Z.; Prakash, B.; Hu, Y. A review of recent advances in tribology. Friction 2020, 8, 221–300. <https://doi.org/10.1007/S40544-020-0367-2>.

9. W. Zhang, R. Huang, J. Xiang et al. Recent advances in bio-inspired geotechnics: From burrowing strategy to underground structures. Gondwana Research. 2024; 130: 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.12.018>.

10. Chopra, S., Vasile, D., Jadhav, S., Tolley, M.T. and Gravish, N. (2023), Toward Robotic Sensing and Swimming in Granular Environments using Underactuated Appendages. Adv. Intell. Syst., 5: 2200404. <https://doi.org/10.1002/aisy.202200404>.

**УДК 622.34**

## **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ РАНЕЕ НЕДОСТУПНЫХ РЕСУРСОВ НЕДР ЗЕМЛИ**

**Бондаренко А.А.**

*ИПКОН РАН*

Практика освоения недр земли и добычи полезных ископаемых насчитывает многолетнюю историю, что свидетельствует о постепенном истощении запасов полезных ископаемых на небольших глубинах, в то время как добыча минеральных ресурсов продолжается все глубже в недра земли. В настоящее время добыча полезных ископаемых на глубине 1000 м является стандартной для многих рудников; глубина угольных шахт достигает 1500 м, глубина геотермальной эксплуатации дости-

гает более 5000 м, глубина шахт по добыче цветных металлов достигает около 4500 м, а глубина разработки нефти и газа достигла около 7500 м. Добыча полезных ископаемых на больших глубинах в скором будущем станет классической практикой освоения недр. Так, добыча угля в Польше, Германии, Великобритании, Японии и Франции достигала глубины более 1000 м уже в 1980-х годах, а в Китае в настоящее время насчитывается 47 угольных шахт глубиной более 1000 м [1-3].

Изменение минерально-сырьевой базы диктует мировому сообществу искать пути повышения производительности горных предприятий и наращивание объемов добычи полезных ископаемых. В связи с этим, одним из устойчивых трендов изменения минерально-сырьевой базы страны будет развитие и внедрение новых технологий и оборудования, позволяющих осуществлять добычу полезных ископаемых на больших глубинах без участия человека. Это может быть автоматизация и роботизация горных работ, использование дистанционного управления и мониторинга, применение беспилотных технологий и дронов для исследования и контроля состояния горных выработок.

Так, при освоении месторождений на основе внедрения новых технологий на базе роботизации и автоматизации горных работ предложен подход, направленный на создание в горнотехнических системах микроклиматических зон, характеризующихся особыми, заданными и управляемыми параметрами рудника в зависимости от глубины разработки, агрессивности среды подземного пространства, температуры массива, факта и частоты присутствия человека в зонах ведения работ [4].

Так, при комбинированной геотехнологии разделение горнотехнических систем на зоны осуществляется в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождений. При значительной глубине перехода с открытых горных работ на подземные, зонами ЗЕРА будут нижние отметки карьера, относящиеся к труднопроветриваемым [5]. При отсутствии людей в зонах нижней отметки карьера параметры вентиляции могут быть различными и ограничиваются только условиями функционирования горнотранспортного оборудования. Вышележащие горизонты карьера, на которых сохранены транспортные коммуникации относятся ко второй экологической зоне - пребывания человека в горнотехнической системе в целях ведения вспомогательных работ и обслуживания машин и механизмов. Третий тип зоны пребывания человека – это комфортные условия выполнения работ по контролю автоматизированных систем управления горными работами. Такие работы предполагается выполнять в офисных

зданиях и даже в помещениях, значительно удаленных от места ведения горных работ.

Однако при переходе на большие глубины при подземном способе добычи полезных ископаемых так и не раскрыты вопросы в части необходимых требований безопасности, определяющих доступ и нахождение горнорабочих, техники и средств обеспечения бесперебойной работы рудника при нахождении в безлюдной зоне и зонах с частичным пребыванием человека.

В тоже время, ряд ученых в своих трудах выдвинули теорию о том, что существует некий предел возможной глубины добычи полезных ископаемых, равной 6000 метров, основанный на применении существующих средств механизации для освоения недр [6-7]. Важно отметить, что для реализации увеличения глубины отработки полезных ископаемых за пределы 6000 метров необходимо внедрять новые технологии добычи полезных ископаемых, мониторинга подземного пространства и т.д.

Актуальной задачей в настоящее время можно определить как поиск и разработка новых технологии добычи полезных ископаемых для выявления и освоения ранее недоступных ресурсов с целью удовлетворения растущего мирового спроса. Поэтому добыча на больших глубинах в условиях не безопасных для нахождения горнорабочих и экстремальных для горного оборудования и техники требует новых подходов к извлечению полезных ископаемых.

### Список литературы

1. Kuikui Hou, Mingde Zhu, Yingjie Hao, Yantian Yin, Long An. Stability analysis and evaluation of surrounding rock of ultra-deep shaft under complicated geological conditions // *Front. Earth Sci.* 11:1216667. 2023. doi: 10.3389/feart.2023.1216667
2. Xie H, Gao F, Ju Y, Gao M, Zhang R, Gao Y, et al. Quantitative definition and investigation of deep mining. *J China Coal Soc* 2015;40(1):1–10. Chinese.
3. Xie H. Research framework and anticipated results of deep rock mechanics and mining theory. *Adv Eng Sci* 2017;49(2):1–16. Chinese.
4. G. Nikolakopoulos, T. Gustafsson, P.E. Martinsson, U. Andersson. A vision of zero entry production areas in mines. *IFAC-PapersOnLine* 48-17 (2015) 066-068
5. Радченко Д.Н. Изменение экологических параметров горнотехнических систем и условий труда при применении роботизированных горно-транспортных комплексов // В сборнике: Комбинированная геотехнология: ресурсосбережение и энергоэффективность IX международная конференция. 2017. С. 157-160.
6. Xie H, Gao F, Ju Y, Ge S, Wang G, Zhang R, et al. Theoretical and technological conception of the fluidization mining for deep coal resources. *J China Coal Soc* 2017;42(3):547–56. Chinese

7. Xie H, Ju Y, Gao F, Gao M, Zhang R. Groundbreaking theoretical and technical conceptualization of fluidized mining of deep underground solid mineral resources. *Tunn Undergr Sp Tech* 2017;67:68–70.

**УДК 622.2**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ**

**Смирнов А.С., Андреева Ю.Е., Коссович Е.Л., Эпштейн С.А.**

*НИТУ МИСИС, НИИЛ «Физико-химии угля»*

Ежегодно увеличиваются темпы и объемы добычи ископаемых углей, что свою очередь влечет за собой увеличение объема отвалообразования. Для снижения количества отходов добычи и переработки углей необходимо использовать их как вторичное сырье (например, в дорожном строительстве, для рекультивации техногенно нарушенных земель и т.д.), но для этого требуется оперативно полученная информация не только об их физико-механических свойствах, но и об их минеральном составе и о содержании в них органического углерода [1]. Зачастую на предприятиях отсутствуют экспресс-методы исследования состава горных пород, которые являются источниками складированных отходов добычи и переработки углей. Наличие органического углерода не только накладывает определённые ограничения на использование отходов как вторичных ресурсов (в том числе материалов для дорожного строительства и рекультивации), но также может свидетельствовать о величине потерь угля при его добыче и обогащении [1].

Другой немаловажной проблемой является высокое содержание минеральных компонентов в углях. Зачастую угли содержат в себе до 30-40% минеральных компонентов, которые существенно снижают качество угольной продукции за счет уменьшения ее теплотворной способности, невозможности использования для коксования, а также в связи с образованием большого количества золы [2]. Для повышения качества таких углей их подвергают процессам обогащения [2]. Форма, размеры, состав и свойства минеральных компонентов (включений) в углях зачастую оказывают значительное влияние на процесс обогащения и его результаты [2]. Для поиска оптимальной процедуры обогащения добытых углей традиционно проводят анализ минеральных включений в них на основе петрографического метода (оптической микроскопии) по ГОСТ Р 55662-2013 «Методы петрографического анализа углей. Часть 3. Метод определения мацерального состава». Однако

данный метод является во многом субъективным, т.к. минеральные включения определяют в отраженном свете с сухим объективом (в воздухе) по показателю отражения, высоте микрорельефа, цвету и форме залегания, без стандартизованных признаков отнесения к тем или иным минералам. Поэтому все чаще возникает необходимость разработки дополнительных методов, позволяющих в рамках петрографического анализа надежно идентифицировать состав минеральных включений и, следовательно, служить инструментом для надежного планирования процесса обогащения этих углей.

В связи с этим, актуальным является разработка метода экспресс-диагностики состава и свойств углеродсодержащих материалов, в том числе углей, минеральных включений в углях, а также вскрышных пород угольных месторождений. В данной работе был предложен метод спектроскопии комбинационного рассеяния ввиду наличия в нем существенных преимуществ по сравнению с конкурирующими методами (такими как РФА, XRD, ИК спектроскопия, рентгеноспектральный микроанализ, ИСП-МС). К таким преимуществам относятся: экспрессность, возможность создания баз эталонных спектров, нетребовательность к условиям съёмки образцов, простая пробоподготовка и т.п.

Для построения базы эталонных Рамановских спектров минералов, которая позволила бы однозначно идентифицировать состав вскрышных и вмещающих пород, а также минеральных включений в углях, была проанализирована геология различных предприятий и установлен перечень основных минералов, часто встречающихся при разработке данных месторождений. Предварительно был разработан метод, позволяющий получать эталонные спектры, с помощью которых в последующем можно производить распознавание минералов. Критериями эталонного спектра являются: наличие выраженных характеристических линий, пригодных для однозначной идентификации объекта; отсутствие заметной зашумленности. Показано, что метод основан на индивидуальном подборе для каждого образца метода размещения, выборе участка съёмки, а также подборе параметров спектрометра (число кадров, ток лазера, экспозиция). А для идентификации глинистых минералов был разработан оптимальный способ пробоподготовки, который упрощает процесс получения эталонного спектра. Этот способ заключается в подборе режима предварительной термической обработки породы.

Отмечено, что данные подходы могут быть использованы для получения спектров горных пород и отходов добычи и переработки углей, в том числе углеродсодержащих. Установлено, что качественную идентификацию в материале органического углерода методом рамановской спектроскопии рекомендуется проводить на основе выявления на спек-

трах характеристических полос «D» (с центром пика в районе 1360 см<sup>-1</sup>) и «G» (с центром пика около 1590 см<sup>-1</sup>).

Разработан метод предварительной оценки величины произвольно-го показателя отражения витринита по данным рамановской спектроскопии углей. Он основан на исследовании особенности точного положения характеристического пика D на спектрах, полученных на витрините исследуемых углей. Предложена расчетная формула, связывающая положение пика D на спектре и произвольный показатель отражения витринита. Уточнение таких расчетов может быть произведено на основании расширения количества углей, участвующих в построении зависимости между указанными величинами.

Дополнительно, представлены данные о методе оценки склонности углей к образованию тонкодисперсной пыли на основе разложения рамановских спектров, полученных на витрините углей и оценке критериального показателя для прогноза склонности углей к пылеобразованию.

Таким образом, в настоящей работе показано, что экспресс оценку состав и свойств ископаемых углей возможно проводить при помощи Рамановской спектроскопии непосредственно на предприятии.

Работа выполнена в рамках Стратегического проекта «Технология устойчивого развития» Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».

#### **Список литературы**

1. Еремин И.В., Броневец Т.М. Марочный состав углей и их рациональное использование. Москва: Недра, 1994. 254 с.

2. Sergeeva A.S., Golynets O.S., Medvedevskikh M.Y., Kochetkova E.M., Epstein S.A. Comparison of methodological approaches to the determination of organic carbon in wastes of mining, processing and combustion of coal // Industrial laboratory. Diagnostics of materials. 2023. - Т. 89. - № 5. - С. 5–13. DOI: 10.26896/1028-6861-2023-89-5-5-13.

**УДК 622.551.24**

### **ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРОГРЕВАЕМОЙ И ОХЛАЖДАЕМОЙ УГЛЕПОРОДНОЙ НАСЫПИ**

**Гузев О.А., Подрухин А.А., Корвякова Н.П.,  
Бударецкий С.И., Борисенко Э.В.**

*ФГБНУ «ИФГП», г. Донецк*

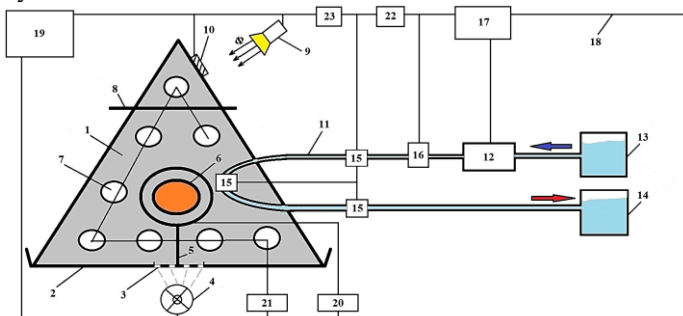
В Донбассе сформировано свыше тысячи углепородных отвалов, из которых не менее трети являются самонагревающимися. Такое сосредоточение техногенных образований угольного типа приводит к значи-

тельному теплохимическому загрязнению атмосферы и существенным затратам на профилактику и тушение отвальных пожаров.

Вместе с тем, самонагревающийся углеродный отвал – крупное инженерное сооружение, которое может использоваться в качестве генератора и аккумулятора тепловой энергии. Тепловая мощность такой искусственной насыпи может достигать  $5 \div 8 \times 10^{10}$  ккал на 100 тыс. м<sup>3</sup> отвальной массы [1]. Длительность функционирования отвала как генератора тепловой энергии определяется содержанием угольных включений в складированных отходах угледобычи, а также устойчивостью поступления воздуха из геодинамически активной зоны, расположенной под основанием такого сооружения.

Для обоснования технологии получения тепловой энергии из самонагревающегося углеродного отвала необходимо выполнить экспериментальные исследования процесса извлечения теплоты прогретой углеродной насыпи. На первом этапе таких исследований требуется в лабораторных условиях установить закономерности изменения температурного поля углеродной насыпи, формируемого как за счет солнечного нагрева (внешнего источника света и тепла) и внутреннего очага тепловыделения, так и восходящего продувания воздухом, а также отведения теплоты посредством теплоуловителя.

Для проведения экспериментальных исследований температурного поля прогреваемой и охлаждаемой углеродной насыпи разработана лабораторная установка, принципиальная схема которой представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Принципиальная схема лабораторной установки для проведения экспериментальных исследований температурного поля прогреваемой и охлаждаемой углеродной насыпи**

Углеродная насыпь 1 в виде миниатюрного террикона формируется на поддоне 2, имеющем зону перфорации 3 для подачи воздуха в насыпь 1 вентилятором 4 и стержень 5 для крепления внутреннего источника тепловыделения 6. Датчики температуры 7 размещаются в

массиве углеродной насыпи 1, их пространственное распределение в насыпном массиве носит азимутально-ярусный характер (рис. 2). Металлическая сетка 8 используется для формирования углеродной насыпи 1 в виде усеченного конуса (миниатюрного плоского отвала).

При проведении экспериментальных исследований углеродную насыпь 1 формируют из трех групп отходов угледобычи шахты, отличающихся гранулометрическим составом. Первая группа отходов представляет собой углеродный материал фракции менее 6 мм, вторая группа – углеродный материал фракции 6÷25 мм, третья группа – углеродный материала фракции более 25 мм. При формировании насыпи 1 в ее основание укладывается углеродный материал самой крупной фракции. Углеродный материал средней и мелкой фракции укладываются в срединную и верхнюю части насыпи 1, соответственно.

В качестве внешнего источника света и тепла в лабораторной установке используется галогеновая лампа накаливания 9, спектр излучения которой можно считать близким к солнечному. Галогеновая лампа накаливания 9 размещена над углеродной насыпью 1, причем под прямым углом к ее боковой поверхности (откосу). Расстояние между углеродной насыпью 1 и галогеновой лампой 9 может изменяться для регулирования интенсивности светового потока  $\Phi$ , поступающего на откос насыпи 1. Определение величины, поступающего на поверхность насыпи 1 светового потока  $\Phi$ , осуществляется неселективным термоэлектрическим приемником 10.

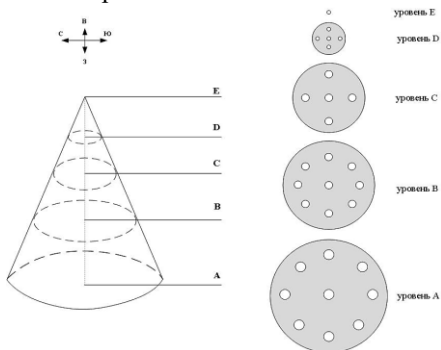
Для отведения тепла углеродной насыпи 1 в лабораторной установке предусмотрен теплоуловитель, представляющий собой U или W-образную медную трубу 11, заполняемую с установленной скоростью холодной водой, поступающей посредством насоса 12 из емкости 13. Для хранения прогретой воды используется емкость 14. Температура воды (холодной и прогретой) и ее расход контролируются посредством термометров для воды 15 и расходомера 16, соответственно.

Электропитание лабораторной установки осуществляется от источника тока 17 напряжением 220 В. Провода соединительные 18 используются, в частности, для связи лабораторной установки с персональным компьютером 19, который предназначен для обработки информации, поступающей с блока управления внутренним источником тепловыделения 20, блока управления датчиками температуры 21, неселективного термоэлектрического приемника 10, термометров для воды 15, термометра для измерения температуры воздуха 22 и влагомера для измерения влажности воздуха 23 в помещении.

Таким образом, лабораторная установка представляет собой физическую модель самонагревающегося углеродного отвала, размещен-



ного в геодинамически активной зоне, через которую в тело отвала поступает воздух. При этом температурное поле такого отвала формируется, прежде всего, за счет внутреннего очага тепловыделения и солнечного нагрева.



**Рисунок 2 – Азимутально-ярусное распределение датчиков температуры внутри углепородной насыпи**

Предложенная лабораторная установка дает возможность проводить исследования по установлению закономерностей изменения температурного поля прогреваемой и охлаждаемой углепородной насыпи, а также моделировать процесс отведения тепла от прогретой насыпи посредством теплоуловителя.

#### **Список литературы**

1. Ишхнели О.Г., Лиманский А.В., Воронков Г.Я. Снижение загрязнения окружающей среды при ликвидации углепородных отвалов / Уголь, 2013, №10, С. 68-71.

**УДК 622.34**

### **КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ НЕОДНОРОДНЫХ ПО СОСТАВУ И СТРУКТУРЕ РАННЕЕ СФОРМИРОВАННЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЗОЛОТОДОБЫЧИ**

**Залевская К.Н.**

*ИПКОН РАН*

В последние десятилетия в крупных горнопромышленных регионах назрела острая эколого-социальная необходимость разработки геотехнологий освоения техногенных отходов лежалых руд, заключающейся в оценке масштабов складированного сырья, поиске легитимных возможностей их добычи, вторичной переработки и утилизации конечных отходов, преимущественно в изолированном состоянии с применением технологий рекультивации и ремедиации техногенного нарушенных земель для

ликвидации последствий накопленного вреда на объекты окружающей среды. Особого внимания заслуживают вопросы повторной разработки и утилизации отходов руд, содержащих токсичные металлы. Так, ртуть и мышьяк являются характерными вредными элементами-примесями для золоторудных месторождений Южного Урала, поскольку до 1936 г. в регионе широко применялась амальгамация в качестве основного технологического процесса извлечения благородных металлов.

Факт структурной и фазовой неоднородности техногенных объектов золотодобычи, выраженный в расслоении массива с наличием скрытых обводнённых зон, участков, насыщенных токсичными и/или ценными металлами, доказан и подтвержден результатами многочисленных исследований в части формирования геотехнологического подхода освоения техногенно-минерального сырья [1,2,3]. Доказана необходимость детальной оценки состава, свойств, структуры техногенного образования с целью создания особых режимов выемки сырья и обоснования параметров технологии с включением в перечень геотехнологических процессов дополнительных специальных операций, позволяющих учесть неоднородную структуру хвостохранилищ [4]. В этой связи вопросы обоснованного выбора геотехнологий открытой разработки ранее сформированных хвостохранилищ, представленных отходами переработки золотосодержащих руд, становятся особенно актуальными.

По сути, большинство технологических схем по разработке техногенного образования направлены на валовую выемку сырья, а выбор средств механизации зависит от влажности сырья. Так, для условий разработки железорудных хвостохранилищ обоснованы эффективные геотехнологии, учитывающие факт неравномерного распределения сырья по влажности и предложены два основных способа разработки хвостохранилища: механизированный «сухой» и гиромеханизированный «мокрый» [5].

На основании полученных результатов о типе и локализации структурной и фазовой неоднородности в хранилище отходов переработки руд разработана классификация технологий открытой разработки техногенных образований с типовыми технологическими схемами разработки отдельных участков, представленных обводненными или обогащенными по содержанию ценных и/или токсичных металлов зонами. Предложенные в классификации технологические схемы определяют способ и направление выемки складированного сырья при освоении техногенного образования, представленного лежалыми отходами переработки руд.

Классификация основана на том, что технология добычи техногенного сырья определяется в зависимости от следующих факторов с учетом их локализация вблизи поверхности, в толще или в основании мас-

сива: наличия обогащенных по содержанию ценных компонентов зон, наличия обводненных зон, наличия опасных по содержанию высокотоксичных элементов зон.

Для первого класса технологических схем разработки хвостохранилищ, осушённых по всей глубине и характеризующихся отсутствием обогащённых ценным металлов зон или участков с повышенным содержанием высокотоксичных элементов, предусмотрена валовая выемка на всю глубину массива.

Для второго класса технологий открытой разработки техногенных объектов предполагается комбинация способов выемки, предусматривающая выбор приоритетного направления ведения открытых горных работ и средств механизации с подготовкой рабочего забоя перед извлечением лежалых отходов. Например, при наличии обводненной зоны участок ведения горных работ разрабатывается при условии подготовки площадки рабочей зоны путём проходки дренажных канав и/или траншей для организации сбора поступающих осадков. Технология ведения горных работ на участке хранилища отходов переработки руд в таком случае предусматривает разработку забоя до границ защитного слоя с размещением выемочно-погрузочного оборудования на верхней площадке рабочей зоны, её последующим осушением и выемкой всего объема техногенного сырья, залегающего в основании.

Таким образом, в общем разработаны новые и систематизированы известные 10 типовых технологических схем открытой разработки техногенных объектов с учётом типа и локализации структурной или фазовой неоднородности, что позволяет обеспечить новый геотехнологический подход к их комплексному промышленному освоению.

### Список литературы

1. Аргимбаев К.Р. Обоснование технологии открытой разработки железосодержащих техногенных месторождений на примере хвостохранилищ ГОКов КМА: дис. ... канд. техн. наук. - СПб, 2013. - 135 с.

2. Юркевич Н.В., Бортникова С.Б., Оленченко В.В. Оценка современного состояния хвостохранилища золоторудного производства: ценные и токсичные компоненты // Интерэкспо Гео-Сибирь. - 2017. - С. 113-117.

3. Olenchenko V.V., Kucher D.O., Bortnikova S.V. Vertical and lateral spreading of highly mineralized acid drainage solutions (Ur dump, Salair): electrical resistivity tomography and hydrogeochemical data // Russian Geology and Geophysics. - 2016. - Vol.57. - pp. 617-628.

4. Оценка устойчивости откосов старогодних отвалов золотосодержащего сырья для выбора технологии их приоритетной эксплуатации // Золото. Полиметаллы. XXI век: Устойчивое развитие в условиях внешних и внутренних вызовов / Под ред. М.В. Рыльниковой // Научные труды IV

Международной научно-технической конференции, г. Челябинск, 27-30 марта 2024 г. - М: ИПКОН РАН, 2024 - С. 145-147.

5. Терентьева И.В. Обоснование параметров комплексного освоения запасов законсервированного Жезказганского хвостохранилища: дис. ... канд. техн. наук. - Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова. 2016. - 176 с.

**УДК 622.273.2**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ С УПРАВЛЯЕМЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ФОРМИРУЕМЫЙ ЗАКЛАДОЧНЫЙ МАССИВ**

**Татарников В.И.**

*ИПКОН РАН*

Негативные факторы, связанные с влиянием деятельности горно-обогатительных комбинатов на экологию района, ощутима, а в ряде случаев колоссальна. Загрязняется атмосфера, поверхностные и грунтовые воды, меняется биологическое разнообразие в регионе добычи, увеличивается заболеваемость населения в близлежащих населённых пунктах. Для минимизации загрязнения окружающей среды в современном мире применяются технологии складирования отходов производства в уже отработанные горные выработки [1-4], при этом достаточно развиты технологии разработки месторождений с формированием закладочного массива [5-7]. Применение закладки в технологической схеме разработки месторождений калийных солей на больших глубинах позволяет: снизить значения напряжений на контуре горной выработки, увеличить полноту выемки полезного компонента, снизить экологическую нагрузку на регион, в котором находится предприятие, использующее данную технологию разработки, позволяет отказаться от изымания плодородных земель под нужды хранения отходов, тем самым, реализуя практически безотходную технологию добычи минерального сырья [8].

Таким примером может стать разработка калийных месторождений. После обогащения фабрикой добытого минерального сырья образуются солеотходы, шламы и рассолы. Все отходы обогащения возможно использовать для формирования закладочных массивов в виде гидравлической, постовой, твердеющей, консолидированной или сухой закладки [5,7]. Наибольшее распространение в настоящее время при разработке соляных месторождений получили гидравлическая и сухая закладка очистных выработок. Необходимо отметить, что при формировании закладочного массива гидравлическим и литым способом в состав смеси

добавляется цемент, реже - золы теплоэлектростанций (ТЭЦ) или иные добавки. Хотя использование зол ТЭЦ оказывает положительный эффект на окружающую среду, но обязательно при этом применение цемента увеличивает эксплуатационные затраты. Сухая же закладка не несет в себе конструктивного влияния на напряжения в выработках, в связи с большой усадкой закладочного массива и отсутствием прочности.

В ИПКОН РАН в 2022 году была разработана технология консолидированной закладки на основе солей. Консолидированная закладка представляет собой совокупность процессов по заполнению выработанного пространства смесью заполнителя (преимущественно, на основе минеральных солей) и затворителя, как правило, воды или насыщенного рассола солей того же состава, когда количество затворителя определяется, исходя из предела рассолоотдачи заполнителя. Сформированный закладочный массив с средним набирает прочность при одноосном сжатии 4 МПа, модуль деформации составляет около 750 МПа, а модуль спада 200 МПа. Прочностные и деформационные характеристики существенно зависят от технологии приготовления закладочной смеси, ее заполнения в закладочную камеру и способа уплотнения закладочного массива. Так, при послойном уплотнении с вибрацией и укаткой формируемого закладочного массива, прочностные характеристики смесей набирают более высокие показатели. Такой вид закладки позволит повысить полноту извлечения полезных ископаемых на калийных месторождениях, а также полностью перевести предприятия на безотходное производство.

При применении технологии разработки месторождения с формированием консолидированного закладочного массива на основе солей-отходов возможна полная утилизация текущих и уже накопленных отходов обогащенных фабрик и повышение полноты извлечения ценных компонентов из недр.

### Список литературы

1. Серпуховитина Т.Ю. Влияние горных предприятий на почвенный покров / Т.Ю. Серпуховитина // Малышевские чтения : Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Старый Оскол, 28 марта 2019 года. – Старый Оскол: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. – С. 120-125. – EDN TTUVLE.

2. Колосов А.А. Влияние предприятий горной промышленности на загрязнение окружающей среды / А.А. Колосов, Ю.С. Щегольков, В.Ю. Пасечная // Наука сегодня: теоретические и практические аспекты : материалы международной научно-практической конференции: в 2 частях, Вологда, 27 декабря 2017 года. Том Часть 1. – Вологда: ООО «Маркер», 2018. – С. 53-54. – EDN YQDPWR.

3. Оценка влияния хвостохранилищ закрытого горного предприятия Хрустальненский ГОК Приморского края на экосферу и рекультивация их поверхности / Л.Т. Крупская, Р.Г. Мелкоян, Л.П. Гуль [и др.]. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2017. – 144 с. – ISBN 978-5-7389-2351-7. – EDN XYUDUL.

4. Строгонова Л.Н. Влияние предприятий горной промышленности на окружающую природную среду / Л.Н. Строгонова, А.В. Ярошенко // Труды молодых ученых Воронежского государственного университета. – 2004. – № 2. – С. 86-92. – EDN EIGZXL.

5. Борзаковский Б.А., Папулов Л.М. / Закладочные работы на верхнекамских калийных рудниках// справочник. – М.: Недра, 1994. -234 с.

6. Монтянова А.Н. Формирование закладочных массивов при разработке алмазных месторождений в криолитозоне / А.Н. Монтянова; А.Н. Монтянова. – Москва: Горная книга, 2005. – ISBN 5-98672-014-8. – EDN QMYDQD.

7. Хайрутдинов М.М. Формирование разнопрочных закладочных массивов при разработке месторождений полезных ископаемых / М.М. Хайрутдинов, Г. А. Карасев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 3. – С. 276-283. – EDN JJSRPV.

8. Бергер Р. В. Использование солеотходов в закладке выработанного пространства подземного рудника - средство полной утилизации сформированных на поверхности солеотвалов / Р.В. Бергер, В.И. Татарников // Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых: Материалы научно-практической конференции: тезисы докладов, Магнитогорск, 23–28 мая 2023 года. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2023. – С. 106-109. – EDN ZVYQYE.

## **ИЗЫСКАНИЕ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ ЗАПАСОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ ПЛАСТОВ СИЛЬВИНИТА В УСЛОВИЯХ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

**Зубков П.О.**

*ИПКОН РАН*

Сохраняющаяся в мире тенденция возрастающего спроса на калийные удобрения, обусловленного увеличением объемов и качества продукции сельскохозяйственного производства, определяет необходимость изыскания принципиально новых высокоэффективных технологий ведения горных работ на месторождениях калийных солей, адаптированных к стремительно усложняющимся горно-геологическим и горнотехническим условиям добычи сырья [1-3]. Увеличение глубины отработки калийных месторождений связано прежде всего с высоким риском разви-

тия зон повышенного горного давления, определяющим необходимость совершенствования существующих способов поддержания выработанного пространства.

Деятельность горнодобывающих предприятий тесно связана с вовлечением в эксплуатацию новых участков месторождений и усложненными горногеологическими и геомеханическими условиями разработки. Переход к разработке соляных месторождений на больших глубинах сопровождается ростом пластических деформаций соляных пород, окружающих горные выработки [4]. Залегание вблизи почвы промышленных пластов слабых карналлитов в условиях больших глубин приводит к интенсивному их выдавливанию в выработку, пучению почвы, а также высокое значение горного давления и температуры на таких глубинах изменяют физико-механические свойства пород, делая их более пластичными, и влекут риск обрушения пород в горных выработках, запечатывание последних, ввиду развития процессов нелинейного формирования горных пород.

В соответствии с разработанной концепцией формирования в очистных камерах консолидированных закладочных массивов на базе смесей из солеотходов, в ряде случаев с добавлением, вяжущих был выполнен анализ текущей горнотехнической ситуации на калийных месторождениях России и систематизированы предпроектные проработки в области технологии закладки выработанного пространства [5]. В ходе оценки возможностей обеспечения полноты заполнения камер смесями на основе соляных пород от проходки выработок с применением грузочно-доставочных машин установлено, что в России накоплен достаточно успешный опыт заложения выработанного пространства условно сухими солеотходами с достаточно высокой полнотой заполнения. Визуальным обследованием установлено, что величина недозаклада камеры составляет 0,4-0,6 м.

Сформулированы новые принципы и разработаны технико-технологические решения по извлечению запасов глубокозалегающих пластов сильвинита системой разработки с формированием консолидированного закладочного массива. Разработанная технология формирования консолидированного закладочного массива направлена на достижение максимальной плотности смеси при высокой степени заполнения выработанного пространства, приближая коэффициент заполнения к единице. Технология предусматривает интенсификацию процессов уплотнения смеси на основе солеотходов и рассола с последующим дозакладом под кровлю твердеющей смеси с добавлением цемента, что позволяет не только увеличить степень извлечения калийного сырья, но

и обеспечить полную утилизацию солеотходов при решении вопросов промышленной безопасности горных работ с формированием единой технологической и логистической системы подземного рудника.

### Список литературы

1. Левкевич Р.Е., Сенотрусова С.В. Производство минеральных удобрений в России: тенденции развития отрасли // Инновации и инвестиции. 2023. №8.

2. Тибилов Д.П. Развитие потенциала добычи калийных руд, производства сульфатных удобрений на территории Калининградской области и реализации сульфата калия на мировом рынке / Д.П. Тибилов, Ю.А. Домахина // Экономика промышленности. – 2020. – Т. 13, № 2. – С. 225-232. – DOI 10.17073/2072-1633-2020-2-225-232. – EDN AQAGAE.

3. Антипин Доминик Анатольевич Проблемы и перспективы рынка калийных удобрений в России и за рубежом // Скиф. 2021. №3 (55).

4. Исследование напряженно-деформированного состояния геомеханической системы целик-закладка при формировании консолидированных закладочный массивов при разработке глубокозалегающих месторождений калийных солей Кирков А.Е., Зубков П.О. // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. 16 Международная научная школа.

5. Заключение о возможных составе, масштабе, местах и характере выделения природных газов по руднику Гремячинского месторождения калийных солей // ГИ УрО РАН, Пермь. 2018. 36 с.

УДК: 622.271.333

## ПОСТРОЕНИЕ БЛОЧНОЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КАРЬЕРОВ ЗОЛОТО-КВАРЦЕВОЙ ФОРМАЦИИ СЕВЕРО-ЕНИСЕЙСКОГО РАЙОНА НА ОСНОВЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Кирков А.Е.<sup>1</sup>, Табагуа М.А.<sup>1</sup>, Гавриленко В.В.<sup>1</sup>, Мартынюк М.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИПКОН РАН, <sup>2</sup>ООО «Соврудник»

В работах по уточнению конструктивных параметров золоторудных месторождений Высокое, Заявка 13, Золотое и Первенец Северо-Енисейского района Красноярского края, разрабатываемых ООО «Соврудник», стояла задача по созданию и наполнению блочных геомеханических моделей месторождений, необходимость которых регламентируют ФНП №439 от 13.11.2020 года [1]. Создание такого рода моделей позволяет оцифровать месторождение и наглядно представить в электронном виде конкретный объект или же группу месторождений



со всей необходимой информацией, которая заключается в накоплении различного рода документации, на основе специально проведенных инженерно-геологических и геомеханических исследований для решения поставленных задач.

Для набора необходимого объема информации была разработана программа-методика, которая включала такие операции, как: бурение геотехнических скважин с оптимизацией плана бурения; инженерно-геологическое и геомеханическое описание керна с отбором образцов для проведения лабораторных испытаний; исследование структурных особенностей массива горных пород на основе съемки обнажений.

Бурение скважин проводилось для каждого из выше перечисленных месторождений по индивидуальному плану таким образом, чтобы получить наиболее актуальную информацию о прибортовом массиве горных пород, сложенном различными литологическими типами породных разностей.

Геомеханическая документация полученного кернового материала обеспечивала полноту геологической и геомеханической информации, которая ложится в основу расчета рейтинговых показателей GSI Хука-Брауна и RMR Бенявкого, являющихся одними из основных параметров, наполняющих разрабатываемые геомеханические информационные блочные модели месторождений классификационными признаками для комплексного учета и анализа изучаемых свойств и их распределение в моделируемом массиве и расчета устойчивости бортов карьера и отдельных участков. При документировании выделялись следующие показатели: качество показателей бурения скважин с помощью различных оценок выхода керна; глубина интервалов документирования керна; показатель качества породы RQD; характеристики состояния пород (выветрелость/изменение по сложению и составу); обводненность пород; прочность ненарушенного материала (твердость скальной породы или грунта - прочность ISRM); количество систем трещин; свойства заполнителя и характеристика трещин, обводненность. [2, 3]

После завершения работ по документированию керна, производился отбор образцов на проведение лабораторных исследований. Для скальных и полускальных пород было проведено не менее 15 испытаний по каждому показателю представленных в керне горных пород: плотность, прочность на одноосное сжатие, одноосное растяжение, испытания на срез со сжатием, на сдвиг по естественной трещине, модуль деформации/упругости, коэффициент поперечной деформации/Пуассона. Дополнительно оценены: естественная влажность, коэффициент пористости, коэффициент водонасыщения, полная влагоемкость, сдвиг по распилу. Для дисперсных пород проводилось не менее 10 испытаний по каждому показателю и в соответствии с ГОСТ 30416-2012 установ-

лены: естественная влажность, влажность на границе текучести, число пластичности, показатель текучести, плотность грунта, прочность на одноплоскостной сдвиг. Исследованы характеристики: плотность скелета, плотность частиц грунта, коэффициент пористости, коэффициент водонасыщения, полная влагоемкость, прочность в трехосном состоянии, гранулометрический состав. Построение и обработка графической зависимости.

После получения всей необходимой информации по месторождению, приступили к процессу построения блочной геомеханической модели, который включает в себя следующие операции:

- создание геомеханической базы данных, которая объединяет в единую иерархическую структуру весь собранный материал и результаты его обработки.

- определение размера модели;

- определение размеров блоков;

- создание пустой модели.

- обоснование, выбор и оценивание распределения данных геомеханической модели по каждому показателю в каждой ячейки модели.

- анализ полученной геомеханической информационной блочной модели для классификации массива месторождения по устойчивости и обоснования различных параметров конструктивных элементов горно-технической системы.

Впоследствии каждый блок в модели наполняется свойствами результатов бурения и геомеханической документации инженерно-геологических скважин, а также рейтинговыми показателями пород, слагающих месторождение.

Результаты исследований являются основой для оценки геомеханического состояния и устойчивости бортов карьеров с оптимизацией их параметров.

### Список литературы

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности от 13 ноября 2020 года №439 «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов».

2. Методическое руководство по инженерно-геологическому и геомеханическому документированию керна / ООО «ГИНГЕО», Екатеринбург, 2022. – 51 с.

3. Руководство по геомеханическому документированию керна / SRK Consulting (UK) Ltd, UK, 10.06.09 – 44 с.

4. Иофис, М. А. Развитие методологии расчета деформаций земной поверхности при освоении недр / М. А. Иофис, Е. Н. Есина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № S1. – С. 35-42. – EDN WDZVEJ.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИНЫ, КОНСТРУКЦИИ И МАТЕРИАЛА ЗАБОЙКИ НА КАЧЕСТВО ДРОБЛЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

Комаров Д.П. Милетенко Н.И.

*ИПКОН РАН*

В настоящее время изучение процессов дробления горных пород является важной областью исследований в горнодобывающей промышленности. Эффективность дробления пород напрямую влияет на производительность и экономическую эффективность горных работ и в этом контексте анализ влияния различных параметров, таких как длина, конструкция и материал забойки, на процесс взрывного дробления приобретает существенное значение. Понимание взаимосвязи между этими параметрами и качеством подготовки горных пород к выемке позволяет оптимизировать процессы добычи, способствуя повышению операционной эффективности.

Множество ученых в своих работах отразили необходимость использования забойки при проведении взрывных работ для повышения эффективности использования энергии взрыва, обеспечения безопасности, а также уменьшения объемов бурения и снижения удельного расхода ВВ [1].

Так, например Чжан и др. [2] провели серию испытаний с использованием взрывчатого вещества RDX на гранитных блоках с применением ряда конструкций скважинной забойки из различных материалов. В результате исследования был сделан вывод, что взрывы с забойкой обеспечивают гораздо более полное использование энергии взрыва для выполнения именно полезной работы.

Как правило, выбор материала для забойки зависит от его доступности и стоимости, при этом с ростом эффективности материала снижается необходимый объем работ по сооружению забойки. Так, Конья С. и Конья А. [3] утверждают, что выбор оптимального материала и конструкции забойки позволяет сократить общую трудоемкость выполнения забойки более чем на 40%. Сокращение длины забойки при сохранении того же запирающего эффекта позволяет значительно улучшить качество подготовки горной массы в зоне нерегулируемого дробления [3].

В литературе, посвященной взрывному дроблению, чаще всего упоминаются два типа материала для забойки, а именно: буровая мелочь и щебень, а также различные устройства для забойки скважин. Буровая мелочь часто является эталонным материалом, поскольку она широко используется благодаря своей доступности, но свойства, определяющие ее способность сопротивляться восходящему движению

продуктов детонации, таковы, что забойку приходится делать как можно более длинной.

Значительное улучшение дробления наблюдалось при использовании щебня с частицами сопоставимого размера [3,4,5]. Там, где вместо буровой мелочи использовался щебень, дробление горной массы увеличилось в среднем на 21,2%, а производительность погрузки и транспортировки повысилась на 18%. Кроме того, было зафиксировано снижение нагрузки на дробильное оборудование на 20 % при последующем доизмельчении горной массы.

Исследования, в которых использовались приспособления для забойки, также указывают на тесную связь между материалом забойки и результатом взрывного воздействия [3,6]. Так, Сазид М. провел несколько экспериментов на четырех различных рудниках, сравнивая запирающее устройство SPARSH с обычной забойкой. Внедрение SPARSH исключило выход негабаритной фракции на всех четырех рудниках и уменьшило размер средневзвешенного куска взорванной горной массы более чем на 30%. Автор показывает, что снижение количества негабаритов было достигнуто за счет уменьшения длины забойки и создания воздушного промежутка между зарядом и забойкой, как показано на рисунке. Кроме того, было достигнуто сокращение удельного расхода взрывчатых веществ на 30% при одновременном улучшении дробления. На двух из четырех рудниках время погрузки и транспортировки сократилось на величину до 50% [6].

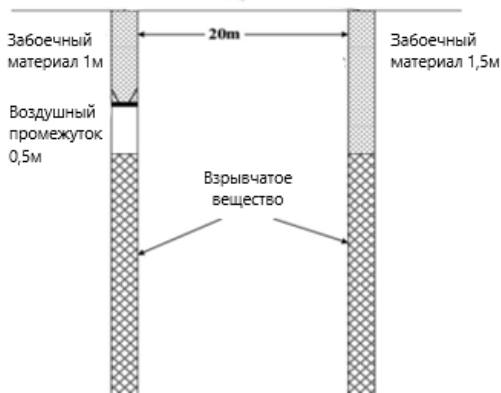
Для оценки длины забойки следует учитывать следующие параметры: физико-механические свойства взрываемого массива; масса заряда в скважине; материал и конструкция забойки; обводненность скважин.

Недостаточность длины забойки приводит к преждевременному выделению энергии взрыва и снижению эффективности дробления массива по всей глубине скважины. Когда же длина и запирающая способность забойки достаточна, то это приводит к удержанию продуктов детонации и более качественной проработки массива. Однако, автор отмечает, что заполнение забойкой всего пространства скважины между зарядом и дневной поверхностью, может негативно сказаться на качестве детонации верхней части заряда [7].

Ламчап, Граннас и Чавес [7] обнаружили, что увеличение длины забойки приводит к уменьшению разлета осколков породы. Значительное сокращение выбросов при ведении взрывных работ является существенным, поскольку оно связано с контролем разлета породы и лучшей фрагментацией.

Триведи, Сингх и Гупта [8] отмечают, что имеет место установленная зависимость между крепостью массива и рекомендуемой длиной забойки, а также ее конструкцией. Авторами показано, что формирование промежутка между забойкой и скважинным зарядом положительно

влияет на качество проработки взрываемого массива именно в зоне нерегулируемого дробления.



**Рисунок 1 - Применение запирающего устройства SPARSH**

Таким образом, проведенный обзор показывает, что выполнение скважинной забойки является важным технологическим процессом, позволяющим эффективно управлять качеством буровзрывной подготовки. При этом вопросы выбора конкретных параметров скважинной забойки, и что не менее важно, способов ее формирования в условиях массового промышленного применения, на сегодняшний день требуют проведения дополнительных исследований.

#### **Список литературы**

1. Phamotse, K.M. and Nhleko, A.S. 2019. Determination of optimal fragmentation curves for a surface diamond mine. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, vol. 119, pp. 613–619.
2. Zhang, Z.-X., De-Feng, H., Guo, Z., and He, Z. 2020. Laboratory experiment of stemming impact on rock fragmentation by a high explosive. *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 97, no. 1. pp. 1–10.
3. Konya, C.J. and Konya, A. 2018. Effect of Hole Stemming Practices on Energy Efficiency of Comminution. In: K. Awuah-Offei, ed. *Energy Efficiency in the Minerals Industry*. Cham: Springer, pp. 31–53.
4. Richards, A.B. 2013. Predictive Modelling of Airblast Overpressure. *Institute of Materials, Minerals and Mining and the AusIMM*, vol. 122, no. 4, pp. 215–220.
5. Sharma, S.K. and Rai, P. 2015. Investigation of Crushed Aggregate as Stemming Material in Bench Blasting: A Case Study. *Geotech Geol Eng*, vol. 33. pp. 1449–1463.

6. Sazid, M. 2014. Investigating the role of effective stemming in engineering blasting operations for open-pit mines, s.l.: Department of Earth Sciences, Indian Institute of technology bombay.

7. Lachamp, M., Grannas, S., AND Chavez, R. 2020. Influence of Stemming Length and Initiation Sequence on Rock Movement and Dilution During a Blast, s.l.: EFEE

8. Trivedi, R., Singh, T.N., and Gupta, N. 2015. Prediction of Blast-Induced Flyrock in Opencast Mines Using ANN and ANFIS. Geotech Geol Eng, vol. 33. pp. 875–891.

**УДК 622.271**

**ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА ГОРНЫХ РАБОТ,  
ПРЕДУСМАТРИВАЮЩЕГО РЕАЛИЗАЦИЮ ПОДХОДА  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОРЕСУРСОВ,  
СОПРЯЖЕННЫХ С ПРИРОДНЫМИ МЕДНО-  
КОЛЧЕДАНЫМИ МЕСТОРОЖДЕНИЯМИ**

**Цупкина М.В.**

*ИПКОН РАН*

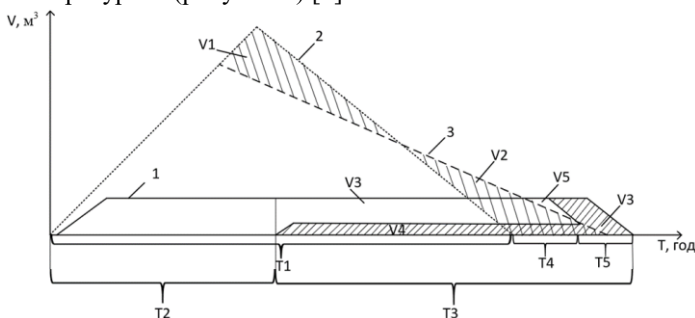
Выбор рационального режима горных работ играет ведущую роль в повышении рентабельности, в т. ч. за счет ускорения оборачиваемости средств, что позволяет уменьшить преждевременные и малоэффективные затраты в период разработки месторождения, когда изменение себестоимости добычи полезных ископаемых при снижении с глубиной месторождения их качества, ввиду изменения горно-геологических условий, компенсируется вовлечением в эксплуатацию складированного в отвалы техногенного сырья.

Доказанная академиком В.В. Ржевским [1] необходимость выравнивания коэффициента вскрыши по этапам работы карьера, а также экономическое обоснование целесообразности усреднения объемов вскрышных и добычных работ определяет важность регулирования режима горных работ за счет усреднения годовых объемов вскрыши и добычи. Зачастую, ведется добыча основных полезных ископаемых с бессистемным складированием отходов обогащения, что является негативным фактором для повышения комплексного освоения недр [2,3]. Кроме того, такой режим горных работ приводит к двум основным отрицательным последствиям: некачественному освоению недр и накоплению значительных объемов техногенного сырья на поверхности горного отвода. При освоении месторождений медно-колчеданных руд эта проблема может быть решена за счет вовлечения техногенного сырья,

полученного из отходов их обогащения, прошедшего стадии природного окисления, в промышленную переработку.

Это обусловлено тем, что с учетом установления характера окисления техногенного сырья из отходов обогащения медно-колчеданных руд, характеризующегося преобразованием упорных сульфидов в более благоприятные для последующей переработки растворимые минеральные формы, трансформируются цели и задачи освоения участка недр, которыми являются не только максимальный объем добываемых полезных ископаемых с минимальными затратами при обеспечении требований промышленной и экологической безопасности, но и реализация возможности постепенного и в то же время своевременного вовлечения в промышленную переработку техногенного сырья по мере его подготовки посредством целенаправленного формирования его качественных характеристик с заданными потребительскими свойствами в установленные сроки. Поэтому сырье техногенных минеральных образований, формируемых при переработке медно-колчеданных руд, следует рассматривать в качестве минерального источника, способного обеспечить увеличение объемов товарной продукции за счет совокупного использования природного и техногенного минерального сырья [4].

В работе предложен вариант режима горных работ, в котором техногенное минеральное сырье рассматривается в качестве дополнительного источника, способного обеспечить увеличение объемов товарной продукции при разработке месторождений твердых полезных ископаемых за счет совокупного использования природных и техногенных минеральных ресурсов (рисунок 1) [5].



**Рисунок 1. Режим горных работ, предусматривающий совокупное использование природных и техногенных георесурсов: 1 – объемы добычи руды, 2 – граница вскрышных работ до вовлечения техногенного сырья, 3 – после вовлечения,  $V_1=V_2$  – объем смещенных во времени вскрышных работ,  $V_3 + V_5$  – исходный объем,  $V_4 + V_3$  – замещенный объем техногенным сырьем**

Идея усовершенствованного режима горных работ заключается в том, что на основании выявленных особенностей окисления складированного в хвостохранилище техногенного сырья необходимо выделить определенный период  $T_2$ , в ходе которого осуществляется подготовка техногенного сырья с учетом необходимых для последующей переработки качественных характеристик. После периода  $T_2$  хвосты вовлекаются в переработку, поскольку изменяется соотношение первичных упорных сульфидов и вторичных высоко- и среднерастворимых сульфатов. Продолжительность этого периода должна определяться необходимыми объемами техногенного сырья, которые в дальнейшем позволят сохранить объемы извлечения полезных ископаемых при их уменьшении в ходе затухания горных работ с целью увеличения сроков отработки месторождения на период  $T_4 + T_5$ . В данном случае  $T_4$  – период, наличие которого обеспечивается объемами добычи базовых полезных ископаемых  $V_5$ , которые были временно оставлены в недрах, и извлечением заблаговременно подготовленного техногенного сырья  $V_4$ . Под периодом  $T_5$  понимается промежуток времени, когда происходит добыча оставшихся объёмов подготовленного техногенного сырья, полученных при переработке оставшихся запасов базового месторождения.

Также важно, что при предложенном подходе объемы добычи техногенного сырья не будут замещать объемы добычи природного сырья, но в случае необходимости будут использованы для компенсации потерь финансового потока, за счет этого продлевается общий срок эксплуатации месторождения и повышается комплексность использования ценных компонентов. Такой подход позволяет не только увеличить срок эксплуатации горного предприятия, но и снизить текущий коэффициент вскрыши путем смещения вскрышных работ во времени.

Кроме того, факт того, что техногенное минеральное сырье из отходов обогащения медно-колчеданных руд имеет характерные особенности преобразования при хранении, подготовка техногенного сырья при хранении посредством его окисления до 2 стадии будет отражать реализацию стратегии целенаправленной подготовки и своевременного использования техногенного минерального сырья.

В этой связи эффективность добычи техногенного минерального сырья и его последующего вовлечения в эксплуатацию должна обеспечиваться не только с учетом необходимости увеличения объемов добычи руды в общем графике режима горных работ, за счет наличия спроса на дополнительную товарную продукцию, но и с обоснованием периода, когда техногенное минеральное сырье становится наиболее благоприятным для обогатительного передела.



Таким образом, повышение полноты и комплексности освоения месторождений медно-колчеданных руд может быть обеспечено за счет обоснования режима горных работ, предусматривающего совокупное использование природных и техногенных минеральных георесурсов. При этом обоснование режима горных работ или его регулирование должно осуществляться с учетом периодов освоения природного месторождения, а также факта наличия сопряженных техногенных образований из отходов обогащения руд.

#### **Список литературы**

1. Ржевский В.В. Режим горных работ при открытой добыче угля и руды / Углетехиздат. – М., 1957. – 199 с.
2. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Абдрахманов И.А. Перспективы повышения полноты и комплексности освоения месторождений // Недропользование-21 В. – 2009. – № 3. – С. 28–32.
3. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Расширение сырьевой базы горнорудных предприятий на основе комплексного использования минеральных ресурсов месторождений // Горный журнал. – 2013. – № 12. – С. 29–33.
4. Каплунов Д.Р., Цупкина М.В. Принципы обоснования геотехнологических решений по эксплуатации техногенных образований из отходов обогащения медно-колчеданных руд. Материалы XII Международной конференции «Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых» 2023. С. 99–101.
5. Цупкина М.В. Обоснование режима открытых горных работ на техногенных образованиях, сопряженных с эксплуатацией медно-колчеданных месторождений: автореф... дис. канд. техн. наук. – М.: 2024. – 20 с.

**УДК 622.27**

### **НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ОТКРЫТОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ**

**Файсханов А.М.**

*АО «Гипроцветмет», г. Санкт-Петербург*

В последние годы в России широко проявляется интерес к проектированию опытно-промышленных работ (ОПР). Такие работы позволяют быстрее начать добычу полезных ископаемых и получить более достоверную информацию для дальнейшего проектирования основного производства.

Опытно-промышленные работы осуществляются с целью получения первичных исходных данных для обоснования целесообразности и принятия технологии освоения месторождения и дают возможность сократить срок его эксплуатации, проверить, оценить, устранить недостатки и проблемы выбранной технологии, получить уточненные данные о свойствах и состоянии массива горных пород перед выходом на полномасштабное производство [1].

Для проведения опытно-промышленных работ выбирается участок месторождения со средними, наиболее представительными условиями залегания. В современной практике в выборе участка активно используются средства 3D визуализации рудных тел в виде каркасов или блочных моделей, которые совместно со съемкой поверхности дают представление об оптимальном месте проведения ОПР.

В ходе проведения опытно-промышленных работ ведется документирование всех осуществляемых геотехнологических процессов. Все, что происходит в процессе их реализации, изменения технологических параметров, возникающие инциденты и неполадки в процессе исследований тщательно документируются и заносятся в специальный журнал, который является базовым документом при оценке выполненных работ. В журнале также отмечаются все варианты использования того или иного вида оборудования, показатели его добычи.

Опытно-промышленные работы не должны приводить к осложнению отработки оставшихся в недрах запасов, снижению качества полезных ископаемых и дополнительным потерям, особенно на доразведуемых участках месторождения, имеющих временно утвержденные кондиции запасов.

Структура и содержание проектов опытно-промышленных работ в действующих нормативно-методических документах не определены, исключительно индивидуальны и зависят от характера и набора задач, которые необходимо решить для достижения цели их проведения.

В общем виде требования к оформлению проектов опытно-промышленных испытаний месторождений сводятся к следующему:

- наличие текстовой и графической информации, достаточной для анализа проектных решений без личного участия лиц, осуществлявших их подготовку;

- соответствие структуры проекта, определяемой разработчиком, структуре и оформлению технических проектов разработки месторождений, утвержденных приказом Минприроды России от 25.06.2010 № 218;

- содержание проекта должно включать разделы, содержащие исходную информацию, обоснование объема и сроков выполнения программы работ, технические и технологические решения для выполнения

программы исследований с соблюдением требований технической, экологической безопасности и охраны недр;

объём и детальность проработки отдельных разделов определяются разработчиком проекта в зависимости от способа разработки месторождения, горно-геологических условий, программы опытно-промышленных работ, состояния инфраструктуры и т.п.

Именно такие подходы были обеспечены нами при разработке типовых проектов опытно-промышленной разработки общераспространённых полезных ископаемых на территории Ленинградской области [2].

### **Список литературы**

1. Файсханов А.М. Методический подход к обоснованию требований к проектированию опытно-промышленных испытаний открытой геотехнологии // Золото. Полиметаллы. XXI век: Устойчивое развитие в условиях внешних и внутренних вызовов // Научные труды IV Международной научно-технической конференции, г. Челябинск, 27-30 марта 2024 г. – М: ИПКОН РАН, 2024, с. 45

2. Типовой проект опытно-промышленной разработки месторождений общераспространённых полезных ископаемых на территории Ленинградской области, июль 2022, <https://kpr.lenobl.ru/ru/deiatelnost/nedropolzovanie/tipovoj-proekt-opytno-promyshlennoj-razrabotki-mestorozhdenij-obsheras>

# ГАЗОДИНАМИКА И РУДНИЧНАЯ АЭРОЛОГИЯ

---

---

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ЛАВЫ И ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ ПЫЛЬЮ ФРАКЦИЯМИ 10 И 50 МИКРОН

Кобылкин А.С., Соловьева Е.А.

*ИПКОН РАН*

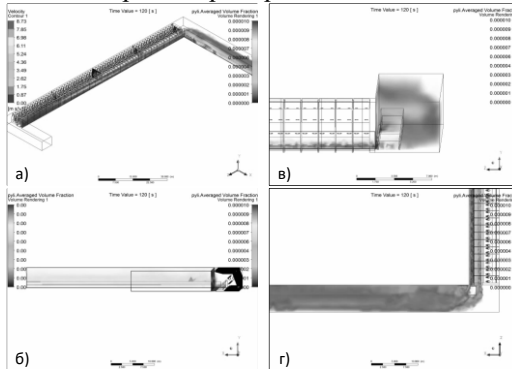
Для выявления зависимости распределения пылевых частиц в лаве и примыкающей к ней вентиляционной горной выработке было проведено компьютерное моделирование, широко применяемое в горном деле [1-5]. Решаемая задача представляет собой процесс поступления частиц пыли различного фракционного состава в воздушный поток с груди забоя в момент разрушения пласта угля, и далее распространение её по горным выработкам. Ранее было установлено, что на траектории движения частиц пыли влияют местные и лобовые сопротивления [6]. Соответственно, при проведении данных исследований в геометрической модели выемочного участка было учтено расположение горно-шахтного оборудования. Расчет данного процесса проводился в динамической постановке. Время расчета составило 26 минут. Скорость воздуха на входе в модель составляла 3 м/с. Для моделирования были выбраны две фракции пыли размером 10 и 50 микрон. Более крупные фракции пыли (60 мкм и более) преодолевают минимальное расстояние (несколько метров) и оседают на почве и бортах лавы [7].

На рисунке 1 представлено распределение по выработкам частиц размером 10 мкм. Пылевое облако находится в призабойной части лавы, данная особенность связана с местными и лобовыми сопротивлениями [6]. При выходе исходящей струи воздуха в вентиляционную горную выработку (рис. 1 в, г) пылевое облако заполняет практически весь объем выработки (до кровли).

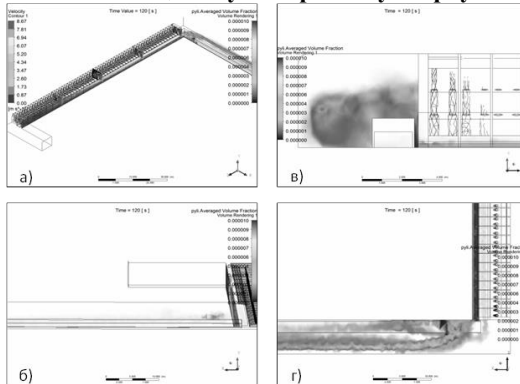
На рисунке 2 представлено распределение по выработкам частиц размером 50 мкм. Проанализировав распространение пылевого облака, состоящего из частиц размером 50 микрон, можно сделать вывод о том, что в месте сопряжения лавы и вентиляционной выработки пыль размером 50 микрон влетает в горной выработке на высоте до 3-х метров при высоте выработки 4 метра.

## Заключение

Проанализировав результаты моделирования можно сделать вывод о том, что для корректной оценки концентрации более крупной фракции пыли (50 мкм) необходимо производить установку приборов контроля запыленности воздуха до  $3/4 \cdot h$  ( $h$  – высота выработки). Расположение стационарных датчиков контроля запыленности у кровли не дает в полной мере оценить концентрацию пыли, так как часть угольной пыли не попадает в область измерения приборов.



**Рисунок 1 - Пылераспределение, пыли 10 микрон, 120 сек, а) общий вид, б) вид сбоку на вентиляционную выработку, в) вид на вентиляционную выработку со стороны выработанного пространства, г) вид на вентиляционную выработку сверху**



**Рисунок 2 - Пылераспределение, пыли 50 микрон, 120 сек, а) общий вид, б) вид сбоку на вентиляционную выработку, в) вид на вентиляционную выработку со стороны выработанного пространства, г) вид на вентиляционную выработку сверху**

## Список литературы

1. Кубрин С.С., Решетняк С.Н., Загоршменный И.М., Карпенко С.М. Имитационное моделирование режимов работы оборудования комплексно-механизированного забоя угольной шахты // Устойчивое развитие горных территорий. – 2022. – Т. 14, № 2(52). – С. 286-294. – DOI 10.21177/1998-4502-2022-14-2-286-294.

2. Копылов К.Н., Кубрин С.С., Загоршменный И.М. Использование моделирования для управления очистным комбайном в высокопроизводительных лавах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 4. – С. 30-40. – DOI 10.25018/0236-1493-2019-04-0-30-40.

3. Объемное моделирование как метод исследования и управления термой аэрогазодинамическими процессами на горных предприятиях Каледина Н.О., Кобылкин С.С. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № S1. С. 149-156.

4. Kopylov K. N., Kubrin S.S., Blokhin D.I. The simulation of the excavation sites of coal mines // Mining Goes Digital: Proceedings of the 39th international symposium on Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry. – Wrocław: CRC Press, 2019. – P. 473-480. – DOI 10.1201/9780429320774-54.

5. Кобылкин С.С., Тимченко А.Н., Кобылкин А.С. Применение компьютерного моделирования при выборе параметров работы пылеотсоса, встраиваемого в проходческие комбайны, Безопасность труда в промышленности. 2021. № 3. С. 21-27. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-3-21-27

6. Кобылкин, А.С. Исследования пылераспределения в очистном забое у комбайна / А.С. Кобылкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 6-1. – С. 65-73. – DOI 10.25018/0236-1493-2020-61-0-65-73.

7. Кобылкин, А.С. Исследование распространения и осаждения частиц пыли в горных выработках, с учётом расположенного в ней оборудования / А.С. Кобылкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № S32. – С. 61-66. – DOI 10.25018/023-1493-2018-6-32-61-66.

**УДК 622.85:622.235**

## **ПОВЕРХНОСТЬ ВТОРОГО ПОРЯДКА, КАК СПОСОБ ОПИСАНИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ЧАСТИЦ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ**

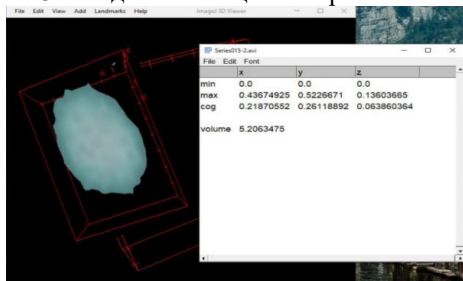
**Кубрин С.С., Стрелецкий А.А., Ковалев В.П.**

*ИПКОН РАН*

В результате проведения массовых взрывов на угольном разрезе образуется пылегазовое облако [1], содержащие в себе мелкодисперсные частицы пыли респирабельных фракций PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub>. Отобранные

образцы пыли после проведения ситового анализа фракции менее 0,05мм были исследованы с помощью микроскопа Leica TCS SPE с использованием объектива ACS APO 63x/1.30 OIL CS 0.17/E,0.16. Сканирование образцов проводилось в диапазоне размеров частиц: 0мкм-50 мкм в интервалах: 0мкм-2,5мкм; 2,5мкм-5мкм; 5мкм-7,5мкм; 7,5мкм-10мкм; 10мкм-50мкм, по оси OZ.

После получения первичных изображений для дальнейшего изучения топологии частиц пыли с помощью программы Fiji imagej являющейся средством обработки, анализа изображений в частности позволяющей: вычислять площадь, объем объекта, измерять расстояния, углы, восстанавливать объемные модели из изображений, были построены 3D модели частиц и измерен их объем (рисунок 1).



**Рисунок 1 - Модель частицы и расчет ее объема**

Расчет объема построенных моделей выполняется путем выделения области сканирования, построения модели конкретной частицы и ее анализа. В таблице 1 приведены усредненные результаты расчета объема частиц.

Таблица 1

**Усредненные результаты расчета объема частиц в мкм<sup>3</sup>**

0мкм-2,5мкм	2,5мкм-5мкм	5мкм-7,5мкм	7,5мкм-10мкм	10мкм - 50мкм
1,732 мкм <sup>3</sup>	18,17 мкм <sup>3</sup>	83,221 мкм <sup>3</sup>	153,163 мкм <sup>3</sup>	259,062 мкм <sup>3</sup>

Для дальнейшего математического описания формы частиц мелко-дисперсной пыли, частица рассматривается как поверхность второго порядка, в общем виде описываемая каноническим уравнением.

$$a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{12}xy + 2a_{13}xz + 2a_{23}yz + 2a_{10}x + 2a_{20}y + 2a_{30}z + a_{00} = 0 \quad (1)$$

Любая алгебраическая поверхность второго порядка в системе координат XYZ принимает один из нескольких видов, в нашем случае воспользуемся эллипсоидом.

Уравнение эллипсоида описывается формулой (2),

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad (2)$$

но для перехода к этой поверхности и вычислению объема эллипсоида, частица вписывается в прямоугольный параллелепипед, а он соответственно в эллипсоид.

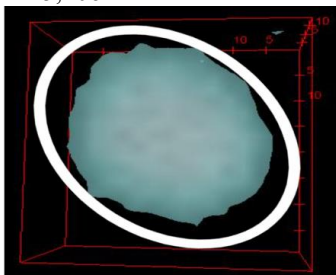
Учитывая симметрию данных геометрических фигур, функция объема  $V = xyz$ , исследуется на экстремум, иными словами производится расчет наибольшего объема параллелепипеда расположенного в первом октанте. Зная, что уравнение связи и есть уравнение эллипсоида, составляется функция Лагранжа (3).

$$U = xyz + \lambda \left( \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} - 1 \right) \quad (3)$$

Подставив результаты измерений частицы, которые и являются сторонами прямоугольного параллелепипеда и получим:  $a=2,597$  мкм,  $b=2,607$  мкм,  $c=0,519$  мкм. Подставим данные значения в формулу (4)

$$V = \frac{4}{3} \pi abc \quad (4)$$

Объем эллипсоида, описанного вокруг частицы и изображенного на рисунке 2, равен 7,786 мкм. Как было показано ранее на рисунке 1, объем данной частицы, рассчитанный с помощью программы imageJ равен 5,206 мкм.



**Рисунок 2 - Эллипсоид описанный вокруг частицы**

Объем частиц пыли респирательных фракций, рассчитанный на основе данных конфокальной лазерной сканирующей микроскопии в 1.495 раза меньше, чем объем полученный в результате описания частицы поверхностью второго порядка в виде классического Стоксовского шара, что позволяет в совокупности с данными вещественного состава, уточнить массу частиц пыли в облаке, а значит и массу пыли, которая седиментируется в границах горного отвода и за его пределами в близлежащих населенных пунктах.

#### **Список литературы**

Викторов, С. Д. Образование и распространение пылегазового облака при массовом взрыве на карьере / С. Д. Викторов, В. С. Бугьсин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1996. – № 6. – С. 119-123.



# УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР

---

---

УДК 553.04

## РАЦИОНАЛЬНОЕ ОСВОЕНИЕ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

Архипова Ю.А.

*ИГД ДВО РАН*

Дальний Восток России обладает запасами и ресурсами разнообразных видов полезных ископаемых. Ведущими являются: свинец, цинк, висмут, сурьма, олово, вольфрам, золото, серебро, уран, алмазы, плавиковый шпат, борные руды. Лидирующее положение по добыче урана, алмазов, цветных и благородных металлов, плавикового шпата. Эффективное освоение этих ресурсов является основой развития экономики и имеет исключительно важное значение как для самих субъектов Дальневосточного федерального округа (ДФО), так и для России в целом. Для большинства из них добыча полезных ископаемых (ДПИ) входит в отрасли экономической специализации, занимая в структуре промышленности от 45-50% (Амурская и Еврейская автономная области) до 85-90% (Якутия и Чукотка, Магаданская и Сахалинская области). Поэтому особое значение приобретает комплексность использования минеральных ресурсов, рост цепочки переработки и увеличения добавленной стоимости в минерально-сырьевом комплексе (МСК).

В таблице 1 показаны основные социально-экономические показатели развития ДФО в целом за период 2019-2022 гг. Следует отметить, что валовый региональный продукт (ВРП) по виду экономической деятельности ДПИ составляет 16-24% от общего ВРП макрорегиона. В структуре валовой добавленной стоимости ДФО наибольшую долю занимает ДПИ (27%).

Практика освоения месторождений полезных ископаемых показывает, что экономическая целесообразность недропользования определяется качеством минерально-сырьевой базы (МСБ), рыночным спросом, наличием транспортной и энергетической инфраструктур, профессиональным корпоративным управлением, научным обоснованием, развитием отечественной перерабатывающей промышленности, использующей

продукцию добывающего комплекса и другими факторами. Особое значение имеет обеспечение сбалансированного воспроизводства полезных ископаемых.

Таблица 1

**Основные показатели социально-экономического развития ДФО за период 2019-2022 гг. [1]**

Показатель	Ед. изм.	2019	2020	2021	2022
ВРП по ДФО	млрд р	5970,6	6037,5	7593,7	5003,7
ВРП по ДПИ	млрд р	1162	1145,8	1239,6	1189,1
Доля отрасли ДПИ в ВРП	%	19,46	18,97	16,32	23,76
Индекс промышленного производства по ДПИ	%	106,2	96,4	100,8	94,2
Доля инвестиций в основной капитал по ДПИ	%	28,9	18,72	19,56	21,13
Среднегодовая численность занятых по ДПИ	тыс. чел.	147,8	146,2	152,6	160,7

Сегодня в субъектах ДФО уже реализуются и подготовлен ряд крупных инвестиционных проектов в отрасли ДПИ как готовые к промышленному освоению, так и требующие геологического изучения [2, 3].

Развитие горнодобывающей отрасли России является одним из приоритетных направлений государственной политики, в том числе на территории Дальнего Востока, который сегодня представлен как стратегически перспективный регион. В пределах ДФО сосредоточена большая часть запасов важнейших для нашей страны видов полезных ископаемых, которые являются стратегически важными ресурсами. При этом он обладает редкими и редкоземельными металлами, необходимыми для производства высокотехнологичной продукции, прежде всего в проектах возобновляемой энергетики и электротранспорта, в военной промышленности. Отсюда возникает основной приоритет необходимости рационального недропользования с вектором на развитие минерально-сырьевой базы нашего государства в целом, в том числе субъектов ДФО, её расширение и воспроизводство.

Реализация инвестиционных проектов горнодобывающей промышленности имеет для самого субъекта большое значение: это возможность существенного финансового пополнения бюджета, развитие промышленного производства, регионального социально-экономического развития и т.д. Соответственно регион заинтересован в воспроизводстве и развитии минерально-сырьевой базы. Однако существует ряд проблем и одна

из них – это несовершенство нормативно-правовой базы. Так не принят ряд приоритетных законов, направленных на повышение инвестиционной привлекательности недропользования, обеспечение воспроизводства минерально-сырьевой базы, рационального использования и охраны недр. Не в полной мере регламентированы вопросы лицензирования, оценки прогнозных ресурсов полезных ископаемых и их классификации. Другая проблема – слабый приток частных инвестиций в геологическое изучение недр, особенно на ранних стадиях. Инвесторов останавливает отсутствие эффективных экономических стимулов и чрезмерно длительный процесс получения разрешительной документации на геологическое изучение недр – от 180 до 300 дней.

Также значителен низкий уровень комплексного использования минерального сырья. Недропользователи осваивают преимущественно рентабельные части месторождений, уделяют недостаточное внимание комплексному освоению участков недр и др.

Перспективы комплексного освоения минеральных ресурсов необходимо рассматривать с учетом общих проблем развития горнодобывающей промышленности страны, связанных с ухудшением условий добычи и переработки минерального сырья (увеличение глубины добычи, исчерпание запасов отдельных месторождений, опережающий рост добычи горной массы по сравнению с полученным продуктом, уменьшение среднего содержания полезных компонентов в руде и т.д.). Поддержание и наращивание объемов добычи некоторых видов полезных ископаемых требуют больших капитальных вложений, технического переоснащения добывающих и перерабатывающих предприятий на основе новых проектных решений, значительного повышения коэффициента сквозного извлечения основных и попутных компонентов, коэффициента полезного использования продуктов горнодобывающей промышленности [4].

Таким образом, минерально-сырьевой комплекс в ДФО играет определяющую роль в современной экономике России. Его развитие должно быть увязано с перспективами социально-экономического развития субъектов и дополняться принципом комплексного освоения. В условиях существенного обострения геополитического положения России приобретает важное значение оценка потенциала пространственной реализации всех звеньев по переработке сырья и получения готового продукта. Необходима проработка дальнейших шагов по определению отраслевых приоритетов (в частности в МСК) регионов ДФО в рамках совершенствования положений документов стратегического планирования федерального и регионального уровней.

## Список литературы

1. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 27.03.2024).
2. Архипова Ю.А. Экономическая оценка деятельности горнодобывающих предприятий цветной металлургии Дальнего Востока РФ // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2016. - №S21. - С. 374-388.
3. Архипова Ю.А. Перспективы освоения минерально-сырьевой базы титана на Дальнем Востоке России // Металлург. - 2011. - №9. - С. 4-10.
4. Яковлев В.Л. О необходимости разработки Программы комплексного освоения и развития минерально-сырьевой базы Республики Саха (Якутия). Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2022. - Т. 27(3). - С. 363–369.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОЦИКЛОНОВ ГЦ-2000 В КАЧЕСТВЕ СПОСОБА УВЕЛИЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Безпрозванный А.Р.<sup>1</sup>, Лебедев А.Б.<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Санкт-Петербургский горный университет  
императрицы Екатерины II*

*<sup>2</sup>Научный центр «Проблем переработки минеральных  
и техногенных ресурсов»*

Для решения проблемы постоянного накопления красного шлама в виду отсутствия универсального и оптимального способа его утилизации, было проведено исследование на снижение количества отгружаемого отхода в шламохранилище за счет увеличения количества извлекаемого из руды глинозема. В работе был использован боксит следующего минералогического состава: гиббсит  $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ , бёмит  $\gamma-AlOON$ , диаспор  $Al_2O_3 \cdot H_2O$ , каолинит  $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$ , гётит  $FeOON$ . Предполагаемая среда измельчения руды на строящемся глиноземном заводе в Ленинградской области – мокрая. Размер получаемых частиц менее 2,5 мм без снижения эффективности извлечения целевого компонента, что позволяет получить при выщелачивании большое количество крупных железистых частиц (до 31%).

Известно, что на 1 т получаемого глинозема образуется в качестве побочного продукта около 2,5 т красного шлама, который оказывает негативное влияние на экологические показатели местности в случае его проникновения за пределы отстойника [1, 2]. В этой связи, целью работы является повышение доли извлекаемого глинозема на единицу отходов для снижения отрицательного влияния на окружающую среду.

Реализация процесса извлечения глинозема происходит при атмосферном давлении для достижения минимальных энергетических затрат. Для получения хорошей степени растворения  $Al_2O_3$  и обеспечения баланса содержания соды и глинозема в отходах осуществляется контроль размера измельченных частиц после выхода из мельницы.

Для достижения наибольшей эффективности извлечения глинозема необходимо соблюдение следующих технических условий к исполнению процесса измельчение-выщелачивание руды [3, 4]:

- размер загружаемого боксита, не более 25 мм;
- размер измельченного боксита, не более 2,5 мм;
- средняя температура выщелачивания -  $108^{\circ}C$ ;
- концентрация щелочи, более 200 г/л;
- время выщелачивания - 150 мин;
- скорость перемешивания, не более 55 об/мин;
- доля глинозема в руде не более 37,5%.

Известно, что большая реакционная контактная поверхность приводит к потерям глинозема, захватываемого красным шламом. Проведен гранулометрический анализ слива мельницы.

Далее проводилось выщелачивание исходных и измельченных образцов боксита раствором концентрированной щелочи.

При отделении шламов и песков, была определена их доля содержания в исходном материале. Исследуемые составляющие были измельчены до  $-0,074$  мм и направлены на элементный анализ, результаты которого приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Элементный состав после измельчения**

Название	п.п.п.	$SiO_2$	$TiO_2$	$Fe_2O_3$	$Al_2O_3$	$\Sigma$
Шлам	8,01	5,94	6,57	60,34	19,13	99,99
Песок	17,52	2,30	1,46	53,17	28,56	100,01

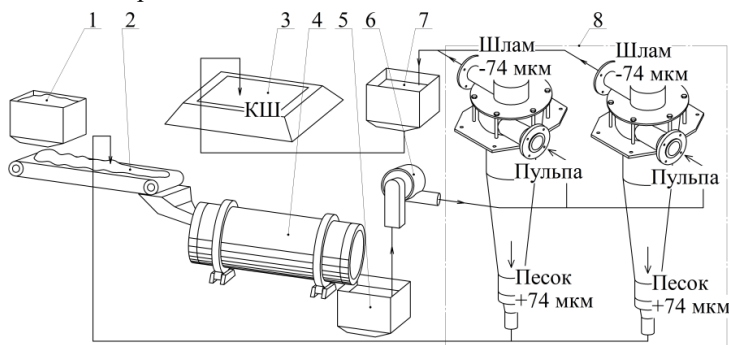
Определение содержания  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  в образцах было выполнено с помощью метода объемно-комплексометрического титрования.

Согласно результатам проведенных экспериментов выявлено, что содержание в измельченном боксите большого количества частиц глинозема: до 5 мм составляет 12%, от 5 до 2,5 – 17%, что приводит к захвату глинозема с красным шламом.

Для решения проблемы потери глинозема при измельчении боксита необходимо выполнить доизмельчение руды. В качестве способа решения предлагается замыкание цикла процесса помола посредством включения в технологическую цепочку гидроциклонов ГЦ-2000 (рисунок 1). Это позволяет получить однородный гранулометрический состав продукта за счет снижения крупности частиц до 74 мкм. Технологическая

схема разделения фракций с использованием гидроциклонов ГЦ-2000 представлена на рисунке 1.

В результате исследования установлено, что применение предлагаемого способа позволит получить увеличить процент извлекаемого  $Al_2O_3$  до 72%. Повышение эффективности извлечения глинозема обосновано увеличением степени растворимости  $Al_2O_3$  за счет измельчения фракции. Экспериментально доказано, что при обработке декантацией, снижаются потери щелочи.



**Рисунок 1 - Технологическая схема разделения фракций с использованием гидроциклонов ГЦ-2000: 1) Бункер; 2) конвейер; 3) шламохранилище; 4) мельниц; 5) приемник; 6) насос; 7) отстойник; 8) гидроциклоны ГЦ-2000**

Также определено, что при применении гидроциклонов ГЦ-2000 после измельчения, извлечение глинозема повышается на 12 %, а производительность завода – на 100 000 т/год, что позволяет уменьшить частоту проведения ремонтных работ в производственном цеху, количество отгружаемого красного шлама и как следствие затраты на содержание действующих шламохранилищ и строительство новых [5].

### Список литературы

1. Беавоги Мари Констанс. Влияние гранулометрического состава боксита на степень извлечения на глиноземном заводе Фриа (Республика Гвинея). / Мари К. Беавоги, Б.Г. Балмаев. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 9. – С. 131–138. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-9-0-131-138.
2. Саламатов О.В. О влиянии флокулянтов на кинетику процессов обезвоживания и промывки красных шламов из низкокремнистых бокситов при производстве глинозема. / О.В. Саламатов, В.И. Саламатов. // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2019. – Т.23. – №2. – С. 404–414. DOI: 10.21285/1814-3520-2019-2-404-414.

3. Сизяков В.М. О роли гидрокарбонатных соединений кальция в совершенствовании технологии комплексной переработки нефелинов / В.М. Сизяков, В.Н. Бричкин // Записки Горного института. – 2018. – Т.231. – С. 292-298. DOI: 10.25515/PMI.2018.3.

4. Пасечник Л.А. Отходы глиноземного производства — перспективное сырье для черной и цветной металлургии / Л.А. Пасечник, И.С. Медянкина, В.М. Скачков, В.Т. Суриков, С.П. Яценко. // Труды Кольского научного центра РАН. – 2018. – №2-2. – С. 884–889. DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.1.884-889.

5. Кузнецов В.С. Оценка уровня загрязнения природных водных объектов, расположенных в районе функционирования глиноземного производства. / В.С. Кузнецов, И.К. Супрун, Д.С. Петров // Московский экономический журнал. – 2018. – № 5(3). – С. 49-57. DOI: 10.24411/2413-046X-2018-15087.

## **МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ОТ ВНЕЗАПНОГО ВЗРЫВА МЕТАНА НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ**

**Боровков Ю.А., Рыжова Л.П., Верчеба А.А., Максимова А.К.**

*МГРИ-РГГРУ*

При добыче угля подземным способом одним из основных природных факторов, который негативно влияет на технологическую и экономическую деятельность угольных шахт является повсеместный рост метаноносности угля с глубиной, так как с ней связаны непрерывные выделения взрывоопасного газа – метана и наиболее опасные проявления сил горного давления – внезапные выбросы угля и метана.

Ежегодно от взрыва метана в угольных шахтах России погибает не один десяток шахтеров. Наиболее трагичный взрыв в России произошел в Кемеровской области на шахте «Ульяновская» в марте 2007 года – погибло 108 шахтеров, а 18 ноября 2007 года на шахте им. А.Ф. Засядько (Донбасс, Украина) погиб 101 человек. Статистика (за последние 15 лет) говорит, что на каждый миллион тонн добытого угля приходится до двух жизней шахтеров. Поэтому возникла идея по уменьшению негативных последствий чрезвычайных ситуаций при взрыве метана за счет применения более безопасных систем разработки угля, позволяющие обеспечить наиболее лучшие условия безопасности ведения очистных работ. В связи с увеличением глубин внезапные выбросы угля, пород, газа и горные удары происходят в больших объемах.

В проходческих забоях происходят более 50% внезапных выбросов. Именно поэтому своевременное предвидение и предотвращение

внезапного выброса является одной из важнейших задач при сооружении выработок.

На газовых шахтах целесообразно применять системы разработки с минимальным числом опережающих подготовительных выработок (особенно восстанавливаемых). До последнего времени сплошная разработка являлась одной из основных при разработке тонких пластов. Однако ее участие в общей добыче угля из года в год постепенно сокращается.

Оставление в обрушенном пространстве части угля, просыпавшегося при отбойке угля рабочим органом комбайна (что часто встречается), который со временем может самовозгораться и привести к взрыву метана, который частично может содержаться и в обрушенных породах.

Поэтому одним из способов предотвращения самовозгорания угля, оставшегося в выработанном пространстве, является обработка различными гелеобразующими [1] или антипирогельными [2] составами, в результате чего часть поверхности кусков угля изолируется от кислорода, присутствующего в фильтруемом через воздухопроницаемый массив воздухе. Так в выше приведенных работах указывается, что, в выработанное пространство с объемом обрушенных пород  $V$ , где находится угольное скопление необходимо подать вязкого антипирогельного вещества не менее 16,3% от данного объема.

Другим мероприятием на снижение давления в воздушной волне от взрыва метана с учетом самовозгорания угля является применение воздушных завес. Воздушные завесы создают лишь очень небольшие перепады давления и распространенный вариант — щелевая воздушная завеса — представляет собой плоскую струю воздуха, направляемую посредством специального воздухоподающего устройства под различными углами поперек основного потока. Для создания струи используется специальный вентилятор. Даже при очень высокой начальной скорости струи, достигающей 35–40 м/с, такие завесы создают в основном потоке перепады давлений, не превышающие 20 Па [3].

Вихревая воздушная завеса является новым регулятором воздухо-распределения в шахтных и других вентиляционных сетях, основанным на явлении увеличения сопротивления движению потока при его закрутке. Для создания такой завесы в канале (выработке), где проходит основной поток, по его периметру устанавливаются побудители движения воздуха, подающие воздух по касательной к периметру канала путем применения вентиляторов местного проветривания.

Воздушно-механическая пена является эффективным мероприятием и средством комплексной нейтрализации вредных факторов взрыва. Практический интерес представляет расчет параметров ударных волн

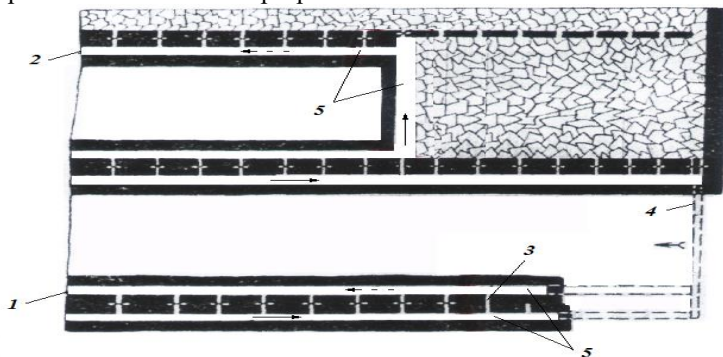


при использовании пенной защиты. Решение этой задачи на базе физической модели, в которой пена рассматривается как псевдогаз с некоторыми «замороженными» параметрами, учитывающей только теплообмен между фазами [4], не раскрывает существа явлений, происходящих в пенной среде, и позволяет рассчитывать такие параметры, как импульс ударной волны. В то же время только по величине импульса можно судить о динамическом воздействии ударных волн на элементы крепления горных выработок, на оборудование, защитные устройства.

Все эти технологические мероприятия по снижению влияния ударной воздушной волны при взрыве метана следует учитывать, особенно, при выборе системы разработки.

В настоящее время сплошная система вытесняется более прогрессивной – столбовой (рис. 1). Основное отличие системы разработки длинными столбами по простиранию от сплошной заключается в том, что пласт угля в пределах панели или этажа предварительно (до начала очистных работ) разделяется подготовительными выработками на отдельные части – столбы.

При ведении очистных работ подготовительные выработки находятся в нетронутом массиве угля, а не в выработанном пространстве – как при сплошной системе разработки.



**Рисунок 1 - Вероятное место взрыва (5) при столбовой системе разработки: 1 – этажный откаточный штрек; 2 – вентиляционный штрек; 3 – печь; 4 – разрезная печь**

Именно поэтому над ними не происходит массового опускания пород кровли. Также они испытывают гораздо меньшее влияние горного давления, то есть объем работ по ремонту крепи – меньше.

Подготовительные выработки проходятся в целиках угля, поэтому и условия их поддержания улучшаются. При системе разработки длинными столбами по простиранию вентиляционный и откаточный штреки

погашаются. Обратный порядок отработки столба создает постоянный фронт работ и улучшает условия эксплуатации очистного оборудования. Проведение откаточного и вентиляционного штреков, оконтуривающих выемочный столб, способствуют некоторой дегазации пласта и выявлению возможных мест внезапного выброса метана.

Снизить количество внезапных выбросов метана из угольных пластов возможно путем замены сплошной системы разработки – столбовой, при этом в выработанное пространство с объемом обрушенных пород  $V$ , где находится угольное скопление вблизи забоя необходимо подавать вязкого антипирогенного вещества не менее 16,3 % от данного объема.

### Список литературы

1. Евсеев В.С., Миллер Ю.А. Применение гелеобразующих составов для предупреждения самовозгорания угля в шахтах Кузбасса. // Комплексные способы борьбы с эндогенными пожарами. – Кемерово: ВостНИИ, - 1986, - С. 78-80.

2. Рыжков А.Ю., Макаров Е.Я., Конецкий В.А. О влиянии антипирогенной обработки на процесс самонагрева угля. //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – Новосибирск: Изд. «Наука». - 1991, - С. 81-84.

3. Ярцев В.А., Рожнева В.К., Окладников А.В. Вихревая воздушная завеса. // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1991. - №4. - С. 61-63.

4. Гельфанд Б.Е., Губанов А.П., Тимофеев Е.И. Особенности распространения ударных волн в пенах. // Физика горения и взрыва. - 1981. – № 4. – С. 129.

## ПОИСК ПУТЕЙ РАСШИРЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РОССИЙСКОГО ГЛИНОЗЁМА

**Диесперов А.Д., Баринков В.М.**

*Санкт-Петербургский горный университет  
императрицы Екатерины II*

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Пириайнен В.Ю**

На сегодняшний день алюминий является вторым наиболее широко используемым металлом в мире после железа, и с каждым годом его потребление только растет. Международный институт алюминия прогнозирует, что к 2030 году мировой спрос на алюминий увеличится почти на 40% [1]. Ключевой ступенью в технологической цепочке производства алюминия является получение глинозёма из руды. От качества глинозёма напрямую зависит качество получаемого из него алюминия.

Российские бокситы обладают относительно низким качеством, что усложняет процесс их переработки. По этой причине в основном

импортируется высококачественная руда иностранного происхождения. Во-первых, руды российских месторождений содержат значительное количество кремния. Во-вторых, в руде присутствуют нежелательные примеси: органика, кальцит, пирит, которые либо усложняют процесс переработки, либо снижают качество получаемого глинозёма. В-третьих, месторождения самых качественных бокситов России находятся на большой глубине, что затрудняет их добычу [2]. Химический состав некоторых бокситовых месторождений, представлены в таблице 1:

Таблица 1

**Химический состав бокситовых месторождений [2]**

Месторождение	Химический состав боксита, %			кремневый модуль - $\mu_{Si}$
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	
Иностранные месторождения				
Австралия	43,7	16,4	3,61	12,1
Гвинея	56,7	7,42	2,7	21,0
Ямайка	44,3	18,2	1,5	29,5
Российские месторождения				
Северноуральское	48-54	21-23	2-8	6-22
Североонежское	51-54	6-9	17-19	3-7
Висловское	48-52	-	7-9	5-8
Среднетиманское	45-50	до 25	5-12	3-7
Чадобецкое и татарское	29-41	29-32	6-12	3-5

В настоящее время важнейшей задачей для российской экономики является переход к полностью автономному производству алюминия на отечественном сырье за счет внедрения технологий по переработке бокситовых руд с низким кремниевым модулем или разработки новых месторождений с более высоким качеством бокситов.

Существует несколько основных методов получения глинозёма: способ Байера, способ спекания и комбинированный способ (параллельный и последовательный). Способ Байера с одной стороны самый экономически выгодный и распространенный, с другой - самый требовательный к качеству сырья:  $\mu_{Si} \geq 8$ , где  $\mu_{Si}$  кремневый модуль. Для руды, с низким кремниевым модулем ( $\mu_{Si} < 8$ ) рекомендовано использовать метод спекания. Комбинированный метод применяется при производстве глинозема из бокситов с сильно варьирующимся кремневым модулем [2].

Для достижения поставленной цели предлагается использовать бокситы неразработанных российских месторождений. Например, бокситы Чадобецкого и Татарского месторождений, которые из-за высокого

содержания железа в их составе, предоставляют возможность переработки электрометаллургическим способом. Указанным методом получают помимо глинозема низкокремнистый ферросилиций, который может быть использован для добавки в состав сталей, он повышает твердость, прочность, пределы упругости и текучести [3]. Стоит отметить, что при переработке руды таким способом увеличивается степень извлечения глинозема и составляет 85–97% [4], тогда как переработка методом Байера позволяет извлечь только 80–85% [5].

Так как почти все российские бокситы характеризуются относительно низким кремневым модулем [2], то для их переработки предлагается использовать способ термохимия-Байер. Данный способ позволяет обрабатывать бокситы с высоким содержанием кремния, заменяя операцию спекания на более энергоэффективный процесс обжига [6]. Основные этапы включают термическую активацию сырья, последующее обескремнивание его щелочным раствором и выщелачивание полученного продукта по методу Байера. Метод является более рентабельным, относительно других комбинированных методов, и может быть применен при обработке руды с варьирующимся химическим составом. Несмотря на значительные энергозатраты на этапе обжига, данный метод позволяет очистить низкокачественное бокситовое сырье от различных технологически вредных примесей, таких как органические соединения, сера, карбонаты, а последующее обескремнивание щелочным раствором позволяет повысить его качество до уровня, пригодного для дальнейшей обработки [7].

Исходя из вышеописанного, можно сделать следующий вывод: для достижения полностью автономного производства алюминия на территории России необходимо увеличить объемы собственного производства глинозема за счет введения в использование неразработанных месторождений. Так как руды многих российских месторождений обладают разным составом, стоит обратить внимание на нестандартные методы их обработки, которые смогут повысить извлечение глинозема, тем самым увеличив объемы получаемого алюминия.

### Список литературы

1. Opportunities For Aluminium In A Post-Covid Economy. // international-aluminium.org URL: <https://international-aluminium.org/wp-content/uploads/2022/03/CRU-Opportunities-for-aluminium-in-a-post-Covid-economy-Executive-summary.pdf> (дата обращения: 09.04.2024).

2. Логинова, И.В. Производство глинозема и экономические расчеты в цветной металлургии: учебное пособие. / И.В. Логинова, А.А. Шопперт, Д.А. Рогожников, А.В. Кырчиков. // Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2016. - 253 с.

3. Применение и состав ферросилиция и кристаллического кремния // metallolome.ru URL: <https://metallolome.ru/primenenie-i-sostav-ferrosilicziya-ikr/> (дата обращения: 15.04.2024).

4. Шибистов Б.В. Бокситы и железоалюминиевые руды Нижнего Приангарья и проблемы их комплексного освоения. // Journal of Siberian Federal University. - 2013. - №8.

5. Новый способ переработки бокситов позволит увеличить извлечение глинозема до 98% и сократить выделение красного шлама вдвое // ruscable.ru URL: [https://www.ruscable.ru/news/2023/09/22/Novyj\\_sposob\\_pererabotki\\_boksitov\\_pozvolit\\_uvelich/](https://www.ruscable.ru/news/2023/09/22/Novyj_sposob_pererabotki_boksitov_pozvolit_uvelich/) (дата обращения: 12.04.2024).

6. Сунлууров А. В. Фазовые взаимодействия с участием оксида кальция в технологических системах и процессах при получении глинозёма по способу «термохимия-Байер»: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.16.02. СПб., 2022.

7. Дубовиков О-А. Переработка низкокачественного бокситового сырья способом термохимия-Байер / О.А Дубовиков, Э.Э.Яскеляйнен // Записки Горного института. - 2016. - Т. 221. - С.668-674. DOI 10.18454/PM1-2016.5.668.

## **КОНЦЕПЦИЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОТИВОРЕЧИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГЛИНОЗЕМНОГО ЗАВОДА В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Егорова С.О., Баринкова А.А.**

*Санкт-Петербургский горный университет  
императрицы Екатерины II*

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Пиирайнен В.Ю.**

До 2022 года компания АО «РУСАЛ» стабильно обеспечивала себя глиноземом и производила до 3,7 млн. тонн алюминия в год. Однако, в связи с введёнными санкциям, запретом поставок из Австралии и национализацией Николаевского завода на Украине, объём поступления сырья на алюминиевые заводы резко сократился, что привело к снижению объёмов производства алюминия в 2023 году на 37,5% до 1,9 млн. тонн. Для оперативного решения данной проблемы и возвращения к прежним объёмам выпуска компании потребуется увеличение закупок бокситов за рубежом в 3,6 раза. В этой связи АО «РУСАЛ» было вынуждено обратиться к поставкам из Китая, Индии и Казахстана, что увеличивает затраты компании [1], при этом не позволяет решить проблему кардинально. Если не удастся заместить недостающие объёмы сырья, в ближайшие годы всей алюминиевой промышленности России грозят серьезные проблемы [2]. На этом основании руководством страны было принято решение о строительстве нового глинозёмного завода в Ломоносовском районе Ленинградской области, который позволит обеспечить

стабильные и надежные поставки отечественного сырья на алюминиевые заводы, снизить его себестоимость, а также повысить конкурентоспособность на рынке металлов.

Сама компания АО «РУСАЛ» планирует инвестировать около 400 миллиардов рублей в строительство четырех линий для производства глинозема на участке 1 тыс. га, и расширение портовой инфраструктуры в Усть-Луге. Место выбрано из-за логистики морских поставок бокситов из Африки, в частности, Гвинеи, обладающей крупнейшими запасами бокситов в мире, приемлемой глубины Финского залива, близости к ЛАЭС для обеспечения электроэнергией и наличия строительной базы, рабочих ресурсов и опытных специалистов в регионе. В районе уже существуют заводы компании АО «РУСАЛ», что обеспечивает базу для нового инвестиционного проекта [3].

Правительство Ленинградской области обещает оказать всестороннюю поддержку, включая консультации, организационную помощь и контроль за реализацией проекта. Планируется запустить первую линию производства объемом до 2,4 миллиона тонн к концу 2028 года, а вторую линию - аналогичной мощности - до 2032 года. Однако местное население выступает резко против строительства нового завода из-за экологических рисков, социальных аспектов и заботы о здоровье и безопасности. Решение данного противоречия найдено в Санкт-Петербургском горном университете. Оно заключается в 100%-м использовании отходов глиноземного производства!

Цель настоящей работы является обоснование необходимости строительства завода по производству удобрений рядом с глиноземным заводом в Ленинградской области.

Примерно 90% глинозема в мире производится методом Байера, при этом на каждую тонну произведенного глинозема приходится образование около полутора тонн красного шлама (КШ). КШ вреден из-за высокой щелочности отхода, мелкой дисперсности частиц и содержания в нем тяжелых металлов, которые усложняют процесс переработки и загрязняют окружающую среду (почвы, воду и воздух). Также, при возникновении аварий на шламохранилищах, проникновение отхода вне стен отстойника может оказывать значительное влияние на нормальное функционирование экосистемы и на здоровье человека. Так, например, в Венгрии в 2010 году, более 400 человек получили химические ожоги, было загрязнено почти 800 гектаров земли, отходы попали в реку Дунай [4].

В этой связи при подготовке к строительству глиноземного завода в Ленинградской области встает острая проблема снижения экологических рисков и гарантий исключения катастроф. Планируемый прирост КШ после запуска завода может 7–8 миллионов тонн в год, что потребует

строительства огромных наземных шламохранилищ, которые на сегодняшний день являются единственным и самым распространенным средством «временного» хранения и утилизации отхода, требующих значительных средств на их содержание и обеспечение безопасности.

Одним из перспективных направлений использования КШ является разработка композиционных материалов для рекультивации нарушенных земель и строительства [5]. При рассмотрении композитов для улучшения почв их преимущества становятся очевидными: они способствуют обогащению бедных земель питательными веществами, улучшению их структуры и водоудержанию (гидрофильности). Это широкая область применения обладает большим потенциалом.

Исходя из вышеописанного, следует, что главной задачей, которую предстоит решить АО «РУСАЛ» в ближайшее время, является поиск путей и обеспечение эффективной переработки и применения красного шлама. Одним из решений данной задачи может стать смешение отхода с торфом с целью получения композиционных материалов, применяемых в качестве почвоулучшителей для восстановления бедных и утраченных земель, а также повышения их экологичности. Торф, как компонент композиции, имеет высокую кислотность, что благоприятно сказывается на снижении щелочности КШ (способность адсорбировать  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$ ). В свою очередь, красный шлам способствует раскрытию питательных веществ торфа (гуминовые кислоты, фульвокислоты и пр.), которые необходимы для органоминеральных удобрений [5-6]. Композиты должны быть прочными для дальнейшего применения, иметь нейтральный pH для исключения щелочного загрязнения почв и получения экологически безопасного материала.

В Санкт-Петербургском горном университете под руководством профессора Пиирайнена В.Ю. проведены лабораторные исследования и опытные работы по созданию шламово-торфяных композитов, которые подтвердили состоятельность идеи создания на их основе органоминеральных удобрений. Данное решение защищено патентом РФ на изобретение [7]. В свою очередь, это открывает путь к использованию красного шлама в больших объемах, соизмеримых с объемами его образования при производстве алюминия. Важно также и то, что торф является возобновляемым ресурсом и его общий запас в Ленинградской области составляет 1,25 миллиарда тонн, который распределен по 659 торфяным месторождениям. В настоящее время планируется разработка ещё 19 торфяных месторождений с общим запасом 53 миллиона тонн, что является показателем востребованности и доступности сырья [8].

Таким образом, полученные положительные результаты по агротехническим и вегетативным испытаниям шламово-торфяных композитов,

наряду с наличием сырьевой базы, позволяет сделать вывод о целесообразности включения в состав вновь строящегося завода дополнительной линии по производству органоминеральных удобрений на основе отходов собственного производства и местного сырья. По сути, речь может идти о строительстве ещё одного самостоятельного завода со своей логистикой производства и реализации продукции. В любом случае осуществление проекта открывает возможности сохранения окружающей среды, восстановления природных ресурсов и получения продукции с уникальными свойствами.

Планирование строительства завода органоминеральных удобрений в Ленинградской области перспективно, так как способствует снижению экологических рисков загрязнения окружающей среды, увеличению доходов региона и способом рационального использования природных ресурсов.

К положительным моментам следует также отнести:

- предоставление до 7,5 тысяч новых рабочих мест [9];
- развитие новых отраслей (производство органических удобрений, переработка промышленных отходов и пр.);
- увеличение производства органоминеральных удобрений;

Расположение «по соседству» двух предприятий снижает транспортные издержки на транспортировку сырьевых компонентов, минимизирует воздействие красного шлама на окружающую среду, обеспечивает эффективный процесс переработки отходов и их полное вовлечение в производство товарной продукции. Рациональное использование торфяного сырья в заявленных объёмах будет способствовать экологической устойчивости региона и эффективному природопользованию.

#### **Список литературы**

1. Смирнов Г., Гусев С. Великий глиноземный путь. // Газета РБК. – 2023. – С. 130.

2. Словесный И. Планы по строительству глинозёмного завода в Ленобласти встревожили жителей. // Деловой Петербург. – 2023.

3. Синцова Н. UC Rusal вложит 400 млрд. рублей в создание глиноземного завода в Ленобласти. // Ведомости. – 2023.

4. Утечка химикатов в Венгрии // «Специальный репортаж»: Красная планета URL: <https://www.vesti.ru/article/2127766> (дата обращения: 11.04.2024).

5. Пиирайнен В.Ю., Баринкова А.А. Разработка композиционных материалов на основе красного шлама. // Обогащение руд. - 2023. - №3. - С. 37–43. DOI: 10.17580/or.2023.03.06.

6. Баринкова А.А., Пиирайнен В.Ю. Поиск способов рационального использования бокситового остатка. // Инновационные геотехнологии при



разработке рудных и нерудных месторождений. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2023.

7. Патент № RU 2 788 695 C1 МПК C05F 11/02(2006.01) C05G 5/12(2020.01). Органоминеральное удобрение: № 2022117757: заявл. 30.06.2022; опубл. 24.01.2023 / Пиирайнен В.Ю., Михайлов А.В., Старовойтов В.Н., Баринкова А.А. – 7 с.

8. Правительство Ленинградской области // Ленобласть и Китай готовы сотрудничать в сельхозпроизводстве URL: <https://lenobl.ru/ru/dlya-smi/news/71110/> (дата обращения: 06.04.2024).

9. Пресс-релизы // РУСАЛ и Ленинградская область договорились о строительстве современного глиноземного производства URL: <https://www.rusal.ru/press-center/press-releases/rusal-i-leningradskaya-oblast-dogovorilis-o-stroitelstve-sovremennogo-glinozemnogo-proizvodstva/> (дата обращения: 10.04.2024).

**УДК 338.51**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ БУДУЩИХ ЦЕН НА МЕТАЛЛЫ**

**Заернюк В.М.**

*МГРИ-РГГРУ*

В отличие от традиционного способа моделирования цен на металлы, современные процедуры оценки рудников используют передовые финансовые и экономические методы для моделирования цен на сырьевые металлы в виде случайных величин, которые следуют за стохастическими (диффузионными) процессами с течением времени. Это делается для того, чтобы учесть сложности будущего маркетинга и производства металлов, а также другие неизмеримые факторы, такие как спекуляции. Важно отметить, что целью использования стохастических процессов для моделирования будущих цен на металлы является генерация ряда возможных ценовых траекторий (это делается с помощью моделирования по методу Монте-Карло) вместо одной оценочной стоимости. Это делается для того, чтобы зафиксировать неизвестное будущее поведение цены металла, а не для того, чтобы оценить ее точную стоимость. Это связано с тем, что процесс прогнозирования цен на металлы на длительные периоды времени, характерный для горных работ, не является точным.

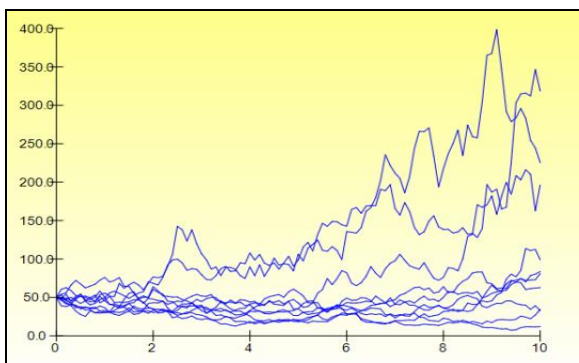
В литературе существует множество методик прогнозирования цен на металлы: от простого анализа тренда до сложных временных рядов и эконометрических моделей. Тем не менее, выбор подходящей модели прогнозирования играет решающую роль в процессе оценки проекта рудника. Например, классическая микроэкономическая теория подчер-

кивает, что цена активов инвестиционного типа, таких как финансовые активы и золото, не демонстрирует какого-либо возврата цены, и, следовательно, наиболее используемой моделью для характеристики будущего поведения этих типов активов является геометрическое броуновское движение. И наоборот, активы инвестиционного типа и товары промышленного типа, такие как медь и нефть, рассматриваются как связанные с их предельными производственными издержками в долгосрочной перспективе. Таким образом, ожидания будущих цен имеют тенденцию колебаться или возвращаться к предельным издержкам производства и уровню спроса. Следовательно, общей моделью, используемой для моделирования будущего поведения активов промышленного типа, является модель возврата к среднему значению (Mean Reversion Model - MR).

*Геометрическая броуновская модель движения* является наиболее часто используемой моделью для описания изменений цен на сырьевые товары с течением времени  $S_t$ , в терминах ожидаемого темпа роста,  $\mu$  и случайного отклонения от ожидаемого курса, записанного как произведение параметра волатильности  $\sigma$  и стандартного броуновского движения,  $dW_t = \varepsilon_t \sqrt{dt}$ , где  $\varepsilon_t$  - стохастический процесс, следующий стандартному нормальному распределению со средним значением, равным нулю, и дисперсией, равной единице [3]. Он определяется следующим образом:

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dW_t \quad (1)$$

На рисунке 1 показаны пути 50 GBM, сгенерированные моделированием по методу Монте-Карло. Параметры для процесса GBM:  $S_0=50$ ,  $\mu=10\%$  и  $\sigma=30\%$ . Из рисунка видно, что процесс GBM никогда не генерирует отрицательных значений. Это связано с тем, что GBM является логарифмическим процессом, то есть натуральный логарифм исследуемой цены товара нормально распределен. Эта последовательная генерация положительных значений является одной из причин, по которой GBM широко используется для моделирования цен на сырьевые товары, поскольку они никогда не бывают отрицательными. Однако, что при использовании GBM для моделирования стоимости проекта с течением времени необходимо соблюдать осторожность, так как стоимость проекта может стать отрицательной, что не будет учитываться при использовании GBM. Еще одна характеристика GBM заключается в том, что дисперсия процесса пропорционально увеличивается со временем. Следовательно, проекты с длительным сроком эксплуатации в соответствии с поведением GBM будут представлять большую неопределенность с течением времени.



**Рисунок 1 - Траектории образцов, сгенерированных методом Монте-Карло геометрического броуновского процесса**

*Модель возврата к среднему значению* [1]. Это еще одна распространенная модель, используемая в финансовых приложениях для описания поведения будущих цен на сырьевые товары (металлы).

Проще говоря, из теории спроса и предложения можно установить концепцию возврата к среднему значению: если спрос на товар высокий/низкий, а предложение низкое/высокое, то цена товара будет расти/падать до тех пор, пока не достигнет стабильного уровня, при котором спрос и предложение находятся в равновесии. В этом случае говорят, что цена товара следует процессу возврата к среднему значению, а цена стабильного уровня - это цена, при которой спрос и предложение находятся в равновесии. Другими распространенными определениями возврата к среднему значению являются согласно [2]:

а) модель актива - это возврат к среднему значению, если доходность отрицательно коррелирует; и

б) модель активов является возвратом к среднему значению, если процентные ставки (и волатильность), доходность или темпы роста остаются неизменными.

Формально определенная модель MR может быть выражена как:

$$dS_t = \eta S_t (M - S_t) dt + \sigma dW_t \quad (2)$$

где  $\sigma$  и  $dW_t = \varepsilon_t \sqrt{dt}$  совпадают с GBM,  $\eta$  - скорость реверсии, или средняя скорость реверсии, а  $M$  - долгосрочный равновесный уровень. Как видно из уравнений (1) и (2), основное различие между GBM и MR заключается в свободном члене.

Действительно, процесс MR является стационарным процессом вокруг равновесного уровня  $M$ , в то время как GBM является нестационарным процессом, в котором дисперсия увеличивается со временем.

На самом деле, дисперсия  $MR$  быстро возрастает до тех пор, пока не достигнет стабильного уровня, который остается постоянным с течением времени. При этом свободный член  $MR$  положительный, если текущий уровень цены  $S_t$  ниже равновесного уровня  $M$ , и отрицательный, если  $S_t > M$ .

Скорость реверсии  $\eta$  связана с концепцией полураспада переменной актива  $S_t$ . Более формально, период полураспада  $H$  переменной  $S_t$  определяется как время, в течение которого ее математическое ожидание,  $E\{S_t\}$ , достигает промежуточного (среднего) значения между текущим значением  $S_t$ , и долгосрочным средним значением  $M$ ; То есть это мера постоянства.

### Список литературы

1. Brandimarte P. Numerical methods in finance and economics: a Matlab-based introduction, June 2013, p.696. URL: <https://www.amazon.com/Numerical-Methods-Finance-Economics-MATLAB-Based/dp/0471745030>.

2. Exley J., Mehta S. and Smith A. Mean reversion. June 2004. 32 p. URL: [https://www.actuaries.org.uk/system/files/documents/pdf/Exley\\_Mehta\\_Smith.pdf](https://www.actuaries.org.uk/system/files/documents/pdf/Exley_Mehta_Smith.pdf).

3. Chan N.H. and Wong H.Y. Simulation Techniques in Financial Risk Management, 2nd Edition, May 2015, 232 p. ISBN: 978-1-118-73595-4.

УДК 65.622.342.1

## ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ В ЗОНЕ ТИХООКЕАНСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ КАК ФАКТОР СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ

Крюков В.Г., Черкашина И.А.

*ИГД ДВО РАН*

Тихоокеанская железная дорога соединяет Эльгинское месторождение угля (республика Саха) со строящимся портом на мыс. Манорский (Хабаровский край). Это первая на Дальнем Востоке России частная дорога, принадлежащая компании «А-Проперти». Её протяжённость с учетом развязок и станций составляет 626 километров. Строительство начато в 2021 г и планируется к завершению в 2024 году. Участники проекта считают возможным строительство в прибрежной зоне коксохимического и металлургического комбинатов на базе эльгинских каменных углей и железных руд Мильканского месторождения в Хабаровском крае.

Зона влияния трассы охватывает бассейн р. Уда и Джугджурский хребет. В пределах притрассовой территории геологами выявлено около 540 «мелких» месторождений и рудопроявлений различных полезных ископаемых, расположенных в основном на территории Хабаровского края. Эта площадь, с учетом перспектив развития минерально-сырьевой базы, имеет специфичный профиль рудных месторождений: черные металлы-редкие металлы и редкие земли-цветные и драгоценные металлы-фосфатное сырье. Практически все объекты изучены очень слабо. Поэтому необходим научный анализ перспектив развития горнодобывающей промышленности в зоне влияния железной дороги.

**Цель исследования** заключается в выделении перспективных рудных объектов и формировании на этой базе основных направлений промышленности для решения социально-экономических проблем территории.

*Ресурсный потенциал:* В пределах зоны инфраструктурного проекта на 4 месторождениях утверждены запасы. На Эльгинском месторождении коксующихся каменных углей они насчитывают 2,2 млрд. тонн. На медно-никелевом месторождении Кун-Маньё (Амурская область) запасы составляют: никеля 1,217 млн. т, меди 304 тыс. т, кобальта 15,2 тыс. т, платины 58,9 т, золота 9 т, серебра 106 тонн. На золоторудных месторождениях Перевальном и Авляякане подсчитаны запасы, составляющие по первому объекту золото 21,1 т, серебро 106 т, и по второму – золото 7,74 т, серебро 58 тонн. На некоторых месторождениях, Маймаканское, Мильканское, Ир-Нимийское, Лагапское в советский период были подготовлены запасы по категории  $C_2$  [1, 4].

В настоящее время по достоверности они отвечают ресурсам категории  $P_1$  [2]. С целью прогнозной геолого-экономической оценки ресурсы категорий  $P_1$  и  $P_2$  переведены в запасы с понижающими коэффициентами соответственно 0,25 и 0,5.

*Экономическая ситуация:* Большая часть трассы проходит в пределах Тугуро-Чумиканского района, который относится к разряду депрессивной территории. Несколько лучше экономическое состояние в Аяно-Майском районе и на территории республики Саха (Якутия). Тем не менее, ареал зоны влияния железной дороги характеризуется как слабо развитая территория. Постоянное население, численностью около 1860 человек, проживает в Чумикане (административный центр Тугуро-Чумиканского района), Удском, Тугуре и Тороме. Занято оно в основном традиционным природопользованием (охота, сбор дикоросов, рыболовство, оленеводство). В пределах Джугджурского хребта ведется добыча золота из россыпей. Осваиваются 2 золоторудных месторождения Перевальное и Авляякан.

Потенциальная ценность недр в зоне влияния железной дороги (таблица) определялась без учета запасов металлов медно-никелевого месторождения Кун-Маньё, имеющего другого собственника. Расчеты базируются на реальных запасах и ресурсах. При этом ресурсы категорий  $P_1$  и  $P_2$  переводятся в запасы категории  $C_2$  с понижающими коэффициентами соответственно 0,25 и 0,5. Результирующее значение потенциальной ценности территории в сумме 652199,3 млрд. руб., что обуславливает необходимость первоочередного геологического доизучения площади.

Таблица

**Потенциальная ценность минеральных ресурсов зоны ТЖД**

Вид полезного ископаемого	Объем ожидаемых запасов, т	Коэффициент сквозного извлечения	Расчетная цена, тыс. руб./ т	Потенциальная ценность, млрд. руб.
Титан	401 250 000	0,65	1711	446250,2
Железо	1 261 125 000	0,63	8,6104	6841,04
Фосфор ( $P_2O_5$ )	114 000 000	0,96	1500	164160,0
Марганец	87 500 000	0,72	100	6300
Ниобий	1 125 000	0,52	3000	1755
Золото	41,978	0,87	6712000	245,13
Серебро	16 557	0,67	85360	946,91
Уголь коксующийся	3 955 000 000	0,7	9,14	25304,09
Ирризирующий лабрадорит	330 800	0,3	4000	396,96
Итого				652199,3

*Перспективные направления:* Анализ ресурсного и финансового состояния существующих промышленных производств свидетельствует о неиспользовании значительного ресурсного потенциала районов. Безусловно, территории могут поддерживать свою экономику на совершенствовании предприятий по рыболовству и традиционному природопользованию. Вместе с тем, имеются реальные основания для создания новых направлений в экономике районов. К первоочередным относятся:

- 1) портовое хозяйство в п. Чумикан и на мысе Манорский;
- 2) коксохимический и металлургический комплексы на базе месторождений Эльгинское и Мильканское (авторские запасы железа 619 млн. т);
- 3) транспорт и строительство;
- 4) энергетика.

К более отдаленной перспективе относятся разведка и последующее освоение месторождений фосфатного сырья с производством удобрений.

Изучение и разработка месторождений редкометалльных и редкоземельных руд месторождений Арбарастах и Улканского рудного узла может начаться в любое время в силу высокого спроса на соответствующую продукцию. Интерес могут представлять месторождения комплексных фосфор-железо-титановых руд Джугджурского хребта (Маймаканское, Гаюм, Богидэ, Сорого) и правобережья р. Уда (Галам, Давакит, Гербикан).

Необходимо подчеркнуть, что с переработкой рудных концентратов связывается индустриализация экономики. В качестве начального этапа может рассматриваться малоформатная металлургия [3] и, в частности, производство сварочных и наплавочных материалов, столь необходимых при строительстве. Научные разработки хабаровских ученых свидетельствуют о целесообразности использования в этих целях рудных концентратов шеелита. При этом примеси редких и цветных металлов улучшают качество электродов на 30-40%. Параллельно или с некоторым отставанием может осуществляться строительство крупных предприятий традиционной металлургии.

Таким образом, строительство Тихоокеанской железной дороги Эльга – Манорский инициировало формирование портового комплекса в Тугуро-Чумиканском районе. Освоение Эльгинского месторождения коксующихся углей в достаточно больших объемах побудило предпринимателей обратить внимание на возможность их переработки в кокс и реализовать продукцию достаточно высокого передела. Коксохимический комбинат планируется расположить в Тугуро-Чумиканском районе Хабаровского края.

Внимание компании к Мильканскому железорудному месторождению, расположенному на правобережье р. Уды, обусловлено не только значительными запасами железа, но и высокими ресурсами в сумме, превышающей 3 млрд. тонн. В относительной близости от этого объекта выявлено 3 средних по запасам существенно железорудных и 3 средних комплексных фосфор-железо-титановых месторождений. В качестве благоприятного фактора следует отметить, что руды месторождений железа содержат марганцевые минералы. На прилегающей территории обнаружены и, частично, изучены марганцевые месторождения.

Зона влияния трассы, помимо черных металлов, насыщена проявлениями драгоценных, редкоземельных и цветных металлов, агрохимического сырья. В целом минерально-сырьевой потенциал ареала оценивается в 652199,3 млрд. рублей. Недропользование обеспечит новые рабочие места и постоянные поступления в бюджет государства и муниципальных образований.

## Список литературы

1. Иванов В.М., Гаврилов В.В., Герасимов В.В. Джугджурский анортзитовый массив и его апатитоносность. // Базитовые и ультрабазитовые комплексы Сибири. Новосибирск. Наука. – 1979. – С.219-230.
2. Копылов М.И. Перспективы освоения титанорудных месторождений Дальнего Востока и Забайкалья. // Современное состояние геологических исследований и минерально-сырьевой базы Бурятии. Улан-Удэ. – 2007. – С. 56-59.
3. Крюков В.Г., Коневцов Л.А. Новый подход к проблеме переработки минерального сырья Дальнего Востока России. / Тр. Кольского научного центра РАН. Химия и материаловедение, вып. 2, III Всероссийская научная конференция с международным участием, посвященная 60-летию ИХТРЭМС ФИЦ КНЦ РАН «Исследования и разработки в области химии и технологии функциональных материалов», часть 1. – 2018. – №1. – С. 150-154.
4. Панских Е.А. Минералогические и петрохимические особенности анортзитов Дальнего Востока. // Минералогия метаморфических и рудных образований Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. – 1981. – С. 3-11.

## О НИЗКОКАЧЕСТВЕННЫХ БОКСИТАХ

**Лепшеев В.Е.<sup>1</sup>, Баринкова А.А.<sup>1</sup>, Лебедев А.Б.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Санкт-Петербургский горный университет  
императрицы Екатерины II, <sup>2</sup>Научный центр «Проблем  
переработки минеральных и техногенных ресурсов»*

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Пирирайнен В.Ю.**

Самым распространенным цветным металлом и сложным, с точки зрения его получения, является алюминий. Металл имеет повышенную химическую активность, из-за чего в природе встречается только в связанном состоянии. Алюмосодержащие руды как сырьё для извлечения глинозема, в зависимости от минералогического состава, подразделяются на бокситы, алуниты и нефелины, среди которых бокситы считаются основными [1]. В свою очередь, бокситовые месторождения разделяют по типу на остаточно-хемогенные и осадочно-хемогенные. Первый тип образуется в результате выветривания различных алюмосиликатных пород. Второй тип (к ним относится большинство российских месторождений) образуется в результате накопления продуктов химического и физического выветривания в котлованах различного происхождения.

Остаточно-хемогенные бокситы в ходе комплексной переработки для получения глинозема легче подвергаются обогащению, в то время как осадочно-хемогенные являются более сложными и часто состоят из различных слоев, существенно отличающихся по составу. Кроме того,



бокситы этого типа более трудно поддаются измельчению для последующей стадии технологического передела.

В мире производство глинозема осуществляется преимущественно из высококачественных бокситов гидроситового или гидросит-бемитового типа. В нашей стране запасы высококачественных бокситов ограничены и сосредоточены в основном на Урале. При этом отечественные руды преимущественно относятся к наиболее трудно вскрываемым бокситам диаспор и диаспор-бемитового типа.

На учете Государственного баланса запасов РФ находятся 57 месторождений бокситов, 19 из которых с забалансовыми запасами. В распределенном фонде недр находятся 17 объектов с наиболее качественными рудами [2].

Прогнозные ресурсы бокситов России составляют 723,3 млн т, или около 3% мировых запасов. Все прогнозные ресурсы находятся в западных регионах страны, в Уральской и Тиманской бокситоносных провинциях, в районах разрабатываемых месторождений, а также в бокситоносной провинции Курской Магнитной Аномалии (КМА). Наиболее перспективным для наращивания запасов является Средне-Тиманский бокситоносный район Тиманской провинции. В Уральской провинции количество прогнозных ресурсов высоких категорий гораздо меньше, в то же время ресурсный потенциал территории оценивается высоко [3].

Балансовые ресурсы бокситов в России составляют 1,46 млрд. т, но активно используется лишь половина запасов – 722,04 млн.т. В настоящее время разрабатываются и подготавливаемые к освоению месторождениях Северо-Уральского бокситоносного района Уральской провинции (Свердловская область), Средне-Тиманского района Тиманской провинции (Республика Коми) и Северо-Онежского района Онего-Тихвинской провинции (Архангельская область). На территории Ленинградской области учитываются 2 месторождения с балансовыми запасами бокситов всего 1,00 млн т и забалансовыми – 290 тыс. т. Эти запасы составляют всего 2,5 % мировых и их явно недостаточно для обеспечения отечественного производства алюминия, не говоря уже о перспективах его экспортных поставок.

В этой связи, основными задачами, стоящими перед специалистами горной отрасли, являются: изыскания и разработка месторождений высококачественных бокситов, а также поиск и разработка методов эффективного извлечения глинозема из низкокачественного боксита [4].

К примеру, в настоящее время АО «РУСАЛ», НИТУ «МИСиС» совместно с Санкт-Петербургским Горным Университетом, НПК «Механобр-техника» и ИК СО РАН разрабатывают новую комплексную кислотно-щелочную технологию получения глинозема из низкокачественного

высококремнистого сырья. Концепция технологии заключается в изначальной обработке руды кислотами с получением глинозема с примесями (оксиды железа, титана и пр.) с последующей щелочной обработкой концентрата [5].

Разрабатываемая технология включает в себя выщелачивание исходного сырья в солянокислом растворе, фильтрацию и кристаллизацию гидроксохлорида алюминия, который впоследствии подвергается термической обработке с получением черного глинозема. Черновым глинозем направляют на двухстадийное выщелачивание в растворе щелочи при атмосферных и автоклавных условиях. Полученный алюминатный раствор подвергается декомпозиции с получением гидроксида алюминия, который затем направляется на кальцинацию с получением глинозема. Технология также предполагает использование альтернативного способа разложения алюминатных растворов в гидротермальных условиях с целью замены различных технологических переделов.

Разработка и внедрение новых технологий эффективного извлечения глинозема из низкокачественных бокситов является перспективной областью исследований, так как позволяет решить целый очень важных экономических и технических задач:

- рациональное и эффективное использование балансовых запасов российских бокситов;
- увеличение объемов производимого глинозема за счет повышения степени его извлечения;
- увеличение доли экспортируемого глинозема и полуфабрикатов из алюминия.

### Список литературы

1. Гальянов А.В. Характеристика сырьевой базы алюминиевой промышленности России. / А.В. Гальянов, Т.С. Кошечева, А.В. Колесов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2012. – № 8. – С. 21-31.

2. Бройдо Е. Анализ действующих конкурентных стратегий на предприятии алюминиевой промышленности. / Е. Бройдо // Бизнес: Экономика, маркетинг, менеджмент. – 2008. – № 1. – С. 38-44.

3. Смирнова Т.А. Использование месторождений низкосортного алюминийсодержащего сырья как альтернатива ресурсного обеспечения глиноземного производства России. / Т.А. Смирнова // Микроэкономика. – 2008. – № 6. – С. 135-141.

4. Производство глинозема и экономические расчеты в цветной металлургии: Рекомендовано методическим советом Уральского федерального университета в качестве учебного пособия для студентов вуза, обучающихся по направлению подготовки 22.03.02 — Металлургия / И.В. Логинова, А.А. Шопперт, Д.А. Рогожников, А.В. Кырчиков; Министерство образования

и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург: ООО «Издательство УМЦ УПИ», 2016. – 253 с. – ISBN 978-5-8295-0484-7.

5. Патент № 2705071 С1 Российская Федерация, МПК C01F 7/20, C01F 7/30, C01F 7/46. Способ получения металлургического глинозема кислотно-щелочным способом: № 2018139196; заявл. 07.11.2018; опубл. 01.11.2019 / В.П. Тарасов, А.Ю. Наливайко, В. И. Пак [и др.]; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»».

## **ГЕОЭТИКА В ИНТЕРЕСАХ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ УСТОЙЧИВОЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА**

**Павлова А.А., Пекова И.А., Рыжова Л.П.**

*МГРИ-РГТРУ*

Минерально-сырьевой комплекс (МСК) сегодня сталкивается с проблемой обеспечения энергобезопасности. При условии внешнего санкционного давления, а также сложности внедрения некоторых инновационных технологических решений, многие предприятия МСК сегодня сталкиваются с торможением устойчивого развития, а также недостаточным уровнем обеспечения энергетической безопасности. Надежное энергоснабжение сегодня отмечается одним из обязательных направлений совершенствования производственной базы крупных предприятий. С помощью него возможно не только поддержание функционирования всех систем предприятия, но и бесперебойной работы отдельных технологических процессов добычи, транспортировки и т.д.. Экономически устойчивый путь совершенствования предприятий МСК зависит от поддержания и развития системы энергетической безопасности.

Геоэтика - синтетическая наука, объединившая в себе области естественных, технических и гуманитарных видов знаний (рис. 1).



**Рисунок 1 - Взаимосвязь геоэтики и видов знаний**

Объектом изучения геоэтики как науки являются отношения в системе «человек - неживая природа», появляющиеся в процессе изучения строения планеты Земля и недр, проведения геологоразведочных работ, добычи и реализации полезных ископаемых.

Этический поворот в горнодобывающей промышленности сосредоточен почти исключительно на уровне организаций и в первую очередь на корпорациях как этических субъектах [4].

При условии действующего состояния экономики страны МСК отмечается важным условием её плодотворного развития. Сегодня предприятия данного комплекса испытывают перегрузки и невозможность качественной трансформации реализуемой концепции развития в области обеспечения энергетической безопасности.

Экономическая стратегия предприятий МСК должна быть ориентирована на достижение долгосрочных целей и собственного совершенствования в области повышения энергоэффективности реализуемой деятельности, а также обеспечения высокого уровня энергетической безопасности, которая, в свою очередь, дополняется соответствующими организационно-экономическими механизмами [6]. Данная система должна быть ориентирована на создание условий для своевременного и плодотворного устойчивого повышения успешности финансово-экономической деятельности, а также функционирования предприятия в целом. Большинство предприятий, в том числе предприятий МСК, сегодня не имеют подобной отлаженной системы, что формирует большое количество проблем устойчивого развития при условии обеспечения энергетической безопасности, а энергетический менеджмент не развит вовсе [2].

К геоэтическим проблемам обеспечения энергетической безопасности можно отнести географическую неоднородность распределения месторождений полезных ископаемых, в частности энергетических ресурсов, на территории страны, что требует использования принципиально новых глобальных подходов к управлению и использованию минеральных ресурсов.

Сокращение запасов минеральных ресурсов, а также их естественная ограниченность и конечность ставят во главу угла вопрос о доступности и правах на минеральные ресурсы современных и будущих поколений, что также относится к геоэтическим проблемам повышения энергетической безопасности.

Космоэтический аспект обеспечения энергетической безопасности заключается в использовании при проведении геологического изучения недр и мониторинга экзогенных и эндогенных геологических процессов спутниковых технологий.

Устойчивое развитие предприятия может быть обеспечено за счет приоритетного использования вторичных ресурсов, повторная

переработка которых не оказывает столь разрушительного влияния на все оболочки Земли, которое имеет место при первоначальном извлечении полезных ископаемых и их переработке.

При условии пандемийно-санкционного кризиса, который до сих пор сопровождает работу предприятий МСК, в целом, главными направлениями изменения их работы, могут являться следующие:

- переориентация стратегии развития предприятий на преимущественное использование энергоэффективных фондов российского производства;
- переключение процессов предприятий на генерирование энергии собственными силами, при наличии такой возможности;
- осуществление применения инновационных технологий и механизмов управления энергосбережением;
- заключение контрактов с отдельными предприятиями для осуществления энергосервисного перформанс-контрактинга.

Миссия геозтики состоит во внедрении ценностного подхода, комплексных взаимосвязанных критериев в практику геологоразведочных и добычных работ, использования минеральных ресурсов и сохранения объектов неживой природы (геонаследия).

Устойчивое развитие предприятий МСК сегодня возможно только с помощью комплексного разрешения проблемных вопросов, связанных с ограничениями и введением более тысячи санкций со стороны западных стран и США. Большое количество проблем у предприятий возникло из-за недостаточной оценки необходимости технического задействования информационных технологий управления.

Предприятия МСК должны изыскивать резервы для импортозамещения оборудования и товаров, чтобы исключить финансовую и технологическую зависимость. Проблемой здесь является недостаточное или несвоевременное обеспечение контроля над уровнем энергетической безопасности, выявлением несоответствий в плане оценки качества электрической энергии. Сегодня всё используемое оборудование должно соответствовать стандартам, а руководство планомерно заменять устаревшие его виды на более инновационные, учитывающие режимы электропитания и надежности общей системы электроснабжения.

### **Список литературы**

1. Верчёба А.А. Геозтические аспекты отражения социальных проблем при решении задач социально-экономического развития недропользования. // Новые идеи в науках о Земле. - 2007. - С. 414-417.
2. Ганин П.В. Сущность и особенности энергетической стратегии современного развития предприятия. // Научные труды центра перспективных экономических исследований. – 2023. - №24. – С. 5-10.

3. Геоэтический подход в выборе методов оценки бизнеса предприятий минеральносырьевого комплекса. / Рыжова Л.П. [и др.]// Новые идеи в науках о Земле. – 2023. – С. 302-304.

4. Заернюк В.М. Этический поворот в горнодобывающей промышленности. // Новые идеи в науках о Земле. – 2023. – С. 279-281.

5. Каранина Е.В. Бортников М.А. Гусейнаде Р.Н. Определение факторов энергетической безопасности предприятия. // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2022. - №4. – С. 60-66.

6. Клычева М.Д. Акулова А.Ш. Проблемы повышения энергетической безопасности и экономически устойчивого развития. // Инновационная наука. – 2019. - №12. – С. 68-70.

7. Лепилин С.В. Геоэтические дилеммы как фактор устойчивого развития. // Новые идеи в науках о Земле. – 2021. – С. 13-17.

8. Митяков Е.С. Ладынин А. И. Модель управления энергетической безопасностью высокотехнологичных предприятий. // Развитие и безопасность. – 2021. - №4. – С. 62-72.

9. Рыжова Л.П. Тенденция развития геоэтики в минерально-сырьевом комплексе (к 100-летию МГРИ-РГГРУ) // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт. – 2018. – №15. – С. 37-40.

**УДК 658.511.5**

## **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ЦИФРОВИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ**

**Рыжова Л.П., Боровков Ю.А., Курчик А.М.,  
Верчеба А.А., Бондаренко Д.В.**

*МГРИ-РГГРУ*

Цифровые технологии, являясь уже естественной основой материального производства, оказывают непосредственное воздействие на формирование минерально-сырьевого комплекса (МСК). В настоящее время в МСК отсутствует единая методика анализа состояния и оптимизации технологических процессов при проведении горных выработок в неоднородных породах, что затрудняет проведение работ по моделированию процессов управления, обоснованного и экономически эффективного выбора технологических процессов проведения горно-геологических работ.

Проблема рационального использования запасов месторождений требует решения многих геологоразведочных, горнотехнических, экономических, эколого-технических и других задач. Сложное геологическое строение, тектоническая нарушенность, разнообразие условий залегания рудных тел и физико-механических свойств пород, наличие в горных

массивах высоких гравитационно-тектонических напряжений, дополнительные проблемы погоризонтной выемки руды из-за крайне неравномерного распределения запасов в недрах существенно влияют на устойчивость разрабатываемых массивов и нарушения земной поверхности.

Применение цифровых технологий позволяет производить точные и быстрые вычисления. Параллельно с этим осуществляется приближительная оценка запасов и прорисовка контура изучаемых участков рудного тела. Например, если отбор керна ведется на протяженном интервале бурения скважин или проб в борозде, полученные данные позволяют легко перейти от двумерного изображения к трехмерному путем послойной прорисовки контура. Каждый вид полезных ископаемых характеризуется своим набором значений ключевых экономических показателей, таких как, дефицитность, обеспеченность, востребованность сырья на внутреннем или международном рынках, перспективность выявления новых месторождений, особенно для стратегических видов минерального сырья.

В настоящее время получил большое распространение во всех отраслях производства МСК новый подход к конструктивному анализу показателей, так называемая - цифровизация (цифровая трансформация). Любая компьютерная технология (КТ) представляет собой инструментарий, помогающий правильно и полно осмыслить материал, провести прогнозную оценку территории и оформить окончательные результаты в современном и доступном для понимания виде.

Одной из подобных систем является K-MINE – известная специализированная геоинформационная система для решения задач геодезии, картографии, геологии, проектирования.

Информация, заложенная в материалах аэрокосмических съемок, позволяет существенно расширять продуктивные на оруденение площади, намечать новые участки, перспективные на поиски разнообразного эндогенного и экзогенного оруденения. Анализ возможностей дистанционных методов показывает, что они могут успешно использоваться при составлении геологических и специализированных структурно-формационных карт. Такие карты уточняют условия ведения поисково-съемочных, поисковых и оценочных работ, а также служат новой основой для определения и уточнения благоприятных на то или иное оруденение предпосылок, признаков промышленной рудоносности и для выделения новых рудоперспективных площадей [2].

Требование учета всех наиболее существенных последствий реализации проектов в МСК, а также учета целей всех его участников предполагает оценку инвестиционных проектов (или нескольких вариантов одного проекта) по многим критериям, особенно геолого-экономической

оценки. Внедрение цифровых моделей и IT-технологий в горно-геологоразведочный процесс позволяют:

- актуализировать фонды геологической информации, провести оцифровку архивов;
- создать глобальные базы данных (сбор и работа со всеми данными о недрах с применением технологий искусственного интеллекта и глобальной базы данных);
- построить интерактивные геологические карты состояния недр;
- существенно упростить и ускорить процессы геомоделирования;
- разработать цифровой государственный баланс запасов с отслеживанием состояния в режиме реального времени;
- провести роботизацию геологической отрасли (дистанционное зондирование Земли с учетом снижения к минимуму ошибок при анализе с высокоскоростной съемкой и существенным снижением стоимости запусков спутников позволит совершенствовать геофизические и геохимические исследования, с возможностью их замены);
- создать интегрированные геоинформационные системы управления процессами поиска, разведки, добычи и транспортировки, ценообразования полезных ископаемых, а также мониторинга состояния окружающей среды с четкой привязкой к местности [2].

Следует отметить, что осуществление точных экономических расчетов и определение перспектив развития геологоразведочных работ, связанных с внедрением цифровых моделей и повышением уровня цифровизации, неразрывно связано с разработкой новых методов обработки информации, процессов геолого-геофизического моделирования и визуализации результатов, а также с развитием методов научно-исследовательской деятельности. В качестве критерия эффективности внедрения цифровых моделей на региональном уровне может выступать отношение между сырьевыми затратами, связанными с приростом запасов, показателями освоения горнодобывающей промышленности (добычи, транспортировки, обогащения и т.д.), но и не сырьевыми затратами, направленными на повышение производительности и создания «цифровых предприятий» [6].

### Список литературы

1. Рыжова Л.П., Боровков Ю.А., Курчик А.М., Иляхин С.В., Калинин А.Р. Разработка технико-статистических моделей эколого-экономической безопасности технологических процессов при проведении горных выработок в неоднородных породах. Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Научные основы безопасности горных работ», 22-23 ноября 2018 г. – М.: ИПКОН РАН. – 2018. - С. 188-192.



2. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (второго издания). Версия 1.3. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017. 173 с.

3. Аэрокосмические методы геологических исследований / под ред. А.В.Перцова; Мин-во природных ресурсов РФ; ФГУНПП «Аэрогеология». - СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. - 316 с.

4. Курчик А.М., Бондаренко Д.В., Рыжова Л.П. Проблемы цифровизации в горнодобывающей отрасли. // В сборнике: Новые идеи в науках о Земле. Материалы XV Международной научно-практической конференции. В 7-ми томах. – М.: МГРИ. - 2021. - С. 153-155.

5. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. – СПб.: Недра, 2002. - 424 с.

6. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Шуклин А.С. Экспериментальные исследования физических процессов избирательной выемки руд и пород при разработке пологих жил. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2018. - №2. - С. 75-81.

7. Каплунов Д.Р. Проблемы комбинированной геотехнологии при устойчивом экологически сбалансированном освоении недр. // Горный журнал. - 2018. - №1. - С. 14-16.

**УДК 338**

## **К ВОПРОСУ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ИНВЕСТИЦИЙ ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИНЕРАЛЬНО- СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ В СЛОЖНОЙ ГЕОПОЛИТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ**

**Савенко Е.И, Рыжова Л.П.**

*МГРИ-РГГУ*

В Российской Федерации по большинству стратегических и дефицитных видов минерального сырья существует значительный нераспределенный фонд недр, преимущественно образованный месторождениями, разведанными в советский период.

В 2022 г. в условиях увеличивающегося санкционного давления целый ряд российских компаний и отраслей столкнулись с угрозами и вызовами, связанными с запретами и ограничениями на ведение внешнеторговых операций со странами коллективного Запада и их союзниками.

Как подтверждает сложившаяся ситуация, позиция России в глобальной экономике и геополитике в значительной степени зависит от состояния минерально-сырьевого комплекса (МСК) страны, в т.ч. от воспроизводства минеральных ресурсов и рационального недропользования. Вследствие этого возникла необходимость в кратчайшие сроки пере-

ориентировать направления работ на решение стратегических задач по обеспечению национальных отраслей промышленности собственным минеральным сырьем.

Анализ минерально-сырьевой базы нераспределенного фонда недр выявил ряд факторов, сдерживающих его освоение: месторождения открыты преимущественно в советские годы (более 50 лет назад) и не соответствуют современным требованиям в части качества проведенных геологоразведочных работ и экономического обоснования их эксплуатации; технологические свойства руд не позволяют их перерабатывать в рамках существующих схем обогащения и переработки, при этом современные технологии на данных месторождениях не испытывались; отсутствие развитой транспортной и энергетической инфраструктуры.

С другой стороны, освоение некоторых месторождений дефицитных видов полезных ископаемых тормозится, нарушаются запланированные сроки ввода их в эксплуатацию, а на большой группе объектов добыча дефицитных полезных ископаемых из недр происходит без дальнейшего их извлечения с получением товарной продукции.

Выбраны 100 приоритетных месторождений распределенного и нераспределенного фонда недр, разработка которых может покрыть собственные потребности в дефицитных видах сырья, таких как: редкоземельные металлы, алюминиевое сырье, титан, хром и др.

По результатам укрупненных технико-экономических расчетов оцениваются объемы необходимых инвестиций для освоения месторождений в современных экономических условиях при текущей конъюнктуре рынка, себестоимость товарной продукции, наличие необходимых технологий переработки, бюджетная эффективность и окупаемость инвестиций. С целью формирования единой технологической площадки для разработки, и промышленного применения современных технологий первичной и глубокой переработки труднообогатимых руд, в первую очередь стратегических дефицитных видов минерального сырья, создан Центр технологий обогащения и переработки минерального сырья – Геотехцентр, определены направления и основные виды деятельности, разработана его концепция.

В новых условиях приоритетные направления работ были определены Перечнем поручений Президента Российской Федерации Правительству Российской Федерации от 28.06.2022 г. № Пр-1130, нацеленным на разработку мер по снижению зависимости от импорта дефицитных видов стратегического минерального сырья. Прошедший год продемонстрировал, что несмотря на сложную геополитическую ситуацию и санкционное давление МСК по-прежнему вносит решающий вклад в развитие экономики страны, являясь фундаментом межотраслевого развития и основным источником пополнения федерального бюджета.



**Рисунок 1 - Наиболее значимые результаты геологоразведочных работ, проводимых за счет средств недропользователей**

На примере АО Росгеология проведены статистический анализ (вариационный и тренд анализы) прогноза инвестиций в геологоразведочную отрасль на 2024 год.

Проведен анализ инвестиций в геологоразведку с 2013 года по 2022 год. Анализ реальных инвестиций АО «Росгеология» показал, что за 2022 год было инвестировано около 3,91 млрд р., хотя прогноз показывает 4,17538 млрд. р, а за 2023 инвестиции составили 3,472 млрд. р, но не 4,24663 млрд. р.

ТАСС опубликовал распоряжение правительства на официальном интернет-портале правовой информации о сокращении объема инвестиций в уставный капитал АО «Росгеология» в рамках федерального проекта «Геология: возрождение легенды». В 2024 году вместо 2 млрд. рублей холдинг получит 500 млн. рублей. Инвестиции направят на обновление техники для геологоразведочных работ. Планируется до конца 2024 года обновить парк новой техники до 947 ед., при этом снижая износ техники с 77% в 2022 году до 73% в 2024-м.

Улучшение инвестиционного климата МСК в условиях санкционного давления способствует созданию рабочих мест, разработке реформ в сфере финансового регулирования, влияющих на инвестирование, как на региональном, так и на международном уровнях.

### Список литературы

1. Федеральное агентство по недропользованию «Итоги работы Федерального агентства по недропользованию в 2022 году и планы на 2023 год». // Золото и технологии. – июнь 2023. - №2(60).

2. Результаты геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые в 2022 году и планы на 2023 год-Журнал «Золото и технологии», №2 (60)/июнь 2023 г.

3. Основы инвестирования. Учебное пособие-М.: Мир науки, 2022.

4. Годовой отчет АО «Росгеология» за 2013-2022 годы.

5. Добывающая промышленность №2, (44)/2024.

6. Общая теория статистики. Учебное пособие Л.П. Рыжова и др. М:ИКАР. – 2007. - 455 с.

**УДК 621.3.019.3**

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ МОДЕЛЕЙ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЦЕЛОСТНОСТИ И АНАЛИЗА МАТРИЦ РИСКОВ**

**Бабанова И.С., Соловьёв С.С.**

*Санкт-Петербургский горный университет  
императрицы Екатерины II*

Решение основных задач повышения надежности и эффективности систем электроснабжения (СЭС) электротехнических комплексов представляет особый интерес для предприятий минерально-сырьевого комплекса (МСК). Это обусловлено основными вызовами, представляющими особый интерес как для государства, так и для ряда компаний МСК. Это проявляется, прежде всего, в разработке и утверждении отдельных программ и стратегий развития, как по энергосбережению, так и повышению надежности и техническому обслуживанию и ремонтам (ТОиР) электромеханического оборудования. Подтверждение этому являются нормативные документы: [1, 2].

В последнее время можно выделить исследования, направленные на методологию оценки показателей надежности [3-5]. В представленных исследованиях рассматриваются показатели надежности и энергоэффективности предприятий МСК, рассматриваются ущербы от нарушений электроснабжения, выделяются такие ключевые показатели как коэффициент готовности системы, вероятность безотказной работы. В работах делается акцент на нормирование показателей надежности [6, 7]. В работах [8, 9] представлены алгоритмы по оценке показателей надежности для предприятий МСК на основе применения ранжирования потребителей и методики категорирования надежности электроприемников.

Основная цель представленной статьи – повышение надежности электротехнических комплексов (ЭТК) предприятий МСК на основе

комплексного подхода, включающего обоснование и разработку моделей структурно-функциональной целостности, учитывающих зависимость изменения показателей надежности систем электроснабжения (СЭС) при возникновении рисков (отказов) отдельных элементов. Данные работы являются продолжением работ авторского коллектива по применению логико-вероятностного моделирования [10, 11].

В ходе исследования были решены следующие задачи:

1) создание модели структурно-функциональной целостности для расчета показателей надежностей путем оценки рисков (на примере схемы внешнего электроснабжения для горных предприятий, схемы питания установок электроцентробежных насосов от кустовой двухтрансформаторной подстанции 6(10)/0,4 кВ) с последующим моделированием устойчивости сети при отказе нескольких элементов;

2) расчет основных показателей надежности системы, оценка значимости вкладов элементов в системную надежность;

3) исследование и выявление зависимостей оценки рисков для разных стадий эксплуатации электромеханического оборудования рассматриваемой схемы на основе анализа изменения коэффициента готовности системы от вероятности возникновения дефектов / выхода из строя оборудования;

4) матричный подход к оценке управления рисками для предприятий МСК.

Для решения задач настоящего исследования применялись методы математического моделирования, статистического расчета, логико-вероятностный метод моделирования. В качестве анализа рассматривались следующие показатели: коэффициент готовности, среднее время наработки, среднее время восстановления, вероятность безотказной работы.

По результатам исследования получены следующие выводы: выполнено моделирование устойчивости сети при отказе нескольких элементов с последующим расчётом отклонения коэффициента готовности; построены схемы структурно-функциональной целостности и произведено моделирование для ряда предприятий МСК (в количестве 6 шт.); выявлены зависимости оценки рисков электромеханического оборудования на основе анализа изменения коэффициента готовности от вероятности выхода из строя отдельного оборудования; проведена оценка значимости элементов, а также анализ положительных вкладов оборудования, на основе которого разработаны рекомендации по повышению надежности элементов с наибольшими вкладами – кабельная линия, двухобмоточный трансформатор, система управления; даны рекомендации по повышению надежности системы (замена элементов с наибольшими положительными вкладами (трансформатор, автоматический выключатель, кабельная линия); использование результатов моделиро-

вания для оптимизации ТОиР; разработаны мероприятия с учетом оценки рисков, а также анализа зависимости отклонения коэффициента готовности системы от вероятности выхода из строя. Представленные рекомендации по повышению надежности и эффективности систем электроснабжения предприятий МСК на основе логико-вероятностного метода могут быть использованы для разработки отдельных программ и стратегий, направленных на повышение надежности электроснабжения рассматриваемых схем.

### Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 N 1523-р (ред. от 28.02.2024) «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035».

2. Приказ Министерства энергетики РФ от 25 октября 2017 г. №1013 «Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики».

3. Абрамович Б.Н. Проблемы повышения эффективности электроснабжения горных и нефтегазовых предприятий / Абрамович Б.Н. // Записки Горного института. - 2014. - Том 157. - С. 90.

4. Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики [Электронный ресурс]. 2024. URL: <http://les.sei.irk.ru/> (дата обращения: 02.03.2024).

5. Назарычев А.Н. Оценка надёжности систем электроснабжения на основе специализированного программного обеспечения с учетом технического состояния электрооборудования / Назарычев А.Н., Бабанова И.С., Пугачев А.А., Андреев Д.А., Петров С.П. // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Материалы 94-го заседания Международного научного семинара. Отв. редактор В.А. Стенников. Иркутск, 2022. - С. 229-239.

6. Бабанова И.С. Анализ надежности систем электроснабжения промышленных предприятий с использованием логико-вероятностного метода / И.С. Бабанова // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2022. – № 2(68). – С. 43-59. – DOI 10.53015/18159958\_2022\_18\_2\_43.

7. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике / Руководитель Комиссии Минэнерго РФ по разработке Концепции – чл. корр. РАН, профессор, д.т.н. Воропай Н.И. М., 2011.

8. Сушков В.В. Ранжирование нефтепромышленных потребителей по приоритету отключений при возникновении дефицита активной мощности в энергосистеме с учетом возможного риска отказов электросетевого оборудования / В.В. Сушков, В.Р. Сушкова, Н.Н. Самохина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Элек-

тротехника, информационные технологии, системы управления. – 2023. – №48. – С. 175-199. – DOI 10.15593/2224-9397/2023.4.08. – EDN ПВРГА.

9. Ершов М.С. Методика категорирования надежности электроприемников на основе анализа факторов риска и их последствий / М.С. Ершов, А.Н. Комков, И. А. Мелик Шахназарова // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2022. – № 2. – С. 16-26. – DOI 10.31857/S0002331022020030. – EDN TQLTSD.

10. Соловьев С.С. Повышение энергоэффективности и надежности горных предприятий на основе анализа графиков электрических нагрузок / С.С. Соловьев, И.С. Бабанова // Энергетика будущего - цифровая трансформация: Сборник трудов III всероссийской научно-практической конференции, Липецк, 14–15 декабря 2022 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2022. – С. 86-90. – EDN KEWZXM.

11. Бабанова И.С. Оценка рисков при возникновении технологических нарушений предприятий нефтегазового комплекса / И. С. Бабанова // Надежность и безопасность энергетики. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 143-150. – DOI 10.24223/1999-5555-2023-16-3-143-150. – EDN ZSUJVO.

УДК 338.45:622

## **ОСНОВНЫЕ ИДЕИ И ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ КОНЦЕПЦИИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ РЕСУРСОВ НЕДР (КИМС/КОРН)**

**Ларичкин Ф.Д., Череповицын А.Е., Федосеев С.В., Кныш В.А.,  
Фадеев А.М., Березиков С.А., Меткин Д.М.**

*ИЭП КНЦ РАН*

В теорию и практику комплексного использования минеральных ресурсов (КИМС) и комплексного освоения недр (КОРН) основной вклад внесли отечественные (СССР, РФ) ученые и специалисты академики В.И. Вернадский, А.Е. Ферсман, И.П. Бардин, Н.В. Мельников, М.И. Агошков, К.Н. Трубецкой, В.А. Чантурия, доктора наук В.А. Резниченко, А.Д. Верхотуров и другие, обосновавшие и сформулировавшие 9 различных взаимосвязанных парадигм (моделей) концепции КИМС/КОРН [1].

В зарубежной (западной) литературе понятие и терминология КИМС/КОРН практически не используются, а упоминаются только в части распределения общих затрат комбинированного многопродуктового производства между вырабатываемыми товарными продуктами, хотя в практической деятельности комбинированная многопродуктовая переработка ресурсов осуществляется.

В дружественных к России странах, например, в Китае, Иране, среднеазиатских странах - бывших республиках СССР понятие и терминология КИМС/КОРН используются достаточно широко, а в Казахстане с 1978 г. до настоящего времени издается специализированный журнал «Комплексное использование минерального сырья» и регулярно проводятся международные конференции по этой тематике.

Современная парадигма недропользования, как представляется, должна включать наиболее важные совместимые элементы всех известных моделей и дополняться новыми достижениями науки и техники, в частности, новых научных направлений – «нанотехнологии», «природоподобные технологии».

С точки зрения развития научных основ теории проектирования комплексного освоения, использования и сохранения недр, оценки экономической эффективности и практической реализации основных идей и моделей концепции КИМС/КОРН в российской реальной хозяйственной практике недропользования можно выделить, как минимум, пять различных последовательных этапов (таблица).

Таблица

**Основные этапы развития концепции и методологии оценки эффективности комплексного использования минерального сырья (КИМС)/комплексного освоения ресурсов недр (КОРН)**

№ №	Наименование этапа	Временной период (годы)	Основания для выделения этапа развития КИМС/КОРН
1	Начальный - исследовательский	1932 – 1972	Доклад акад. А.Е Ферсмана в Госплане СССР [2].
2	Интенсивный - геологический	1972 - 1991	Идеи акад. Н.В. Мельникова [3-5]; Постановления ЦК КПСС 1972 г. [6]; Закон СССР о недрах [7]; Требования к комплексному изучению... [8].
3	Переходный (от плановой к рыночной экономике)	1992 - 2007	28.10.1991 г. на V съезде народных депутатов РСФСР Ельцин объявляет о переходе к рынку с 01.01.1992 г.; Нормативно-методическая документация [9].
4	Современный (социо-эколого-экономически сбалансированный)	2007 – настоящее время	Нормативно-методическая документация [10]; Работы ИПКОН РАН [3-5, 11-22]; Новые подходы к оценке эффективности КИМС/КОРН и обоснованию параметров кондиций [1, 23-26].
5	Перспективный (КИМС + КОРН)	С 1932 – на долгую перспективу	Работы и решения [1-26].



Основной вклад в разработку научных основ теории проектирования и реализации идей комплексного освоения и сохранения недр внесли и вносят ученые ИПКОН РАН имени академика Н.В. Мельникова [3-5, 11-22].

Заметный вклад в развитие научных основ экономики и методологии оценки социо-эколого-экономической сбалансированности и эффективности КИМС/КОРН в современных рыночных условиях внесен ИЭП КНЦ РАН, цикл работ которого одобрен научно-технической общественностью, частично реализован на горнопромышленных предприятиях Кольского полуострова и Республики Казахстан и удостоен премии РАН имени академика Н.В. Мельникова за 2019 г. [1, 23-26].

### Список литературы

1. Ларичкин Ф.Д. Экономическая эффективность рационального недропользования в горнорудной промышленности. Автореф. ...д.э.н. – Санкт-Петербург, 2004. – 46 с.

2. Ферсман А.Е. Комплексное использование ископаемого сырья. - Л.: АН СССР, 1932. – 20 с.

3. Мельников Н.В., Агошков М.И. Задачи научных исследований в области комплексного освоения месторождений, использование минерального сырья и охраны недр //Комплексное использование минерального сырья, 1979, №7. – С. 3-11.

4. Агошков М.И. Развитие идей и практики комплексного освоения недр //Горный журнал, - 1984. - №3. - С. 3-6.

5. Мельников Н.В. Минерально-сырьевые ресурсы и комплексное их освоение. Избранные труды. М.: Наука, 1987. – 300 с.

6. Постановление ЦК КПСС от 10.11.1972 г. «О работе партийных организаций Усть-Каменогорского свинцово-цинкового и Балхашского горно-металлургического комбинатов по мобилизации коллективов на достижение высоких показателей по комплексному использованию рудного сырья».

7. Закон СССР от 09.07.1975 г. «Об утверждении Основ законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах» ([www.libussr.ru](http://www.libussr.ru)).

8. Требования к комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных компонентов. - М: ГКЗ СССР, 1982. – 21 с.

9. Методические рекомендации по геолого-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). - М: ГКЗ Минприроды РФ, 1999. – 75 с.

10. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р. - М.: НП НАЭН, 2007. - 60 с.

11. Горные науки, освоение и сохранение недр Земли /Под ред. акад. К.Н.Трубецкого. - М.: Изд. АГН, 1997. – 475 с.

12. Трубецкой К.Н., Воробьев А.Е. Классификация методов воспроизводства минерального сырья //Горный журнал. - 1998. - № 1. - С. 30-34.

13. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Принципы построения экологически безопасных геотехнологий //Горный вестник. - 1999. - №4-5. - С. 21-28.

14. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Бурцев Л.И. Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. - М.: Научтехлитиздат, 2003. - 261с.

15. Проблемы комплексного освоения недр суперкрупных месторождений стратегического сырья // Под ред. К.Н. Трубецкого, Д.Р. Каплунова. – М.: ИПКОН РАН, 2006. – 486.

16. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Развитие теории проектирования и реализация идей комплексного освоения недр //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2008. – С. 20-41.

17. Комплексное освоение недр: перспективы расширения минерально-сырьевой базы России // под ред. акад. РАН К.Н. Трубецкого, акад. РАН В.А. Чантурия, член-корр. РАН Д.Р. Каплунова. – М.: ИПКОН РАН, 2009. - 454 с. - ISBN 5-201-15610-X.

18. Каплунов Д.Р. Перспектива комплексного освоения недр – комбинированные геотехнологии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2010, Выпуск №12. Т. 1. – С. 45.

19. Каплунов Д.Р., Радченко Д.Н. Обоснование полного цикла комплексного освоения недр при разработке месторождений твердых полезных ископаемых //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2011. – С. 447-455.

20. Чантурия В.А. Основные направления комплексной переработки минерального сырья //Горный журнал. - 1995. - №1. - С. 50-54.

21. Чантурия В.А. Теория и практика использования электрохимических и радиационных воздействий в процессе первичной переработки минерального сырья. - М.: МГГУ, 1993.

22. Чантурия В.А. Теоретические основы повышения контрастности свойств и эффективности разделения минеральных компонентов //Цветные металлы. - 1998. - №9. - С. 11-17.

23. Ларичкин Ф.Д. Научные основы оценки экономической эффективности комплексного использования минерального сырья. – Апатиты: КНЦ РАН, 2004. – 252 с.

24. Ларичкин Ф.Д. Теория и практика стоимостной оценки полезных компонентов в минеральном сырье и продуктах его комплексной переработки. – М.: НП НАЭН, 2008. – 88 с.

25. Ларичкин Ф.Д., Пономаренко Т.В. Затраты в комбинированных горнопромышленных производствах: формирование и управление. – Апатиты: КНЦ РАН, 2012. – 154 с.

26. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=d1010cf8-169b-4396-a69d-0c20ea1f92fd#content>

# СОЗИДАТЕЛЬНОЕ ОСВОЕНИЕ НЕДР ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫМИ СИСТЕМАМИ В ЗАМКНУТОМ ЦИКЛЕ НА ОСНОВЕ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ

Битимбаев М.Ж.<sup>1</sup>, Кунаев М.С.<sup>2</sup>, Джумабаев Е.И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Горный журнал Казахстана,

<sup>2</sup> ТОО «МК Metals Holding,

<sup>3</sup> ТОО «Научно-производственное предприятие «Интеррин»

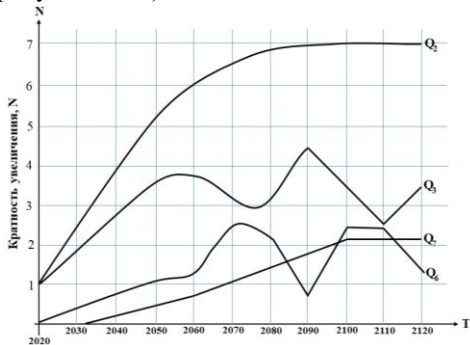
Созидательное освоения недр – это обобщение систем знаний и их совокупное развитие для совместного и не противоречащего друг другу решения и реализация в реальной природной среде технологий, создающих одновременно условия ресурсовоспроизводства, ресурсосбережения и сохранения качественной природной среды.

Эти условия должны соблюдаться и действовать в историческом масштабе времени в формате постоянного обеспечения человечества сырьевой базой, определяющий императив совокупного решения задач экономически эффективного и безопасного, технологически исполнимого освоения недр, сопровождаемого управляемым взаимодействием геотехнологий и минералургии с окружающей природной средой представляет собой обязательное воссоздание её нормативного качества.

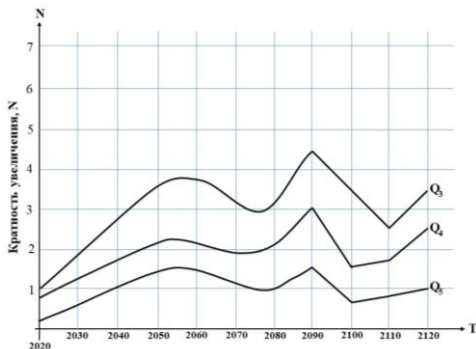
Исходя из безальтернативности необходимости оптимизации управления природно-техногенными системами в направлениях одновременно экологии, экономики и технологической безопасности, решение определяется созданием «дуального управления», при котором управляющие воздействия служат одновременно для изучения управляемого объекта (геологической среды) и для приведения его к оптимальному состоянию. Это оптимальное состояние должно удовлетворять геологическим факторам, геологическим и инженерно-геологическим процессам, горно-техническим факторами как взаимозависимым природным и искусственного происхождения условиям, присутствующим в горно-обогатительном производстве.

Природно-техногенная совокупность систем в оптимальном варианте, который будет представлять собой максимальную эффективность множества альтернатив достижения цели по обеспечению человечества неисчерпаемыми запасами металлов в историческом масштабе времени, должна быть управляемой, ресурсовоспроизводящей, ресурсосберегающей, сохраняющей качественную природную среду, технически исполнимой и безопасной, рентабельной в соответствии со спросом на рынке и достигаемой себестоимостью [1].

Методологическое научное обеспечение исследований и конструирования сложноорганизованных объектов, разработанное на основе системного анализа, позволило создать ожидаемый график потребления и производства металлов по источникам их существования (таблица 1, рисунки 1 и 2).



**Рисунок 1 – Прогнозируемое производство металлов суммарно Q<sub>2</sub> и из источников образования Q<sub>3</sub>, Q<sub>6</sub> и Q<sub>7</sub>**



**Рисунок 2 – Прогнозируемое производство металлов из источника образования Q<sub>3</sub> и ее составляющих Q<sub>4</sub> и Q<sub>5</sub>**

Таблица 1

## Прогнозируемые источники производства металлов

№№ п/п	Исчисляемые показатели (источники производства металлов)	Годы прогнозирования										
		2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2110	2120
1	Суммарное производство $Q_2 = Q_1 + Q_3 + Q_4$	1	2,35	3,7	5,1	6,0	6,6	6,7	6,9	7,0	7,0	7,0
2	$Q_4 = Q_4 + Q_5$ , в т.ч.	0,9 0,9	1,85 0,787	2,7 0,73	3,62 0,71	3,71 0,62	3,10 0,465	3,10 0,45	4,5 0,65	2,31 0,33	2,5 0,355	3,5 0,5
	$Q_5$	0,75 0,75	1,2 0,51	1,7 0,46	2,22 0,435	2,21 0,37	1,98 0,3	2,05 0,3	3,0 0,435	1,61 0,23	1,7 0,243	2,52 0,36
3	$Q_6$	0,1 0,1	0,65 0,277	1,0 0,27	1,4 0,275	1,5 0,25	1,12 0,165	1,05 0,15	1,5 0,215	0,7 0,1	0,8 0,112	0,98 0,14
	$Q_7$	0,1 0,1	0,5 0,213	0,74 0,2	1,08 0,21	1,6 0,265	2,51 0,385	2,28 0,34	0,6 0,087	2,52 0,36	2,34 0,335	1,33 0,19
4	$Q_7$	0 0	0 0	0,26 0,07	0,4 0,08	0,69 0,115	0,99 0,15	1,41 0,21	1,8 0,263	2,17 0,31	2,16 0,31	2,17 0,31
5	$Q_1$ -потребление металлов ( $Q_1 \geq 0,95Q_2$ )	0,95	2,2325	3,515	4,845	5,7	6,27	6,365	6,555	6,65	6,65	6,65

Примечание: в таблице 1 в числителе доля в увеличении производства  $Q_2$ , в знаменателе – доля в объеме производства.

Принятые при прогнозировании в таблице 1, на рисунке 1 и рисунке 2 символы означают:

$Q_1$  – прогнозируемое потребление металлов ( $Q_1 \geq 0,95Q_2$ );

$Q_2$  – прогнозируемое производство металлов суммарное из источников  $Q_3$ ,  $Q_6$  и  $Q_7$  ( $Q_2=Q_3+Q_6+Q_7$ );

$Q_3$  – производство металлов из первичных георесурсов недр Земли, представляющих первую группу из систематизации георесурсов по классификации акад. М.И. Агошкова и вторичных георесурсов, образующихся из первичных георесурсов в виде проектных потерь в недрах Земли и в виде отходов производства, заскладированных на поверхности (отвалы забалансовых запасов, породы, шлаков, шламов, клинкеров, хвосты обогащения),  $Q_3= Q_4+Q_5$ ;

$Q_4$  – добыча природно-техногенными системами освоения недр (первичные георесурсы за исключением потерь в недрах балансовых запасов) и на поверхности в виде хвостов обогащения, шлаков, шламов, клинкеров и т.п.;

$Q_5$  – производство металлов добычей ранее оставленных в недрах в виде проектных потерь балансовых запасов и переработкой отходов, заскладированных на поверхности, в формате «полного цикла освоения рудных месторождений» [2];

$Q_6$  – вторичные ресурсы в виде металлов и их сплавов, образованных из однажды произведенного металла, возвращаемых многократно в ресурсооборот (формат «циркулярной экономики») [3];

$Q_7$  – производство металлов, добываемых физико-химическими технологиями в процессе выщелачивания (ФХГТ - ПВ) (прогнозируемая добыча из скоплений металлов, образуемых ореольным пространством в латеральном и вертикальном измерениях, вмещающими породами, забалансовыми запасами в традиционных месторождениях с перерасчетом в сторону снижения показателей понятий минимального промышленного содержания и бортового содержания в формате «новых горнодобывающих границ») [4].

Определение «новые горнодобывающие границы» («new mining frontiers») предложено 26-ым Всемирным Горным Конгрессом (г. Брисбен, Австралия, июнь 2023) как программная составляющая общей темы «Обеспечение ресурсами завтрашнего дня. Создание ценностей для общества»

Прогнозируемые данные подготовлены на основании учета приведенных выше источников, которые абсолютно точно известны и могут принимать равное участие в оценке состояния и развития производства металлов и создания условий неисчерпаемой обеспеченности

цивилизации их сырьевой базой. Неисчерпаемость сырьевой базы должна одновременно сопровождаться сохранением качественной природной среды в атмосфере, в растительном и животном мире, в водном балансе и в массиве недр, поэтому особенность предлагаемых технологических решений заключается в объединении процессов освоения недр и их сохранения.

Предлагаемая оценка построена на базе континентальной земной коры, ресурсные возможности которой рассчитаны с учетом ограничений, которые были приняты во внимание в соответствии с ранее проведенным анализом.

### **Список литературы**

1. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли. Под редакцией академика РАН К.Н.Трубецкого. - М.: Академия горных наук. 1997. 478 с.

2. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Принципы проектирования реализации горнотехнических систем с полным циклом освоения рудных месторождений. Проблемы проектирования технологий подземной и комбинированной разработки месторождений. - М.: ГИАБ. 2013, №5. С. 3-11.

3. Битимбаев М.Ж., Кунаев М.С. Источники и технологические направления обеспечения устойчивости экономики в режиме воспроизводства ресурсов. 3-й Международный Косыгинский форум. Современные инженерные проблемы ключевых отраслей экономики страны. - М.: Российский Государственный университет имени А.Н.Косыгина. 2024.С88-93.

4. Битимбаев М.Ж., Кунаев М.С., Абен Е.Х., Ахметканов Д.К. Комплексное освоение недр и сохранение качественной природной среды – основа стратегии устойчивого социального развития. – Алматы: Сатпаев университет. 2023. 335с.

# **ЦИФРОВИЗАЦИЯ И РОБОТОТЕХНИКА В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ СЕКТОРЕ. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

---

---

УДК 539.421

## **ОБ АЛГОРИТМАХ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА УГЛЕПОРОДНЫХ МАССИВОВ**

**Глухов А.А., Анциферов А.В.**

*ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк*

Под микросейсмами понимают малоамплитудные колебания земной поверхности, вызванные как естественными причинами, так и результатами деятельности человека. Применение микросейсмического мониторинга позволяет оценивать структуру и состояние горного массива [1], решать практические задачи горнодобывающей отрасли. В частности, анализ микросейсм позволяет прогнозировать деформации массива горных пород, определять параметры зон трещиноватости и тектонических нарушений.

В настоящей работе кратко описаны функциональные возможности разработанного в ФГБНУ «РАНИМИ» программного комплекса обработки и анализа результатов микросейсмического мониторинга. Он предназначен для интерпретации микросейсмических данных для оценки возможности прогноза аномальных скоплений метана в зонах тектонических разломов углепородных массивов. Кроме этого в задачу комплекса входит анализ геодинамических процессов вызванных добычей угля подземным способом.

В качестве исходных данных используются сейсмозаписи результатов мониторинговых наблюдений, выполненных в 2020-2021 годах в посёлке Объединённый (г. Макеевка, Донецкая Народная Республика) [2] над полем шахты «Калиновская-Восточная».

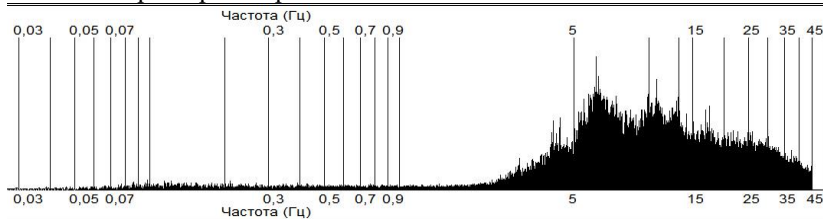
Регистрируемые колебания по частотному диапазону условно разделяются на три зоны (см. рис. 1). Первая имеет частотный диапазон



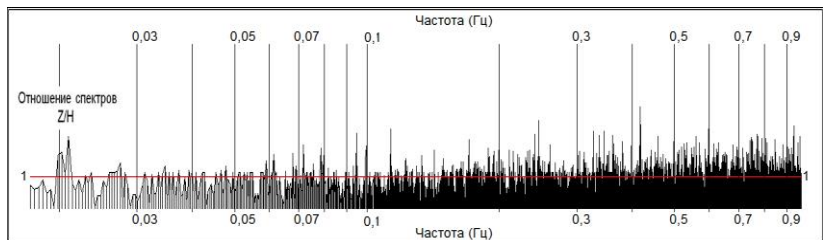
на частотах до 0,05 Гц. Она неинформативна, поскольку рабочий диапазон датчиков не обеспечивает адекватный прием подобных сигналов. Во второй зоне (от 0,05 Гц, до 1-2 Гц) располагаются, как правило, колебания, вызванные естественными причинами [1]. Третья зона располагается на частотах более 2 Гц. Это шумы вызванные деятельностью человека. В данном случае к вибрациям, вызываемым наземными предприятиями, оборудованием, транспортом, добавляются колебания, вызванные работой угледобывающих комплексов, разрушением породы и угля и т.п.

Алгоритм выделения колебаний вызванных глубинными естественными причинами основывается на том, что их горизонтальные и вертикальные составляющие подобны. Деятельность человека, как правило, генерирует микросейсмические колебания в вертикальной плоскости. Поэтому рассчитав соотношения горизонтальных и вертикальных спектральных характеристик по схеме, предлагаемой в работе [3], можно оценить природу колебаний.

На рис. 2 представлено характерное отношение спектров микросейсмических колебаний в вертикальной и горизонтальной плоскости на низких частотах. В этой зоне отношения спектров располагаются близко к значению 1.0, что говорит об их подобии и, соответственно, о естественном характере микросейсм.



**Рисунок 1 - Характерный спектр регистрируемых микросейсмических колебаний**

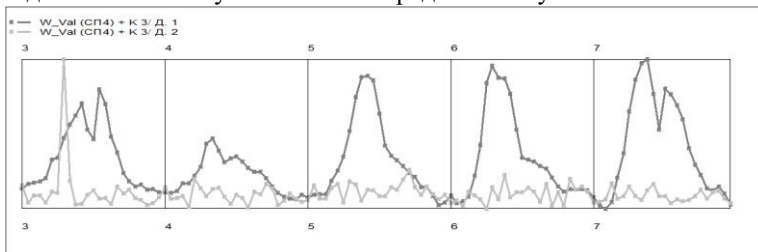


**Рисунок 2 - Характерное отношение спектров микросейсмических колебаний в вертикальной и горизонтальной плоскости на низких частотах**

В программном комплексе предусмотрен расчет отношений спектров как отдельных сейсмозаписей, так и суммарных спектров полученных за длительный период времени. Могут быть выбраны как условно «спокойные», так и «шумные» участки сейсмозаписей. В дополнение к расчету спектральных отношений реализованы процедуры оценки степени поляризации, анализа поляризационных диаграмм в различных плоскостях. Кроме этого представлены средства корреляционного анализа сейсмограмм, спектров компонент волнового поля, а также спектральных отношений.

Процедуры статистической обработки результатов предназначены для исследования характера изменения параметров поля микросейсмических колебаний во времени. Информация представляется в виде графиков и диаграмм.

На рис. 3 для примера приведен график изменения максимальной частоты микросейсмических колебаний за период с 3 по 7 июня 22 года для всего частотного диапазона (темная линия) и частотного диапазона от 0.1 до 1.0 Гц (более светлая). Даты отображены на шкале. На полном частотном диапазоне доминируют шумы искусственного происхождения, имеющие характерные минимумы в ночное время и максимумы ближе к полудню. На данном примере на низких частотах периодичность не так заметна, хотя она также присутствует. Ее природа и природа отдельных максимумов является предметом изучения.



**Рисунок 3 - Графики изменения во времени средней амплитуды микросейсмических колебаний за период в несколько суток**

В настоящее время продолжается дополнение комплекса программ процедурами обработки, продолжается формирование базы данных микросейсмического мониторинга.

### Список литературы

1. Горбатилов А.В. Возможность оценки параметров геологических объектов на основе использования фонового микросейсмического поля. Результаты экспериментальных исследований и моделирование / А.В. Горбатилов // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Матер. междунар. конф. - 2006. - С. 66-71.

2. Анциферов А.В. Мониторинг техногенной сейсмичности в зоне влияния угольных шахт Донбасса (на примере ш. «Калиновская-Восточная» ГП «Макеевуголь») [Текст] / А. В. Анциферов [и др.] // Труды РАНИМИ : сб. науч. тр. – Донецк, 2020. – № 9 (24). – С. 78-87.

3. Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface // Quarterly Report of Railway Technical Institute, 1989. Vol. 30. N 1, P. 25-33.

**УДК 622**

## **МОНИТОРИНГ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ**

**Аверин А.П., Шендрикова В.Е.**

*ИПКОН РАН*

На территории Кузбасса в год производится более 6000 промышленных взрывов [1]. Качество производства буровзрывных работ (БВР) непосредственно влияет на экономическую эффективность работы горнодобывающего предприятия и экологическую безопасность региона.

На сегодняшний день на большинстве горнодобывающих предприятий Кузбасса активно применяются камеры видеонаблюдения для видеофиксации промышленных взрывов, однако эта информация подвергается только визуальной оценке специалистами предприятия. Применение технологии машинного зрения позволяет оперативно получить ряд дополнительных независимых оценок результатов БВР: наличие забойки, качество взрывчатого вещества (ВВ), отказы и др. [2].

В рамках данного исследования проведен анализ нескольких десятков видеозаписей массовых взрывов на угольных разрезах, на основе которых рассмотрены варианты компьютерной обработки видеоизображения для выбора и обоснования критериев оценки эффективности промышленных взрывов.

Рассматриваются следующие подходы к обработке видео:

1) без алгоритмов глубокого обучения (применение алгоритмов вычитания фона библиотеки OpenCV);

2) с применением алгоритмов глубокого обучения (применение сверточных нейронных сетей семейства YOLO для детектирования столбов вылетающей на поверхность породы и пыли).

Под глубоким обучением подразумевается машинное обучение с использованием искусственных нейронов, составляющих многослойные сети, самообучающиеся на больших объемах данных.

Поиск и выделение контура пылегазового облака осуществлялся без применения алгоритмов глубокого обучения.

Для реализации данного подхода использовался язык программирования Python и открытая библиотека алгоритмов компьютерного зрения OpenCV.

Выделение контура пылегазового облака в данном подходе осуществляется в несколько этапов:

- 1) вычитание фона с применением алгоритмов библиотеки OpenCV;
- 2) применение медианного фильтра для удаления шумов;
- 3) обнаружение контуров и подсчет их площадей с последующим отбрасыванием контуров, площади которых меньше установленного порога;
- 4) аппроксимация линий контура и его отрисовка по верхним точкам объекта.

Главная идея всех алгоритмов вычитания фона заключается в определении заднего плана - статичного изображения, которое не меняется от кадра к кадру, и определении движущихся объектов путем нахождения разницы между текущим кадром и задним планом.

Библиотека OpenCV предоставляет различные алгоритмы вычитания фона. Опытным путем для решения поставленной задачи был выбран алгоритм BackgroundSubtractorKNN, результат работы которого оказался наиболее репрезентативным и был принят за основу для последующей обработки видео, алгоритм которой представлен выше.

Выделение отдельных пылегазовых факелов над скважинами осуществлялось с применением нейронных сетей глубокого обучения

Для реализации данного подхода необходимо было предварительно составить обучающий набор данных (далее - датасет). Набор содержит кадры исходного видео взрыва, значения обрамляющих объект прямоугольников и масок (сегментированные объекты), сохраненных в формате для работы с моделью YOLO. Обучение модели проводилось на датасете из 2000 размеченных изображений в течение 300 эпох.

Результат работы совокупности алгоритмов выделения контура и пылегазовых факелов приведен на рисунке 1.

Детектирование объекта с помощью нейронной сети позволяет определить его пиксельные координаты на изображении и соответственно рассчитать высоту границы видимого пылегазового облака или факела над скважиной.



**Рисунок 1 – Результат применения совокупности алгоритмов OpenCV и модели нейронной сети**

При стационарном размещении видеокамеры в точке с известными координатами и известных координатах скважин, взрываемого блока, можно вычислить пиксельную привязку каждой скважины и расстояние от камеры до устья скважины. Покадровое изменение видеопотока позволяет зафиксировать появление пылегазового облака над каждой видимой координатой устья скважины и, следовательно, пересчитать пиксельную разницу в метры. Зная частоту обновления кадров (FPS) в видеопотоке, мы получаем интервал времени, за который верхняя граница облака перемещается от кадра к кадру и, соответственно, скорость вылета пылегазового факела. Скорость вылета может служить начальными условиями для моделирования объема образованной пыли, высоты подъема облака и дальность переноса пыли [3].

Таким образом, при помощи технологии компьютерного зрения предлагается мониторинг промышленных взрывов и сравнительная оценка каждого взрыва по следующим критериям:

- наличие/отсутствие забойки;
- количество и скорость вылета пылегазовой струи;
- высота подъема пылегазового облака;
- скорость рассеивания пылегазового облака;
- цвет, как свидетельство наличия окислов азота

В перспективе, предполагается применение стереопары из двух разнесенных видеокамер для трехмерной оценки негативных факторов.

### Список литературы

1. Анализ обстановки на территории Кемеровской области за февраль 2023 г. [https://дпчс42.рф/upload/medialibrary/bb4/2annymrdu7hahbl11r1rsb5sls5uvcuto/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%20%D0%BE%D0%B1%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B8%20%D0%BD%D0%B0%20%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B8%20%D0%9A%D1%83%D0%B7%D0%B1%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0%20%D0%B2%20%D1%84%D0%B5%D0%B2%D1%80%D0%B0%D0%BB%D0%B5%202023\\_copy.pdf](https://дпчс42.рф/upload/medialibrary/bb4/2annymrdu7hahbl11r1rsb5sls5uvcuto/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%20%D0%BE%D0%B1%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B8%20%D0%BD%D0%B0%20%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B8%20%D0%9A%D1%83%D0%B7%D0%B1%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0%20%D0%B2%20%D1%84%D0%B5%D0%B2%D1%80%D0%B0%D0%BB%D0%B5%202023_copy.pdf)

2. Yin J, Lu J, Tian F, Wang S. Pollutant Migration Pattern during Open-Pit Rock Blasting Based on Digital Image Analysis Technology. *Mathematics*. 2022; 10(17):3205. <https://doi.org/10.3390/math10173205>

3. Franco Garcia, M. D. P. (2022). *Video analysis of the blast face at the El Aljibe quarry*. [Master's Thesis, Montanuniversitaet Leoben (000)]. <https://pureadmin.unileoben.ac.at/ws/portalfiles/portal/8834015/AC16513053.pdf>

УДК: 528: 622.012.3

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА ПРИ СКАНИРОВАНИИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ОБЪЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ

Грищенко Н.Н., Голубев Ф.М.

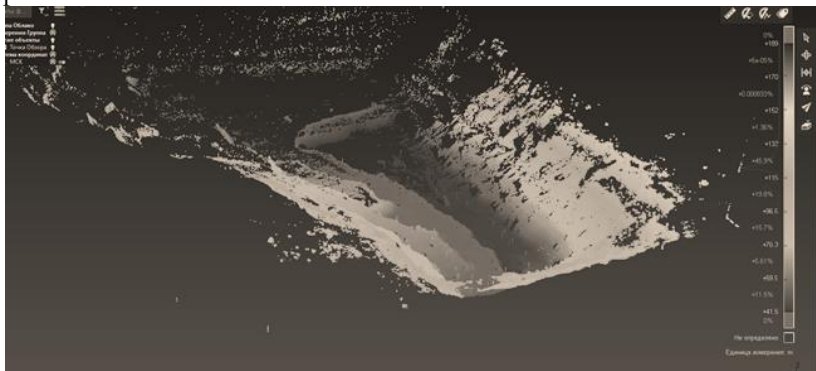
ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк

Формирование геодезических трехмерных моделей с помощью современных наземных лазерных сканеров позволяет решать широкий перечень маркшейдерских задач, описанных в ПБ 07-601-03 [1] с не меньшей точностью, чем с использованием классического оптического измерительного оборудования. Стоит отметить, что одной из наиболее трудоёмких задач, возникающих при формировании объёмных моделей, является формирование единого облака точек из облаков точек, снятых с различных точек стояния. Применение различного программного обеспечения для обработки облаков точек, получаемых при сканировании [2, 3], не позволяет их корректно позиционировать без должного геодезического обоснования. Для достижения удовлетворительной точности обработки облака точек необходимо проведение геодезических работ, требующих затрат времени в несколько раз превышающих время

самой съёмки, что подчёркивает актуальность совершенствования методики проведения съёмочных работ с использованием наземных лазерных сканеров.

Опыт применения наземного лазерного сканера RIEGL LMS-420i на Каранском карьере показывает, что удовлетворительная видимость бортов обеспечивается вплоть до расстояния 700-800 метров. Пример результатов сканирования наземным лазерным сканером приведен на рисунке 1.

Стоит отметить, что интенсивность отраженного сигнала существенно снижается с удалением от сканера, в связи с чем, светоотражающие полиуретановые марки не видны уже на расстояниях 250-300 метров. Это приводит к необходимости использования сотен таких марок для формирования трёхмерных геодезических моделей крупных объектов, таких как карьеры или участки со сложной структурой рельефа.

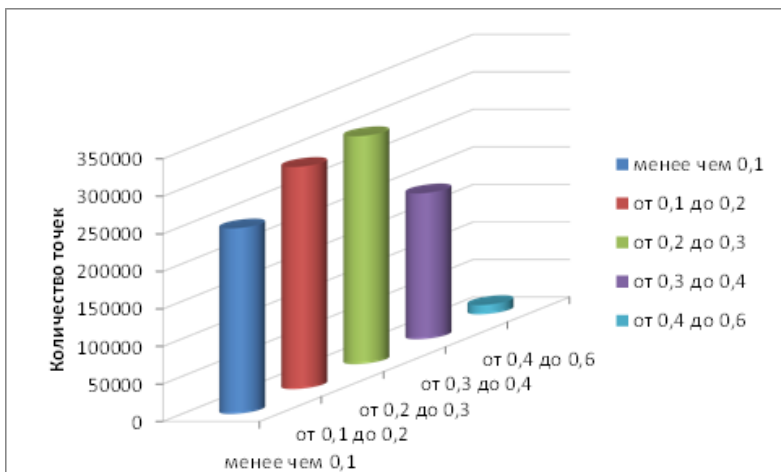


**Рисунок 1 – Результаты съемки наземным лазерным сканером RIEGL с одной точки стояния**

Для оптимизации ведения работ по съёмке и высокоточному позиционированию облаков точек была разработана методика применения активных тахеометрических призм в качестве опорных точек при позиционировании снимков, полученных при наземном лазерном сканировании.

Экспериментальным путем установлено, что высокая интенсивность отражённого сигнала, свойственная для призм, позволяет их идентифицировать на снимках с расстояния до 1000 метров.

Результаты анализа интенсивности отражённого сигнала одного из снимков, включающего более 1000 000 точек показал, что интервалы интенсивности отраженного сигнала, при их определении от 0 до 1, варьируются в пределах, приведенных на рисунке 2.



**Рисунок 2 – График интенсивности отражённого сигнала точек на снимке Каранского карьера**

Данные, приведенные на рисунке 2, позволяют не только констатировать, что около 99% точек, зафиксированных лазерным сканером, имеют интенсивность отражения в пределах 0,1-0,4, но и зафиксировать интенсивность отражённого сигнала светоотражающих призм, который превышает 0,46.

Стоит отметить, что за счет возможности идентификации светоотражающих призм с любой точки стояния наземного лазерного сканера, на порядок сокращается количество необходимых опорных точек, что в свою очередь снижает затраты времени на создание геодезического обоснования в несколько раз.

Важным уточнением является тот факт, что удовлетворительное качество позиционирования снимков может быть достигнуто только при высокой точности определения координат призм, для чего каждая призма устанавливается на отцентрированный штатив. Определение координат расположения призм, установленных на штативах, возможно с применением GNSS приемников. Не менее важным условием является правильный выбор места установки сканера. Необходимо чтобы между сканером и призмой была прямая видимость исследуемого участка карьера, отсутствие крупная растительность (кусты, деревья).

Применение данного подхода позволяет создавать модели карьеров и участков со сложной структурой рельефа за три-четыре рабочих дня при задействовании штата из пяти специалистов, среди которых должно быть не менее двух инженеров-маркшейдеров.



## Список литературы

1. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль (РД 07-603-03) [Текст]. Сер. 07. Вып. 15. М.: Федерал. гос. унитар. предприятие «Научно-техн. центр по безопасности в пром-ти», 2006. 120 с.
2. Лазерное сканирование и трехмерное моделирование [Текст] / А. В. Комиссаров. – Новосибирск: СГУГиТ, 2020. – 58 с.
3. Середович, В. А. Наземное лазерное сканирование / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОРЕЗАНИЯ УГЛЯ

**Атрушкевич В.А., Дмитрак Ю.В., Кравцов А.А.**

*ИПКОН РАН*

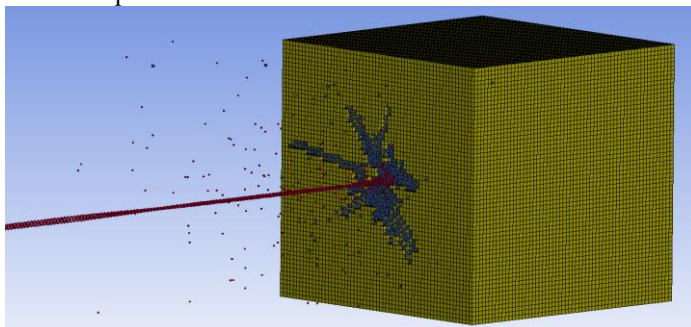
Гидравлическая добыча угля успешно применяется с середины 20-го века. Отличительной чертой этой технологии является поточность и малооперационность – отбойка и доставка горной массы осуществляется потоком воды. Эти особенности делают гидравлическую добычу угля перспективным кандидатом для применения в шахтах будущего – ее легче роботизировать и она безопаснее традиционной добычи ввиду естественного подавления угольной пыли влагой [1, 2].

Компьютерное моделирование позволит существенно облегчить разработку новых решений для добычи угля гидрорезанием, в том числе роботизированных. С ростом производительности вычислительных систем становится возможным детальное моделирование физических процессов – то есть создание их цифровых двойников. Такие двойники позволяют оценить производительность процессов при различных параметрах оборудования, не создавая его физически. Более того, они открывают возможности для оптимизации оборудования с применением искусственного интеллекта.

Нами была разработана физическая модель тонкоструйного гидрорезания угля в программе LS-Dyna пакета Ansys. Эта программа предназначена для моделирования механических и тепловых процессов методом конечных элементов. Важным отличием модели является симуляция процесса вымывания струей осколков угля и воды из щели. То есть, первая порция струи, попадая на поверхность угля, образует щель. Последующая порция уже контактирует не с поверхностью угля, а с водой и осколками угля, содержащимися в щели, и вымывает их – при этом значительно снижается эффективность резания. Таким образом, модель еще точнее симулирует реальный процесс гидравлической отбойки.

Модель позволяет оценить производительность в зависимости от различных параметров, таких как скорость и диаметр струи, скорость

и траектория перемещения сопла вдоль забоя. Пример визуализации представлен на рис. 1.



**Рисунок 1 - Визуализация модели гидрорезания угля**

Размер сетки неразрушенного угля составляет 1 мм, его состояние описывается моделью CSCM [3]. Критерием разрушения принято превышение давления в 20 МПа, что соответствует крепости угля по шкале Протодяконова. Струя воды моделируется бессеточным методом гидродинамики сглаженных частиц (SPH) и описывается уравнением состояния Мурнагана (1).

$$P(V) = \frac{K_0}{K'_0} \left[ \left( \frac{V}{V_0} \right)^{-K'_0} - 1 \right] \quad (1)$$

Отдельно рассмотрим метод симуляции осколков. Обычно разрушенные элементы удаляются из симуляции – это допустимо, например, для изучения поведения материала при ударе или изгибе. Но при гидрорезании осколки играют важную роль, поэтому игнорировать их недопустимо. В разработанной модели разрушенные элементы сетки угля заменяются на элементы SPH с теми же параметрами массы, коэффициента трения и т.д [4]. Они взаимодействуют с поступающей водой и неразрушенной породой, частично закупоривая щель.

Для ускорения вычислений были определен домен взаимодействия – трехмерная область, в которой рассчитывается взаимодействие частиц. Границы домена немного больше размеров куска угля, поэтому взаимодействие частиц воды в струе начинает рассчитываться лишь незадолго до удара об уголь. Такое допущение оправдано, так как частицы воды движутся с одинаковой скоростью до удара. Также взаимодействие воды и угля прекращает рассчитываться, когда частицы покидают домен – это тоже допустимо, так как поведение вымытых из щели частиц не играет роли в данной модели.

В результате моделирования было установлено, что с повышением скорости струи повышается производительность резания, но удельная энергоемкость разрушения растет нелинейно, что согласуется с эмпирическими данными [5]. Таким образом, существует оптимальная скорость струи, при которой удельная энергоемкость резания минимальна. Точное значение предстоит найти, но было установлено, что оно находится в районе 100-200 м/с.

Важное значение имеет не только скорость, но и диаметр струи. Слишком тонкая струя будет вырезать тонкие щели, которые будут закрываться под действием веса налегающих пород. Также следует детально исследовать геометрию движения сопла по забою, чтобы как можно больше подрезанного угля откалывалось от массива под собственным весом. Разработанная модель позволяет найти оптимальные параметры струи и геометрии движения сопла как вручную, так и с помощью методов искусственного интеллекта.

#### Список литературы

1. Кравцов А. А., Дмитрак Ю. В., Атрушкевич В. А. Опыт применения подземной гидравлической добычи угля в СССР и России // Маркшейдерия и Недропользование. 2023. №3 (125). С. 18–23.

2. Ю. В. Дмитрак, В. А. Атрушкевич, А. А. Кравцов. Моделирование и управление параметрами поточных технологий с локальным гидротранспортом и обезвоживанием угля на основе анализа структуры проходческого цикла. // Устойчивое развитие горных территорий. 2023. Т. 15, №3 (57). С. 751–759. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-3-751-759

3. Murray, Y.D., A. Abu-Odeh, and R. Bligh, Evaluation of Concrete Material Model 159, отчет FHWA-HRT-05-063, июнь 2006

4. Jiri Kala, Martin Husek. Improved Element Erosion Function for Concrete-Like Materials with the SPH Method // Shock and Vibration. 2016. Т. 2016, N 4593749. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/4593749>

5. Summers, D.A. Waterjetting Technology. Taylor & Francis, 1995

УДК 622.831.322

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ РУДНИКА ГРЕМЯЧИНСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

Лядов В.О.

ГИ УрО РАН

Увеличивающиеся мировые объемы потребления калийных удобрений вызывают наращивание объемов добычи калийных солей и вовлечение

новых месторождений в отработку. Одним из таких недавно введенных в эксплуатацию калийных рудников является рудник Гремячинского горно-обогатительного комбината. Оработка промышленного сильвинитового пласта Гремячинского рудника, как и на большей части калийных рудников, осложнена возникающими газодинамическими явлениями (ГДЯ) в виде выбросов пород, газа и явлений комбинированного типа. Многолетний опыт исследования проблемы газодинамических явлений [1-3] указывает на изменчивость факторов их возникновения в зависимости от геологических условий рассматриваемого месторождения. В свою очередь, применение методов статистического анализа позволяет выявить комбинации факторов, характерных для зон, опасных по газодинамическим явлениям, что и лежит в основе методов регионального прогнозирования газодинамических явлений.

В общем случае региональное прогнозирование ГДЯ можно свести к решению задачи классификации в пределах конкретного шахтного поля, исходя из суждения о том, что зоны, в которых могут происходить газодинамические явления, обладают схожим набором геологических и горнотехнических параметров. В целях недопущения неопределенностей в анализе допускается существование лишь двух классов – зон, опасных по ГДЯ, и неопасных зон соответственно. Среди множества методов решения задачи классификации в подобных условиях наибольший практический опыт применения имеет дискриминантный анализ [4]. Также перспективным направлением развития статистического анализа является применение нейросетевых методов распознавания образов [5], однако, малый опыт применения и, соответственно, неизвестная надежность данных методов не позволяет уверенно применять их в решении задач, сопряженных с безопасностью ведения горных работ. Дополнительным барьером для применения нейронных сетей служит и сложность интерпретации механизмов обработки данных в комплексных моделях (т. н. проблема черного ящика), приводящая к сомнениям в объективности выходных данных.

По состоянию на начало 2024 года в результате проведения подготовительных и очистных выработок по сильвинитовому пласту на руднике Гремячинского месторождения произошло 15 задокументированных газодинамических явлений. Каждое из них привело к повреждению комбайнов, остановке ведения горных работ, а также, в нескольких случаях, и травмированию горнорабочих. Важно отметить, что большая часть задокументированных газодинамических явлений произошла именно в западной части шахтного поля, что вполне может быть обусловлено более интенсивной складчатостью в западной части шахтного поля. Большинство зафиксированных в призабойной зоне выработок газодинамических явлений приурочены к контактной зоне сильвинитового и залегающего ниже карналлит-галитового слоёв, обладающего

повышенной газоносностью. Также важным фактом является приуроченность происходящих ГДЯ к осевым частям антиклинальных складок, что явно стоит учитывать при создании статистической модели, однако, большие сложности вызывает представление показателя складчатости в дискретной точке, которые могут быть разрешены при использовании модели пласта в виде векторных полей, где в каждой точке шахтного поля будет присутствовать градиент-вектор, способный отразить интенсивность складчатости в дискретной точке.

Актуальные результаты эксплуатационной разведки позволили провести линейный дискриминантный анализ на основе трех горно-геологических показателей промышленного пласта. Это суммарное содержание нерастворимого остатка и сульфата кальция, содержание хлорида калия и содержания хлорида магния. В силу концентрации наблюдений в пределах значительно удаленных друг от друга участков шахтного статистические критерии разрабатывались отдельно для восточной и западной части шахтного поля для исключения искажений. Количество точек данных для анализа составило 51 наблюдение в западной части и 72 наблюдения в восточной части шахтного поля. Стоит отметить, что выборки были достаточно качественные, без явных выбросов, что обеспечило высокую эффективность дискриминантного анализа в его классическом исполнении. Для экстраполяции полученных дискриминантных функций на всё шахтное поле были также использованы данные 35 поверхностных геологоразведочных скважин. Полученные в результате анализа линейные дискриминантные функции показали высокую эффективность классификации при 96,6 % и 91,9 % для западной и восточной части шахтного поля соответственно. Также на целесообразность раздельного анализа шахтного поля указывают обнаруженные нами ранее статистические различия между компонентами составами свободных газов силвинитовых пород в западной и восточной частях шахтного поля, что может указывать на различия в формировании свободных газов в массиве при протекании эпигенетических процессов.

Дальнейшее развитие модели подразумевает внедрение дополнительных геологических параметров, наиболее перспективным из которых является показатель складчатости, а также полученная модель будет использована в разработке более эффективных методик прогнозирования газодинамических явлений, в том числе с применением машинного обучения.

### Список литературы

1. Андрейко С.С., Газодинамическая опасность пород IV калийного горизонта и пород калийного горизонта IV-II на шахтном поле Петриковского ГОКА // Горное эхо, 2021, № 4(85), с. 87-95.

2. Барях А.А., Андрейко С.С., Федосеев А.К., Газодинамическое обрушение кровли при разработке месторождений калийных солей // Записки Горного института, 2020, т. 246, с. 601-609.

3. Барях, А.А., Андрейко С.С., Федосеев А.К., О механизме локализации очагов газодинамических явлений в почве сильвинитовых пластов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело, 2017, т. 16, № 3, с. 247-254.

4. Региональное прогнозирование опасных по газодинамическим явлениям зон в условиях шахтного поля рудника Талицкого ГОКа / О.В. Иванов, С.Ю. Нестерова, В.О. Лядов, Е. В. Лукьянец // Горный журнал. – 2023. – №11. – С. 84-88.

5. Лядов, В.О. Оценка эффективности применения нейронных сетей при региональном прогнозировании зон газодинамической опасности в калийных рудниках / В.О. Лядов // Актуальные проблемы недропользования: тезисы докладов участников XIX Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 21–27 мая 2023 года / Санкт-Петербургский горный университет. Том 1. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2023. – С. 195-197.

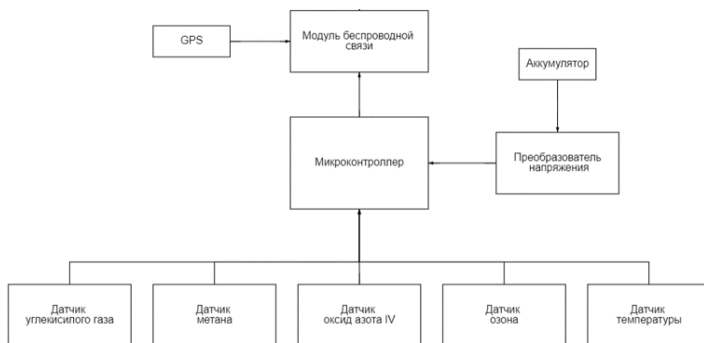
## **СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ПРИМЕРЕ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА**

**Кунижев И.Р.<sup>2</sup>, Иванов И.А.<sup>2</sup>, Нефедов С.И.<sup>1,2</sup>, Шнайдер Е.Л.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>ИПКОН РАН, <sup>2</sup>НИУ ВШЭ г. Москва*

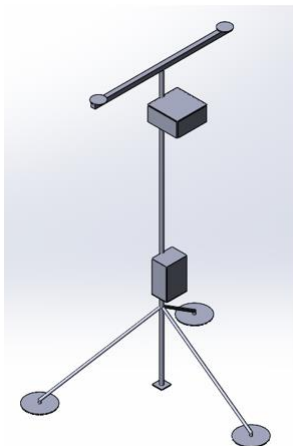
Хозяйственная деятельность человека является одним из факторов антропогенного изменения природной среды, активно влияющим на общее состояние экологии в масштабах земного шара. Несколько лет назад, как один из инструментов обеспечения стабильности, стали рассматриваться глобальные климатические проекты, связанные с обеспечением глобального баланса парниковых газов [1] и снижением и контролем выделения вредных выбросов в атмосферу Земли. В связи с этим, актуальной является задача измерения уровня газовой эмиссии в пределах контролируемого участка. Эта задача может решаться системой контроля и мониторинга баланса парниковых газов. Строить такую систему представляется возможным с помощью измерительного модуля (устройства сбора и передачи данных), подключаемого к геоинформационной системе, выполненной либо в виде облачного сервиса, либо в виде специализированной базы данных, размещенной в локальном центре обработки данных (ЦОД).

Структурная схема устройства сбора и обработки данных выглядит следующим образом (Рисунок 1):



**Рисунок 1 - Структурная схема устройства сбора и передачи данных**

Оценивание данных в системе производится в соответствии с методом турбулентных пульсаций [2]. К системе подключаются датчики, позволяющие измерять первичные значения уровней концентрации следящих парниковых газов:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , так как именно их значения являются основными параметрами, входящими в модели процессов, учитываемых при оценке экологического состояния окружающей среды [3]. Для более высокой точности измерения используются электрохимические или инфракрасные датчики. После измерения информация с датчиков поступает на микроконтроллер. Далее «сырые» данные с помощью модуля GSM передаются на сервер. Сами же датчики, как и модуль GSM и микроконтроллер с системой питания устанавливаются на специальную мачту. Пример конструкции измерительного устройства изображен на рисунке 2.



**Рисунок 2 - Модель измерительного устройства, установленного на мачте**

Для организации контроля эмиссии парниковых газов в заданной области пространства или в границах исследуемого объекта представляется целесообразным развертывать сеть таких измерительных модулей и анализировать получаемые с их помощью последовательности данных в соответствии с моделями баланса парниковых газов. Предлагаемый прибор может быть полезен как в качестве средства контроля по существу сертифицированным методикам, так и в качестве исследовательского инструмента, необходимого для создания новых методик контроля экологического состояния различных объектов.

### **Список литературы**

1. ГОСТ Р ИСО 14064-1-2021. Газы парниковые. Часть 1. Требования и руководство по количественному определению и отчетности о выбросах и поглощении парниковых газов на уровне организации. – М.: Технический комитет по стандартизации ТК 20 «Экологический менеджмент и экономика», 2021.

2. Метод турбулентных пульсаций. Краткое практическое руководство / Г.Г. Бурба, Ю.А. Курбатова, О.А. Куричева [и др.]. – Москва: Российская Академия Наук, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, 2016. – 230 с.

3. Голубев Г.Н. Основы геоэкологии. Учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Изд-во ГЕОС, 1999. – 338с. – ISBN 5-89118-059-6.

### **УДК 550.8.07**

## **МАКЕТИРОВАНИЕ РЕГИСТРИРУЮЩЕЙ ЧАСТИ СТЕНДА МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД**

**Бахмусткий М.В.**

*НИУ ВШЭ, г. Москва*

В современной практике мониторинга процессов техногенных изменений массива горных пород важную роль играют инновации в области автоматизации и использования новейших технологических решений [1]. Разработка стенда для мониторинга природно-технических объектов представляет собой первый шаг к созданию системы, способной не только собирать и анализировать данные с высокой точностью, но и использовать искусственный интеллект для автоматического распознавания и анализа аномалий, таких как трещины в скважинах [2]. Этот подход открывает новые возможности для повышения эффективности и точности мониторинга, что является критически важным для обеспечения безопасности и устойчивости технических объектов в



условиях воздействия техногенных процессов. Таким образом, нами был разработан макет стенда в качестве задела для дальнейшего внедрения в него искусственного интеллекта.

Стенд включает в себя прозрачные трубы из оргстекла, имитирующие геологические условия, и четыре камеры с USB интерфейсом, подключенные к отладочной плате Tinker Board 2s через USB HUB [3]. Это позволяет наблюдать и анализировать процессы в реальном времени, передавая данные на монитор. Такая конфигурация предоставляет исследователям необходимые инструменты для точной настройки и адаптации под разнообразные условия эксплуатации. Система видеонаблюдения использует камеру Y102 5.5mm 3 in 1 USB Endoscope Camera, которая обеспечивает видео высокой четкости. С помощью программного обеспечения на базе Debian 11 и инструментария SDL2, а также API V4L2, осуществляется точная настройка видеопараметров для максимально эффективной регистрации данных [4, 5].

Ввиду того, что разработанная нами модель, является экспериментальным прототипом, служащим для тестирования программного обеспечения и верификации аппаратуры, она обладает рядом технических ограничений, среди которых отражение подсветки от оргстекла и низкое качество освещения. Но несмотря на упомянутые недостатки, система демонстрирует приемлемое качество данных, что необходимо для обработки изображения искусственным интеллектом. Преимущество обработки данных в режиме реального времени и использование открытого программного обеспечения способствуют точной и эффективной регистрации данных, необходимых для анализа техногенных процессов.

Дальнейшее развитие стенда направлено на интеграцию искусственного интеллекта, который планируется обучить на подготовленной выборке данных для успешного выявления трещин и других аномалий в структуре горных пород. Это позволит не только повысить точность мониторинга, но и значительно повысить уровень безопасности при работе на горнодобывающих предприятиях [6].

Таким образом, разработанный стенд закладывает основу для будущего внедрения искусственного интеллекта, что позволит значительно усовершенствовать процесс мониторинга техногенных изменений в горных породах. Это, в свою очередь, способно значительно повысить эффективность обнаружения трещин в необсаженных скважинах. и тем самым обеспечить большую безопасность и устойчивость на объектах мониторинга.

### **Список литературы**

1. Аброськин А.С., Применение современных систем автоматизации на открытых горных работах // Известия ТПУ. 2015. №12.

2. Шамаев С.Д., Применение методов искусственного интеллекта при обработке и интерпретации данных геофизических методов//Известия УГГУ. 2022. Вып. 1 (65). С. 86–101. DOI 10.21440/2307-2091-2022-1-86-101.

3. Tinker Board: официальный сайт. – 2024. – URL: <https://tinker-board.asus.com/series/tinker-board-2s.html> (дата обращения: 20.04.2024). – Текст: электронный.

4. Debian: официальный сайт. – 2024. – URL: <https://www.debian.org/releases/bullseye/> (дата обращения: 15.04.2024). – Текст: электронный.

5. Linux kernel: официальный сайт. – 2024. – URL: <https://www.kernel.org/doc/html/latest/userspace-api/media/v4l/v4l2.html> (дата обращения: 23.04.2024). – Текст: электронный.

6. Хисамов Р.С., Бачков А.П., Войтович С.Е., Грунис Е.Г., Алексеев Р.А. Искусственный интеллект — важный инструмент современного геолога // Геология нефти и газа. – 2021. – No 2. – С. 37–45. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-2-37-45.

**УДК 550.8.07**

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНДОДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ГОРНЫХ МАССИВОВ**

**Нефедов С.И.<sup>1,2</sup>, Варганов А.З.<sup>1,2</sup>, Бахмутский М.В.<sup>2</sup>**

*ИПКОН РАН, НИУ ВШЭ, г. Москва*

В современной горнодобывающей промышленности важное значение приобретает использование высокотехнологичных методов диагностики, в частности, эндоскопического оборудования. Эндоскопы позволяют проводить визуальный осмотр внутренних структур горных массивов без необходимости их разрушения, что способствует не только повышению безопасности на производстве, но и снижению экономических затрат на исследование месторождений. В данной работе проводится сравнительный анализ эндоскопов для горнодобывающей промышленности по выделенным критериям.

В рамках аналитического обзора были отобраны различные модели эндоскопов, используемых в горнодобывающей сфере. Основные критерии для сравнения включали разрешение камеры, угол обзора, функциональные возможности и программное обеспечение. Разрешение камеры является ключевым параметром, поскольку оно влияет на качество и детализацию изображений, что критически важно для точной оценки состояния исследуемых участков. Угол обзора определяет ширину захватываемого пространства, что позволяет комплексно осматривать узкие и труднодоступные месторождения. Функциональные

возможности, включая запись видео и использование инструментов для отбора проб или измерения параметров среды, расширяют применение устройства и его полезность на месторождениях. Программное обеспечение также играет важную роль, так как его функционал для анализа данных, удобство интерфейса и возможности интеграции с другими системами мониторинга обеспечивают эффективную обработку и анализ собранных данных.

Модели эндоскопов, такие как Mentor Visual iQ, XL Flex/Detect, eVIT, iProbe и ЭТВИ, предлагают различное разрешение камеры, варьирующееся от 0,29 до 0,5 Мп, что напрямую влияет на качество получаемого изображения. Угол обзора устройств также различается от 50 до 120 градусов, что позволяет адаптироваться к разнообразным условиям осмотра. Функциональные возможности устройств включают трехмерное измерение, видео- и фотосъемку, зеркальное отображение, вращение, а также цифровое увеличение, расширяющие возможности исследования [1,2,3].

Функциональные возможности различных моделей варьируются от базовых систем визуализации до комплексных решений с опцией проведения дополнительных измерений и анализа состояния материалов. Программное обеспечение, как правило, включает в себя базовые функции для просмотра и архивации данных, но некоторые системы предлагают расширенные аналитические инструменты, что может быть критически важно для принятия оперативных решений на месторождениях.

Таблица 1

### Сравнительный анализ моделей эндоскопов

Модель	Разрешение камеры	Угол обзора	Функциональные возможности	Программное обеспечение
Mentor Visual	0,44 Мп	40-120	Трехмерное измерений в полномасштабном "облаке точек"	Многозадачная операционная система
XL Flex/Detect	0,29/0,44Мп	100/120	Видео/фото	Многозадачная операционная система
eVIT	0,5Мп	90-120	Подавление шума, измерение отрезков, кривых, площади	Многозадачная операционная система
jProbe	0,35-0,45Мп	60-90	Зеркальное отображение, вращение, подавление шума, цифровое увеличение	Многозадачная операционная система
ЭТВЦ	0,3-0,325Мп	50-60	Видео/фото	Нет

Сравнение показало, что современные технические эндоскопы обладают высоким разрешением камеры до 0,45 Мп, что позволяет получать четкие изображения внутренних структур. Большинство современных устройств оснащены одной камерой, при этом некоторые модели предлагают возможность подключения дополнительных камер для получения более полной картины. Однако, стоит отметить, что ни одно рассмотренное нами устройство не оснащено искусственным интеллектом. Внедрении ИИ, на наш взгляд, способствует более быстрой и качественной обработке данных и помогает оператору в принятии решений в процессе мониторинга.

Сравнительный анализ дал понять, что выбор эндоскопического оборудования для горнодобывающей промышленности должен базироваться на специфических требованиях к исследованию. Важно учитывать не только технические характеристики устройств, но и возможности программного обеспечения, с помощью которого можно значительно расширить функционал системы мониторинга. Эффективное применение эндоскопических технологий способствует повышению безопасности и эффективности горнодобывающих операций. А оснащение эндоскопических систем искусственным интеллектом станет большим шагом в мониторинге процессов техногенных изменений массива горных пород.

#### Список литературы

1. НТЦ Эксперт: официальный сайт. – 2024. – URL: <https://www.ntcexpert.ru/vic/endoskopy> (дата обращения: 20.04.2024). – Текст: электронный.
2. Jprobe: официальный сайт. – 2024. – URL: <https://jprobe.ru/> (дата обращения: 15.04.2024). – Текст: электронный.
3. eVIT: официальный сайт. – 2024. – URL: <https://evit.ru/> (дата обращения: 23.04.2024). – Текст: электронный.

### **РОЛЬ И МЕСТО ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ БЕЗОПАСНОСТИ**

**Варганов А.З.<sup>1,2</sup>, Нефедов С.И.<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>НИУ ВШЭ, <sup>2</sup>ИПКОН РАН г.Москва*

Задача обеспечения безопасности объектов горной промышленности [1] является одной из основных и включает в себя целый комплекс разнообразных мероприятий по контролю и мониторингу опасных явлений, а также по автоматизации и диспетчеризации технологических процессов добычи и переработки полезных ископаемых. В общем виде

уровень безопасности будет повышаться при снижении доли ручного труда на горных предприятиях, что в перспективе при полномасштабном внедрении технологий рационального и безопасного природопользования приведет к появлению горных предприятий на которых осуществляется работа без участия человека в непосредственных процессах, предполагающих контакт с добываемой горной породой.

Облик технических систем, позволяющих достичь такого уровня автоматизации на современном уровне развития технологий постепенно прорисовывается уже сейчас и может быть спрогнозирован довольно точно. В основе таких систем будут лежать роботизированные комплексы, способные функционировать без участия человека, контролируясь из единого диспетчерского центра и функционируя с учетом детального анализа реального состояния процессов, протекающих на объекте.

Фактически диспетчерский центр должен получать информацию о состоянии горной породы в каждой точке объекта, на котором происходит добыча и прогнозировать все опасные явления (взрывы, оползни и т.д.), которые могут на нем возникнуть. Для этой цели должна быть создана единая мониторинговая система, позволяющая измерять или с высокой точностью предсказывать состояние горной породы в каждой точке природного и антропогенно-измененного объекта на котором она развернута, а также предсказывать состояние этой породы на некоторый интервал времени вперед.

Для того, чтобы такая система стала реальностью ее необходимо создавать на основе сочетания средств измерения контролируемых состояний, развернутых на объекте, а также комплекса математических моделей реального времени, способных выдавать прогнозные оценки значений контролируемых параметров на объекте на основе сформированных массивов первичной информации. При этом все измеренные данные и математические модели должны работать в единой системе координат, привязанной к объекту и формировать тем самым единую информационную среду, которую в дальнейшем будем называть цифровым двойником предприятия.

В общем виде цифровой двойник должен представлять собой горно-геологическую карту объекта, сформированную в единой системе координат. К этой карте должны быть привязаны координаты пустот и выработок в зоне объекта, а также полный геологический профиль с типами залегающих в нем горных пород. В составе цифрового двойника должны находиться измерительные зонды различного типа, позволяющие диагностировать напряженно-деформированные состояния, характеристики газовой эмиссии как во вне, так и снаружи объекта, а также накапливать данные, получаемые от них. В состав программного обес-

печения должен входить комплекс прогнозных моделей, который позволяет прогнозировать состояние среды в заданной точке пространства и времени. Цифровой двойник должен функционировать постоянно, обновляя измерения и расчеты с заданным тактом времени. Тем самым, задача прогнозирования опасных событий на объекте становится реальной задачей.

В качестве измерительных систем, применение которых в качестве источников данных для цифровых двойников горных предприятий является актуальным, можно рассматривать:

- системы контроля газовой эмиссии как внутри горных выработок, так и на поверхности;

- системы контроля сейсмических и сейсмоакустических - возмущений в границах горного объекта [2];

- системы автоматического анализа керна на основе эндоскопического видеокаротажа диагностических скважин [3-5];

- системы визуальной диагностики состояния горных выработок.

Возможно и более широкое применение номенклатуры диагностических систем различного класса.

Таким образом, на сегодня просматривается принципиальная возможность развития систем обеспечения безопасности горных предприятий в направлении глубокого внедрения в них новых методов диагностики в сочетании с созданием специализированных цифровых двойников предприятий и комплекса математических моделей, описывающих протекание в них потенциально опасных процессов.

### Список литературы

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» (Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 года №505)

2. Сергеев С.И., Санина И.А., Королёв С.А., Волосов С.Г. Раннее обнаружение сейсмической активности в районах проведения горных работ с использованием малоапертурных сейсмических антенн // ГИАБ. 2017. №10.

3. НТЦ Эксперт: официальный сайт. – 2024. – URL: [https://www.ntcexpert.ru/vic/endoscopy\\_](https://www.ntcexpert.ru/vic/endoscopy_) (дата обращения: 20.04.2024). – Текст: электронный.

4. Jprobe: официальный сайт. – 2024. – URL: <https://jprobe.ru/> (дата обращения: 15.04.2024). – Текст: электронный.

5. eVIT: официальный сайт. – 2024. – URL: <https://evit.ru/> (дата обращения: 23.04.2024). – Текст: электронный.

## К РАЗРАБОТКЕ МЕТОДОЛОГИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАРБОНОВЫХ ПОЛИГОНОВ

Вартанов С.А.<sup>1</sup>, Нефедов С.И.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>НИУ ВШЭ, <sup>2</sup>ИПКОН РАН г. Москва

Карбоновыми полигонами называются специализированные участки земной поверхности с репрезентативными для некоторой территории (страны, региона и т.д.) рельефом, структурой растительного и почвенного покрова, созданные для реализации мероприятий, направленных на развитие научного, кадрового и инфраструктурного потенциалов в области разработки и испытаний технологий контроля баланса климатических активных газов природных экосистем [1]. Актуальность развития подобных проектов неоднократно подчеркивалась высшим руководством Российской Федерации, в том числе лично Президентом. В частности, НИУ ВШЭ поручено развитие карбонового полигона «Покровский» [2, 3].

Одной из ключевых задач, стоящих перед коллективом авторов настоящего доклада, является создание прототипа комбинированной системы мониторинга агролесной экосистемы карбонового земледелия на основе анализа газовых потоков, диффузного водного стока и системы дистанционного мониторинга для комплексной оценки углеродного баланса, с созданием прототипа системы мониторинга, отчетности и верификации (MRV) и организационно-правовой модели карбоновой фермы. Создание подобного прототипа предполагает, в частности, использование цифровых технологий Digital Twin, разработанного проекта протокола мониторинга, отчетности и верификации (MRV), оптимальных комбинаций почвопокровных культур и древесно-кустарниковых насаждений в условиях Центральной России.

С методологической точки зрения решение данной задачи распадается на ряд более мелких подзадач, среди которых выделяется блок проблем, связанных с анализом существующих подходов к расчету углеродного баланса сельскохозяйственных угодий, основанных на моделировании процессов углеродного обмена, косвенном расчете, на прямых и косвенных измерениях эмиссии/секвестрации углерода.

Исследование процессов углеродного обмена в природе является актуальной тематикой несколько десятилетий подряд. Построение и исследование математических моделей, описывающих этот процесс, ведется с целью объяснения наблюдаемых изменений концентрации оксида углерода в атмосфере и прогнозирования их динамики. Динамическое

моделирование процессов трансформации органического вещества почв является важным инструментом исследования функционирования и прогнозирования изменений почвенной системы, количественной оценки роли почвенного покрова в балансе парниковых газов в атмосфере и процессах изменений климата.

За последние 80 лет для описания биогеохимических процессов в почвах был разработан ряд математических моделей различного уровня сложности, охватывающих пространственные масштабы от нескольких миллиметров до тысяч километров и временные масштабы от часов до столетий. Большинство этих моделей основано на кинетических и стехиометрических законах, которые ограничивают круговорот элементов в почве, а также обмен питательных веществ и углерода с растительностью и атмосферой. Для множества биогеохимических моделей имеет место сходство их теоретических основ, а их математическая структура и формулировка связаны с пространственными и временными масштабами применения (Manzoni, Porporato, 2009).

В основу многих моделей динамики органического вещества в органических почвах и выбросов парниковых газов положен ряд общих принципов. Сущность этих принципов заключается в разделении всего моделируемого пространства (в котором и исследуется динамика круговорота углерода) на отдельные пулы (компарменты, разделы, подпространства, среды – в разных работах используются различные синонимичные термины), запаасающие в той или иной форме углерод. Форма эта зависит от самого пула, например, в атмосферных пулах это относящиеся к парниковым газам  $CO_2$  и  $CH_4$ , в почвенных пулах – органический углерод и т.д. Каждый пул в каждый момент времени характеризуется текущим запасом углерода и потоками углерода из и в него, интенсивность которых характеризуется такими процессами, как ассимиляция углерода живыми организмами, дыхание (выработка  $CO_2$  биосферой), переход живого органического материала в мертвый, разложение мертвого органического материала до углерода, обмен углекислым газом между атмосферой и океаном и так далее. Фундаментально регулируют разложение и стабилизацию органического вещества почвы (ПОВ) в основном микробные процессы.

Обзору и классификации существующих моделей и подходам к их адаптации для решения задач, возникающих в процессе функционирования карбоновых полигонов, и посвящен настоящий доклад. В нем обсуждаются как сложные многомерные нелинейные модели, находящие применение в теоретических работах (Wieder et al., 2015; Georgiou et al., 2017; Choi and Manousiouthakis, 2020), так и более простые расчетные модели



RothC и DNDC, разработанные для практически-ориентированных задач, связанных с MRV-протоколами (Coleman and Jenkinson, 1996).

### Список литературы

1. Карбоновые полигоны России. Официальный сайт проекта Минобрнауки России. Режим доступа: <https://carbon-polygons.ru/>

2. Протокол заседания Экспертного совета при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации по вопросам научного обеспечения развития технологий контроля углеродного баланса от 2 декабря 2022 года №ВФ/69-пр.

3. Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 17 января 2023 года №47

4. Manzoni, S., & Porporato, A. (2009). Soil carbon and nitrogen mineralization: Theory and models across scales. *Soil Biology & Biochemistry*, 41, 1355-1379.

5. Choi, S.H., Manousiouthakis, V.I., 2020. On the carbon cycle impact of combustion of harvested plant biomass vs. fossil carbon resources. *Comput. Chem. Eng.* 140, 106942. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.106942>

6. Georgiou, K., Abramoff, R.Z., Harte, J., Riley, W.J., Torn, M.S., 2017. Microbial community-level regulation explains soil carbon responses to long-term litter manipulations. *Nat. Commun.* 8, 1223. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01116-z>

7. Wieder, W.R., Allison, S.D., Davidson, E.A., Georgiou, K., Hararuk, O., He, Y., Hopkins, F., Luo, Y., Smith, M.J., Sulman, B., Todd-Brown, K., Wang, Y.-P., Xia, J., Xu, X., 2015. Explicitly representing soil microbial processes in Earth system models. *Global Biogeochem. Cycles* 29, 1782–1800. <https://doi.org/10.1002/2015GB005188>

8. Coleman, Kevin & Jenkinson, D. (1996). RothC-26.3 - A Model for the turnover of carbon in soil Roth C-26.3 – A model for the turnover of carbon in soil, *Evaluation of Soil Organic Matter Models*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 237–246, 1996. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-61094-3\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-642-61094-3_17).

## МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ АНТРОПОГЕННОГО ХАРАКТЕРА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Варганов С.А.

*НИУ ВШЭ г.Москва*

Безопасность производства, выполнение требований охраны труда и техники безопасности, требований промышленной санитарии являются одними из важнейших функций руководства предприятия. Для оценки вероятности возникновения техногенных аварий в процессе строительства

и эксплуатации подземных сооружений и соответствующего ущерба математическая модель риска аварий должна включать не только технологические и геофизические параметры объекта интереса, но и уровень трудовой дисциплины работников и внутренние технологические правила предприятия – иными словами, должна представлять собой первое приближение для «цифрового двойника» предприятия.

Для моделирования возникновения подземных аварий и вызванного ими ущерба предлагается использовать теоретико-вероятностный подход на основе классической теории риска (модель Пуассоновского процесса риска Крамера-Лундберга). Мы начинаем наш анализ с рудничных взрывов как основного типа аварий, однако теоретико-рисковый подход применим к различному спектру подземных техногенных аварий. Неопределенность и непредсказуемость момента воспламенения является основным источником аварий при взрывах на горнодобывающих предприятиях. Следует отметить, что на этапе активной добычи угля возможных источников возгорания (например, транспортировка угля, вентиляционная система и т. д.) значительно больше, чем на этапе ожидания нормализации условий добычи (вентиляционная система). Однако в обоих случаях антропогенная составляющая определяется поведением работников предприятия.

В настоящей работе рассматриваются пуассоновские модели аварийных ситуаций на основе случайных процессов для этих двух стадий соответственно с разными характеристиками поведения работников и внутренними технологическими правилами предприятия, влияющими на параметр пуассоновских процессов ( $\lambda$ ). Кроме того, обсуждается модель ущерба, нанесенного в случае такой аварии. Ущерб состоит из двух частей – «производственных» затрат (затрат на восстановление предприятия и потерь от простоя) и компенсаций пострадавшим работникам. И то и другое также зависит от поведения работников и внутренних правил предприятия.

Наконец, обсуждаются возможности интеграции подобных моделей чрезвычайных происшествий (вероятность возникновения, распределение ущерба) в теоретико-игровые модели оптимальной организации инспекций и проверок техники безопасности. В некоторых более ранних работах (например, Захаров, Васин, Варганов, 2013 и 2016; Васин, Тюленева, Козырева, 2017) авторы и их коллеги разработали теоретико-игровую модель функционирования и контроля трудовой дисциплины коллективов подземных горнодобывающих предприятий. Применимость теоретико-игровых моделей для описания и построения системы контроля безопасности на горнодобывающих предприятиях обосновывается тем, что в лице персонала предприятия мы имеем дело с коллективом индивидуумов,

поведение каждого из которых можно интерпретировать как максимизацию некоторой внутренней функции полезности.

Рассматриваемая модель предусматривает два варианта наказания работников (штрафы и увольнение), а также схему эффективной структуры контроля за результатом работы. В качестве отдельного игрока выступает центр, принимающий решения (руководство предприятия), выигрыш которого представляет собой разность выручки от производственной деятельности и издержек: производственных, административных на организацию системы контроля и компенсационных, возникающих в случае ЧП с нанесением общественного ущерба. Этот выигрыш напрямую связан с поведением персонала, в частности, с соблюдением ими техники безопасности.

Основной принцип, на котором базируется модель, таков: не меняя технологий производства, за счет только лишь административно-финансовых инструментов обходимо создать для сотрудников такие условия, чтобы в них наиболее выгодным (в смысле концепции равновесия Нэша) поведением являлось то, которое необходимо центру, принимающему решения. Добиться этого можно, выбирая механизмы экономического и административного стимулирования горнорабочих, линейных руководителей, инженеров по технике безопасности, инспекторского состава, а также за счет создания иерархической системы контроля, включающей несколько уровней проверок. При этом оптимальные параметры такой системы определяются именно вероятностными характеристиками потенциального ущерба, который может быть нанесен в результате некорректного поведения сотрудников предприятия.

В результате описанных в работе исследований разработаны аналитические выражения, позволяющие дать численную оценку технико-экономическим характеристикам предприятия, работающего в особо опасных условиях. Найдены аналитические выражения, которые дают численную оценку возможного ущерба от аварий техногенного характера в зависимости от различных технологических стратегий предприятия и поведения работников.

### Список литературы

1. В.Н. Захаров, И.В. Петров, С.А. Вартанов, А.А. Васин. О принципах организации инспекции качества выполнения производственных обязанностей работников горнодобывающих предприятий // 50 лет Российской научной школе комплексного освоения недр Земли : Материалы Международной научно-практической конференции, Москва, 13–16 ноября 2017 года. – Москва: Институт проблем комплексного освоения недр РАН, 2017. – С. 519-526.

2. В.Н. Захаров, И.В. Петров, С.А. Варганов, А.А. Васин. Построение модели оценки вероятности возникновения чрезвычайных происшествий антропогенного характера на угольных шахтах // 50 лет Российской научной школе комплексного освоения недр Земли : Материалы Международной научно-практической конференции, Москва, 13–16 ноября 2017 года. – Москва: Институт проблем комплексного освоения недр РАН, 2017. – С. 526-531

3. I. V. Petrov, S. A. Vartanov, A. A. Vasin. The application of game theory principles for the increase in the productivity of coal industry workers // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : International Scientific and Research Conference on Knowledge-Based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources 2019, KTDUMR 2019, Novokuznetsk, 04–07 июня 2019 года. Vol. 377. – Novokuznetsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012064. – DOI 10.1088/1755-1315/377/1/012064.

4. Петров И. В., Васин А. А., Варганов С. А. О возможности совершенствования системы производственного контроля на угледобывающих предприятиях с использованием инструментария теории игр // Горный журнал. – 2020. – № 4. – С. 76-80. – DOI 10.17580/gzh.2020.04.15.

5. Васин А. А., Козырева Е. А., Тюленева А. С. Оптимизация системы контроля соблюдения техники безопасности на угледобывающем предприятии // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2017. – № 5. – С. 60-66. – DOI 10.7868/S0002338817050067.

### **УДК 539.3.**

## **АНАЛИЗ ПРОЦЕССА УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ**

**Глазырин В.П., Орлов М.Ю., Фазылов Т.В.**

*Национальный исследовательский  
Томский государственный университет*

Интенсивное развитие добывающих отраслей России требует углубления наших знаний в области физики и механики конструктивных материалов путем проведения теоретических и экспериментальных исследований при различных видах нагружения, в частности при импульсном воздействии. Существующие требования к перспективным материалам современных конструкций в нефтегазовых и химических технологиях, работающих, как правило, в экстремальных условиях, приводят к необходимости решения проблемы развития моделей и методов пространственного компьютерного моделирования их поведения при механических воздействиях в широком диапазоне скоростей деформации. В части определения и анализа такой характеристики как критерий стойкости защитной конструкции, т.е. предельной скорости

нагружения следует использовать комплексный подход на основе теории и эксперимента.

Актуальность работы обусловлена потребностями в эффективных ударостойких защитах в быстроразвивающихся нефтегазовых и химических технологиях [1, 2, 3]. Цель работы заключается в выявлении основных закономерностей процесса нагружения преград из стали и алюминиевого сплава компактными стальными сферическими ударниками.

В работе получены экспериментальные и теоретические результаты процесса ударного нагружения компактными стальными ударниками преград из стали и алюминиевого сплава. А именно, получены текущие конфигурации ударник-мишень, конечные параметры процесса, области разрушенного материала, запреградные скорости ударников и предельные скорости пробития преград (баллистический предел).

Эксперименты проведены на баллистическом стенде, который состоит из универсальной станины с метательной установкой, вакуумируемой камеры и измерительного комплекса [1, 3, 4, 5]. Регистрация скорости ударников осуществлялась с помощью индукционного измерителя скорости, закрепленного на дульном срезе баллистической установки и с помощью рам-мишеней. Регистрирующие приборы запускаются с помощью многоканального генератора задержанных импульсов, который также срабатывает от синхроимпульса пространственно-временного преобразователя. Точность метода регистрации индукционным измерителем скорости метания проверялась с помощью рам-мишеней и посредством локализации ударника в двух точках траектории импульсными рентгеновскими аппаратами. Результаты проверки показали, что ошибка измерения скорости ударника не превышает 0,2 процента.

При проведении экспериментов в качестве ударников использовались шарики из стали ШХ15, диаметром 0,8 см и 1,27 см. Такие ударники могут моделировать действие осколков снарядов, поражающих элементов различных взрывных устройств и космического мусора. В качестве преград использованы пластины, толщиной 0,6 см, из алюминиевого сплава Д16 и из стали Ст.3. Скорость ударников изменялась в пределах от 100 м/с до 700 м/с.

Численное моделирование процесса пробития преград проведено в двумерной постановке для осевой симметрии лагранжевым методом Джонсона, обобщенным на случай больших деформаций и разрушения материала на фрагменты посредством введения в расчетную часть модели механизмов расщепления расчетных узлов и разрушения расчетных элементов [1, 3, 4]. Материал рассматриваемых тел описывается однофазной, сжимаемой, прочной, пористой, упруго-пластической сре-

дой с учетом ударно-волновых явлений и совместного образования отрывных и сдвиговых разрушений. Поведение материала моделируется при помощи основной системой уравнений механики сплошных сред, т.е. уравнениями неразрывности, движения и энергии, записанными в лагранжевых координатах. Тензор напряжений разбивается на девиаторную и шаровую составляющие. Для определения гидростатического давления используется уравнение состояния в форме Уолша. Компоненты девиатора тензора напряжений находятся по модели упругопластического течения, основанной на уравнениях Прандтля–Рейса, ассоциированных с условием текучести Мизеса.

Все расчеты выполнены при помощи программного комплекса, разработанного на основе вышеизложенных представлений. В качестве основного метода исследований использован численный лагранжев метод Джонсона, модифицированный для решения задач пробития преграда и проникания ударников. Особенность метода заключается в способе выделения поверхностей разрыва сплошности материалов, который не накладывает серьезные ограничения на решение современных динамических многоконтактных задач механики деформируемого твердого тела. Численное моделирование проведено в двумерной осесимметричной постановке при помощи некоммерческого программного комплекса.

В результате проведенных расчетов получены зависимости запрещенной скорости ударника  $V_k$  от начальной скорости  $V_0$ , а также рассчитаны значения баллистического предела  $V_b$  или предельной скорости пробития конкретной преграды. Результаты численного моделирования сравнивались с экспериментальными результатами. Расхождения не превышали 20%.

Результаты экспериментов и расчетов для ударника, диаметром 0,8 см и преграды из сплава Д16, толщиной 0,6 см приведены в таблице 1.

Таблица 1

### Результаты экспериментов и расчетов

$V_0$ , м/с	486	493	552	621	684	732	803
$V_k$ экс, м/с	144	159	261	347	412	457	523
$V_k$ расч, м/с	140	155	254	342	413	464	535

Из таблицы видно, что расхождения экспериментальных и расчетных данных при низких скоростях удара не превышают 2,9%, а при высоких скоростях не превышают 4%. Баллистический предел для данных условий соударения получился равным 354 м/с.

Результаты экспериментов и расчетов для ударника, диаметром 1,27 см и преграды из стали Ст. 3, толщиной 0,3 см приведены в таблице 2.

**Результаты экспериментов и расчетов**

$V_0$ , м/с	376	423	470	543	600	714	775
$V_k$ экс, м/с	195	267	321	3987	466	570	623
$V_k$ расч, м/с	164	244	309	398	475	585	646

Таким образом, на основе полученных экспериментальных результатов и результатов численного моделирования процесса ударного взаимодействия тел получены зависимости запреградной скорости ударника от начальной скорости, а также рассчитаны значения баллистического предела.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00257, <https://rscf.ru/project/23-29-00257>.*

**Список литературы**

1. Высокоскоростной удар. Моделирование и эксперимент / под ред. А.В. Герасимова. Томск: Изд-во НТЛ, 2016. – 568 с.
2. Шиповский И.Е. Динамическое моделирование устойчивости техногенного склона. // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Под редакцией академика РАН К.Н. Трубецкого. / Сборник статей 4-й конференции Международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого. – М.: ИПКОН РАН, 2020. – С. 175-181.
3. Orlov M., Glazyrin V., Orlova Yu. N. The research of destruction of functionally-graded materials subjected to impact loading EPJ Web of Conferences 250, 02025 (2021).
4. Глазырин В.П., Орлов М.Ю., Орлов Ю.Н. Моделирование ударно-волнового нагружения функцио-нально-градиентных материалов // Известия вузов. Физика. – 2007. – Т. 50, № 9/2. – С. 65-73.
5. Сагомоян А.Я. Проникание. – М.: Изд-во МГУ, 1974. – 300 с.

**УДК 528.74**

**ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ  
ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРНОГО МАССИВА  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ**

**Ожигин Д.С., Байгали Р.К., Ярцева В.Ф., Ожигина С.Б.**

*Карагандинский технический университет имени А.Сагинова,  
Республика Казахстан*

В последние годы использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) становится все более распространенным в различных

областях, включая геотехнические исследования для картирования структурно-тектонических особенностей прибортового массива на карьерах.

В данной работе рассмотрено использование БПЛА для получения высококачественных изображений для картирования систем трещин в программ RocScience DIPS [1].

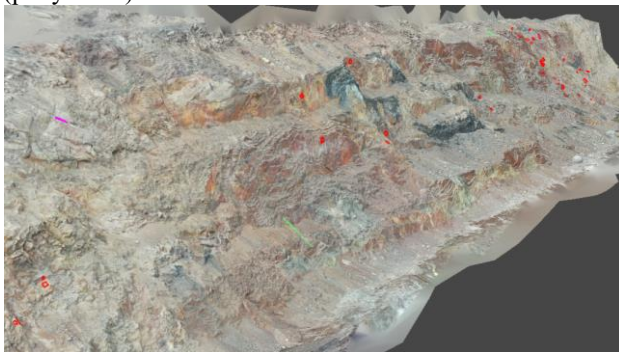
Для проведения исследования использовался квадрокоптер Mavic 2 Pro с мультисистотным и мультисистемным ГНСС приемником Emlid, который позволил произвести координатную привязку цифровой модели объекта с точностью в 1 см (рисунок 1).



**Рисунок 1 - Квадрокоптер DJI Mavic 2 Pro с ГНСС модулем**

Полет выполнен в ручном режиме с ориентацией камеры перпендикулярно борту карьера. В результате съемки получены 1362 фотографии, покрывающие все борта Чиганакского карьер №1.

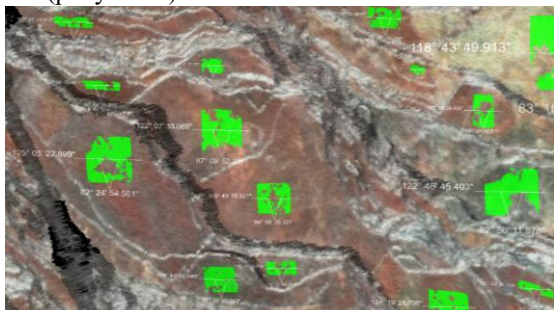
Далее, полученные изображения были обработаны в специализированном программном обеспечении Agisoft Metashape, которое на основе фотографий с помощью технологии Structure from Motion (SfM) позволяет получить плотное облако точек и 3D модель в высоком качестве (рисунок 2).



**Рисунок 2 - 3D модель борта карьера**



Картирование плоскостей трещин выполнено ПО Maptek I-Site Studio (рисунок 3).

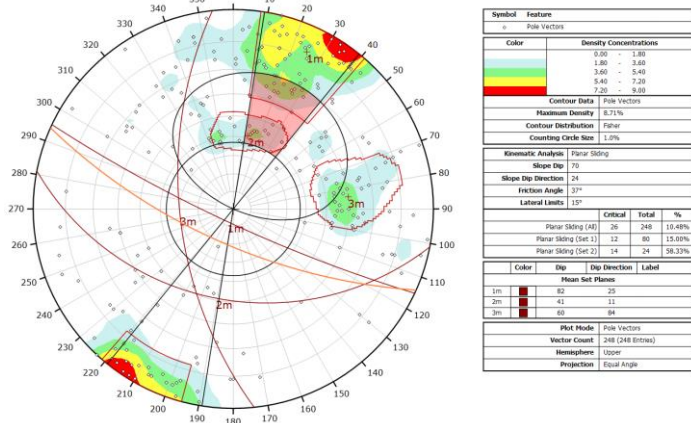


ID	Dip	Dip Direction
1	79.848	275.980
2	80.402	72.250
3	66.209	92.249
4	59.440	110.036
5	63.096	232.749
6	40.421	101.044
7	60.188	71.624
8	72.880	73.757
9	56.910	91.033
10	76.534	73.357
11	89.249	99.367
12	84.829	249.007
13	56.493	243.717

**Рисунок 3 – Картирование плоскостей трещин в ПО Maptek I-Site Studio**

Таким образом, с помощью 3D модели борта карьера можно получить подробную информацию о направлении распространения трещин, их углах падения и простираения. Это позволяет более точно оценить степень устойчивости борта карьера и принять меры по обеспечению безопасности ведения горных работ.

Пакет программ RocScience может использоваться для картирования систем трещин и кинематического анализа на основе полученных данных. Для этого могут использоваться такие продукты, как Dips, Unwedge, RocPlane, Phase2 и др [2]. Программа Dips может использоваться для обработки данных о структуре горных пород и определения направления трещин (рисунок 4).



**Рисунок 4 - Программа Dips**

По результатам 248 замеров в ПО RocScience Dips определены 3 основные системы трещин, где по кинематическому анализу установлены вероятности обрушения и их типы.

#### **Список литературы**

1. Воскресенский И.С., Сучилин А.А., Ушакова Л.А., Шафоростов В.М., Энтин А.Л. Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Иркутск, 2018 – С. 42-47.

2. Ливинский И.С., Митрофанов А.Ф., Макаров А.Б. Комплексное геомеханическое моделирование: структура, геология, разумная достаточность // Горный Журнал. 2017г., №8. С. 51-55

#### **УДК 622.1**

### **АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ПОРТАТИВНЫХ ЛИДАРНЫХ СЪЕМОК СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ**

**Сыропятов А.А.**

*НИУ ВШЭ МИЭМ, г. Москва*

В соответствии с Федеральным Законом Российской Федерации «О недрах» [1], одним из важнейших основных требований является достоверный учет извлекаемых и оставляемых в недрах запасов. Метод лазерного сканирования является частным случаем развития тахеометрической съемки при производстве маркшейдерских работ по определению остатков полезного ископаемого на складах [2], при этом, влияние исполнителя на полноту съемки минимизировано за счет избыточного количества измерений лазерного сканера, работающего в автоматическом режиме. На текущий момент одним из перспективных методов дальнейшего развития лазерного сканирования является метод портативной лидарной съемки при помощи смартфона.

#### ***Введение***

Аналогично классической тахеометрической съемке, необходимым условием выполнения наземного лазерного сканирования (НЛС) по определению остатков на складах является наличие съемочного обоснования, как правило, в виде настенных марок, которые в дальнейшем хорошо дешифрируются при камеральной обработке для связки отдельных сканов в единое облако точек для получения полноценной модели объекта съемки [3]. Однако, производство работ по закладке таких марок и определении их координат занимает значительное количество времени от всего процесса лазерного сканирования. В этой связи со-

вершенствование и повышение скорости производства работ лазерного сканирования является актуальной задачей.

Начиная с 2020 года на мировом рынке мобильных устройств и смартфонов появляются модели со встроенными датчиками LiDAR (Light Detection And Ranging), позволяющие выполнять лазерное сканирование местности и объектов при помощи предустановленного программного обеспечения (ПО). В данной публикации представлен анализ точности такого метода лазерного сканирования.

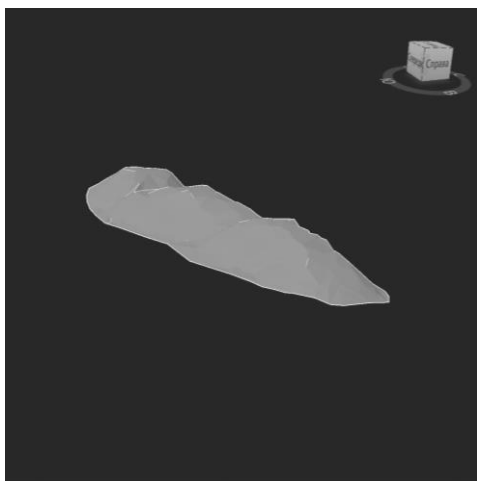
### ***Методика исследования и оборудование***

Работы по анализу точности выполнялись путем выполнения лазерной съемки при помощи смартфона и сравнения с традиционными линейно-угловыми измерениями при помощи роботизированного оптико-электронного тахеометра Leica TS15. В ходе работ использовались условные СК. Для пространственного ориентирования лазерного сканирования используется внутренняя инерциальная система смартфона. Съемка традиционным способом выполнялась по характерным точкам штабелей, путём измерения пикетных точек. Материал в штабелях: песок, щебень, уголь. Для более качественной оценки точности исследуемого оборудования расчет объема осуществлялся в одном и том же ПО – AutoCAD Civil 3D, как для тахеометра, так и для смартфона.



**Рисунок 1 – Пример объекта съемки**

Для результатов лазерного сканирования применялась функция проецирования облака точек, т.к. количество точек одного замера составляет от десятков до сотен тысяч точек (избыточное количество измерений).



**Рисунок 2 – Трехмерная модель лидарной съемки**

Используемый метод построения поверхностей – триангуляция с линейной интерполяцией (TIN-поверхность).

### ***Результаты***

За эталон были приняты результаты тахеометрической съемки. Величина медианной относительной погрешности всех измерений составляет 3,7%. Также необходимо отметить функцию расчета объема в самом ПО смартфона, где метод расчета аналогичен методу AutoCAD – построение триангуляции с линейной интерполяцией.

	Продукт в штабеле	Leica TS15 + Civil 3D	iPhone 15 Pro + Civil 3D	Отклонение (одинаковое ПО)	iPhone 15 Pro + 3d Scanner App	Отклонение (разное ПО)
Измерение №1	Щебень	381,65 м3	350,35	8,2 %	353,48 м3	7,4 %
Измерение №2	Уголь	31,42 м3	32,88 м3	4,6 %	31,52 м3	0,3 %
Измерение №3	Снег	51,67 м3	54,11 м3	4,7 %	53,90 м3	4,3 %
Измерение №4	Песок	42,75 м3	41,2 м3	3,6 %	42,05 м3	1,6 %
Измерение №5	Песок	6,48 м3	6,24 м3	3,7 %	6,90	6,5 %
Измерение №6	Песок	84,79 м3	79,52 м3	6,2 %	-	-
Измерение №7	Снег	10,18 м3	9,99 м3	1,9 %	10,26 м3	0,8 %
Измерение №8	Песок	29,91 м3	30,33 м3	1,4 %	29,94 м3	0,1 %
Измерение №9	Песок	72,65 м3	72,56 м3	0,1 %	76,72 м3	5,6 %
Измерение №10	Песок	39,19 м3	37,12 м3	5,3 %	39,4 м3	0,5 %
Измерение №11	Песок	2,11 м3	2,15 м3	1,9 %	2,21 м3	4,7 %

**Рисунок 3 – Результаты сравнительного анализа**

## **Выводы**

Представлен новый производительный метод определения объема сыпучих материалов, а также дана оценка точности предложенного метода в сравнении с традиционным оборудованием. Относительная погрешность определения объема в диапазоне от 2 м<sup>3</sup> до 380 м<sup>3</sup> составила от 0,1% до 8%, медианное значение погрешности – 3,7 %. При этом, необходимо учесть, что предложенный метод не внесен в Государственный реестр средств измерений [4] и не может указываться как средство измерения в отчетной маркшейдерской документации.

## **Список литературы**

1. Закон Российской Федерации от 21.02.1992 N 2395-1 «О недрах», в редакции от 25.12.2023.
2. Приказ Ростехнадзора от 19.05.2023 N 186 «Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности» (Зарегистрировано в Минюсте России 31.05.2023 N 73638).
3. Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова. – Новосибирск: СГГА, 2009. –261 с.
4. Федеральный закон от 26.06.2008 N 102-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «Об обеспечении единства измерений».

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Милетенко Н.И.**

*Московский университет МВД России им. В.Я. Кикотя,  
Кафедра информационной безопасности*

Информационные системы (далее - ИС) играют жизненно важную роль в обеспечении безопасного функционирования горных предприятий. Они позволяют предприятиям собирать, анализировать и использовать данные в режиме реального времени для выявления и устранения потенциальных опасностей, повышения осведомленности сотрудников о безопасности и предоставлении им инструментов и ресурсов, необходимых для эффективной и надежной работы. Безопасность является первостепенным приоритетом для горнодобывающих предприятий, поскольку от нее зависят жизнь и здоровье сотрудников, защита окружающей среды и непрерывность операций. В связи с растущей сложностью горных операций и постоянно меняющимся ландшафтом угроз - горнодобывающая промышленность все больше полагается на ИС для обеспечения безопасной и результативной работы.

Использование ИС для обеспечения безопасности горных предприятий предлагает многочисленные преимущества, в том числе:

1. Позволяют горным предприятиям отслеживать и анализировать данные в режиме реального времени, что позволяет им быстро выявлять и реагировать на потенциальные опасности, такие как геологические риски, механические неисправности и нарушения техники безопасности.

2. Могут анализировать данные с датчиков, камер и других источников для выявления потенциальных рисков и разработки упреждающих мер по их устранению.

3. Предоставляют сотрудникам в режиме реального времени информацию о безопасности, такую как предупреждения о риске, учебные материалы и напоминания о правилах техники безопасности на рабочих местах.

4. Могут помочь горным предприятиям эффективно управлять инцидентами по технике безопасности, документируя детали инцидентов, отслеживая расследования и обеспечивая соблюдение корректирующих действий.

5. Также используются для предоставления сотрудникам персонализированных программ обучения и развития по вопросам безопасности, основанных на их должностных обязанностях и истории обучения.

Рассмотрим примеры ИС, используемые для эффективной работы на горнодобывающих предприятиях.

1. Системы мониторинга состояния оборудования: Эти системы отслеживают состояние оборудования, такого как конвейерные ленты, подшипники и гидравлические системы, для выявления ранних признаков неисправностей.

2. Системы отслеживания персонала: Эти системы используют датчики и метки для отслеживания местоположения сотрудников в режиме реального времени, что позволяет быстро реагировать на чрезвычайные ситуации.

3. Системы управления инцидентами: Эти системы автоматизируют процессы управления инцидентами, обеспечивая эффективное расследование, документирование и отслеживание корректирующих действий.

4. Системы обучения по технике безопасности на основе виртуальной реальности: Эти системы используют виртуальную реальность для создания сценариев безопасности, которые позволяют сотрудникам практиковать безопасные процедуры в безопасной среде.

Помимо традиционных приложений ИС, горнодобывающая промышленность также активно внедряет инновации для дальнейшего повышения безопасности с помощью ИС.

К ним относятся:

- Использование искусственного интеллекта (далее - ИИ) и машинного обучения (далее - МО): ИИ и МО используются для анализа больших объемов данных с датчиков, камер и других источников для выявления скрытых закономерностей и прогнозирования рисков, что позволяет горным предприятиям более эффективно выявлять и предотвращать потенциальные опасности.

- Блокчейн: Блокчейн используется для создания защищенных и неизменяемых записей данных, связанных с безопасностью. Это повышает прозрачность и доверие к данным о безопасности и помогает предотвратить подделку или манипулирование данными.

- Интернет вещей (IoT): IoT-устройства, такие как датчики и носимые устройства, используются для сбора данных в режиме реального времени об окружающей среде, оборудовании и персонале. Эти данные можно анализировать с помощью ИИ и МО для выявления рисков и принятия упреждающих мер.

- Дополненная и виртуальная реальность (AR/VR): AR/VR-технологии используются для создания реалистичных симуляций и обучения по технике безопасности. Это позволяет сотрудникам практиковать безопасные процедуры в безопасной среде и повышает вовлеченность и эффективность обучения.

По мере развития технологий применение ИС для безопасности в горнодобывающей промышленности будет продолжать расширяться. ИИ и МО будут использоваться для автоматизации процессов безопасности, таких как выявление рисков, управление инцидентами и обучение по технике безопасности, что освободит персонал по технике безопасности для выполнения более сложных задач. ИС будут использовать данные о сотрудниках и рабочем месте для предоставления персонализированных решений безопасности, адаптированных к конкретным рискам и потребностям. ИС по безопасности будут тесно интегрированы с системами оперативного управления, что позволит принимать решения по безопасности в режиме реального времени на основе операционных данных.

Горнодобывающая промышленность будет внедрять передовые технологии, такие как квантовые вычисления и облачные вычисления, для дальнейшего повышения безопасности.

Обеспечение безопасности информационных систем для горнодобывающих предприятий имеет решающее значение для их успеха в цифровую эпоху. Применение информационных систем является и будет оставаться неотъемлемой частью обеспечения безопасного функционирования горных предприятий. Внедряя комплексные стратегические

и тактические меры, горнодобывающие предприятия могут защитить свои данные, процессы и репутацию от киберугроз. По мере развития технологий горнодобывающая промышленность продолжит использовать передовые ИС-решения для дальнейшего повышения безопасности и защиты своих сотрудников и активов, что приведет к повышению производительности, снижению затрат и укреплению безопасности предприятия.

### Список литературы

1. Горный информационно-аналитический бюллетень. Специальный выпуск «Цифровизация и автоматизация горнодобывающего производства». № 1-2 (253-254), 2022.
2. Безопасность труда в промышленности. Специальный выпуск «Информационные технологии в обеспечении безопасности труда». № 5, 2022.
3. Беляев О.В., Петров А.В., Иванов С.П. Цифровые технологии для обеспечения безопасности горных работ. Вестник Уральского горного университета. Серия «Горное дело». № 1, 2023.
4. Сеницын А.В., Колесников Д.В., Антонов А.С. Инновационные информационные системы для управления промышленной безопасностью в горнодобывающей отрасли. Вестник Мурманского государственного технического университета. № 3, 2023.
5. Федотов А.А., Гарипов И.Р., Ахметшин Р.Р. Цифровизация горнодобывающей промышленности: повышение безопасности и эффективности. Горный журнал. № 1, 2023.
6. Милетенко Н.И., Федотенко Н.А. Обеспечение безопасности информационных систем для горнодобывающих предприятий. Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. – М: ИПКОН РАН, 2023. С.273-276.
7. Гуреев А.А., Исаков Д.В., Солодовников Н.А. Информационные системы управления безопасностью горных работ на основе технологий искусственного интеллекта. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. № 2, 2023.
8. Харламова Е.В., Захаров В.А., Афанасьева Е.Н. Использование информационных технологий для повышения безопасности труда на горнодобывающих предприятиях. Безопасность труда в промышленности. № 11, 2023.
9. Семенов А.В., Сидорова Е.В., Никитин А.А. Инновационная система обеспечения промышленной безопасности на основе цифровых технологий. Горный журнал. № 2, 2024.



# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ РАБОТ

---

---

УДК 553.9

## ПОИСК ПУТЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

**Боброва Е.М.**

*Санкт-Петербургский горный университет  
императрицы Екатерины II*

**Научный руководитель: профессор, д.т.н., Пиирайнен В.Ю.,**

Эффективное использование природных ресурсов является залогом успешного развития экономики страны. Разработка полезных ископаемых, как правило, сопровождается нарушением земель и деградацией почв, что отрицательно сказывается на окружающей среде и требует их рекультивации. Торфяники играют важную роль в сохранении экосистемы, поглощая парниковые газы, и являясь источником ценнейшего природного возобновляемого сырья. В агропромышленном земледелии торф широко применяется в роли структуратора почв. Это его качество вполне может быть использовано для рекультивации земель территорий горнодобывающих предприятий. Одним из средств восстановления утраченных земель может стать внесение в них композиционных материалов на основе торфа, разработкой которых в настоящее время занимаются в Санкт-Петербургском горном университете. Поиск оптимальных составов композиций применительно для различных почв, а также технологии их гранулирования и приемов внесения в землю, составляют основу нового научного направления исследований, целью которых является восстановление и сохранение экологической системы.

Сегодня в результате техногенного воздействия наблюдается и продолжается существенное снижение качества и плодородия земель. Рекультивация является одной из важных мер для предотвращения такой ситуации [1]. Для ускорения процесса восстановления нарушенных территорий можно использовать органические удобрения и другие питательные добавки, внося их в почву.

Данная работа является аналитическим исследованием направленным на поиск способов восстановления нарушенных земель, где влияние человеческой деятельности на окружающую среду становится все более ощутимым. Идея работы заключается в оценке возможности при-

менения грунтовых смесей на основе торфа для решения природоохранной функции.

Торфяные угодья – это экосистемы, богатые органическими веществами, обладающими свойствами твердых кислот [2]. Это особенность обуславливает малую пригодной непосредственного использования торфа для агропромышленного земледелия. Его применение требует предварительной подготовки и нейтрализации, после которой он может быть успешно использован, в том числе для решения задач по возвращению в хозяйственный оборот утраченных территорий горнопромышленных предприятий [3]. Для чего необходимо проведение рекультивационных и мелиоративных мероприятий. Торф может служить отличным мелиорантом и после определенной обработки может быть использован в качестве почвоулучшителя [4].

Гранулированные комплексные почвоулучшители обладают такими преимуществами как компактность, высокая насыпная плотность, удобство при транспортировании, механизация процессов внесения в грунт и длительное действие в почве [5].

Восстановление плодородия нарушенных земель играет ключевую роль в охране природы. Применение торфа в качестве почвоулучшителя способствует созданию благоприятной основы для выращивания зеленых растений и формированию устойчивых экосистем. Торф помогает создать оптимальные условия водного, теплового и питательного режимов на рекультивированных участках, улучшая их физические, химические и гидрофизические свойства.

Рекультивация карьеров и нарушенных территорий, а также восстановление почвы и растительности, играют важную роль в восстановлении техногенных экосистем. Без должного внимания и проведения соответствующих мероприятий по рекультивации земель, нарушенных человеческой деятельностью, проблема деградации почвы может приобрести глобальный масштаб.

Настоящие исследования проводятся в научном Центре «Геоэкология» СПб горного университета.

### Список литературы

1. Пашкевич М. А., Куликова Ю. А. Мониторинг и оценка негативного воздействия техногенных массивов минерально-сырьевого комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 9-1. – С. 231–247. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_91\_0\_231.

2. Mikhailov A. V. The relationship between fractal properties and active porosity of peat compositions / A. V. Mikhailov, O. Z. Garmaev, A. S. Fedorov // Key Engineering Materials. – 2020. – Vol. 836 KEM. – P. 58-62. – DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.836.58.

3. Лубенская Н. А., Чмыхалова С. В., Гришин В. Ю. Предпосылки для формирования и развития рынка услуг по рекультивации нарушенных земель // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 10-1. — С. 88—100. DOI: 10.25018/0/0236\_1493\_2021\_101\_0\_88.

4. Петрова Т.А., Рудзиш Э. Виды мелиорантов для рекультивации техногенно нарушенных территорий горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 4. – С. 100–112. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_4\_0\_100.

5. Усманов А. И., Горбунов А. В. Изменение свойств техногенных грунтов в процессе рекультивации с использованием торфо-диатомитового мелиоранта // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 5—2. — С. 283—294. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_52\_0\_283.

**УДК 620.91**

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ «ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫЙ ВОДНЫЙ ИСТОЧНИК – УГОЛЬНАЯ ТЭС» ДЛЯ НУЖД ЭНЕРГЕТИКИ**

**Бураков И.А.<sup>1</sup>, Бураков А.Ю.<sup>2</sup>, Никитина И.С.<sup>1</sup>,  
Горбунов А.И.<sup>1</sup>, Егоров Е.Н.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», <sup>2</sup>ООО «АкваАналитика», г. Москва*

По данным на окончание 2021 года на территории Российской Федерации (РФ) на тепловых электрических станциях (ТЭС) вырабатывается 62,92% электроэнергии [1]. Примерно треть российских ТЭС составляют энергетические объекты, основным топливом для которых является твёрдое топливо [2]. На конец 2020 года на территории РФ доказанные запасы угля составили 162166 млн.т., причём большая их часть (чуть меньше 56%) относится к бурогольной стадии углефикации, то есть является углём низкого качества и высокой реакционной способности [3]. В России существует 24 крупных угольных бассейна, 4 из которых (Кизеловский каменноугольный; Подмосковский, Челябинский, Сосвинско-Салехардский бурогольные) на конец 2023 года не разрабатываются. Причинами отсутствия разработки являются: низкое качество добываемого угля; высокая стоимость добычи; низкая конкурентоспособность угольной генерации относительно газовой генерации для районов расположения неразрабатываемых бассейнов. Суммарно запасы неразрабатываемых бассейнов составляют 5,9 млрд.т. [4]. Необходимость решения проблемы возобновления разработки перечисленных угольных бассейнов косвенно прописана в Энергетической стратегии РФ на период до 2035 года. Авторам представленного труда возможность возобновления разработки угольных бассейнов видится в переориентировании задач функционирования бассейнов с только

энергетических на получение товарной продукции не топливно-котельного назначения (или не только топливно-котельного назначения). С этой целью следует обеспечить реализацию методов комплексного энерготехнологического использования твёрдого топлива на базе тепловой электрической станции (ТЭС), что ведёт к превращению ТЭС в энерготехнологический комбинат (ЭТК).

Так как угли закрытых угольных бассейнов имеют в составе значительное количество балластных составляющих (содержание зольности на сухую массу до 50% [5]) для обеспечения их высокоэффективной эксплуатации в узлах ЭТК следует обеспечить повышение качества перерабатываемого сырья.

Коллектив авторов в рамках обеспечения содержания внешнего балласта в рассматриваемых углях предлагает обратиться к гравитационным процессам обогащения с использованием в качестве тяжёлой среды высокоминерализованных водных растворов природного и техногенного происхождения (природных подземных хлоридных натриевых рассолов, бишофита, высокоминерализованных вод поверхностных источников, сточных высокоплотных вод Na-катионитных фильтров). Часть предлагаемых технологий была опробована в лаборатории НИУ «МЭИ», а результаты представлены в работах [6 – 8]. Наиболее полные результаты исследований по реализации метода гравитационного обогащения в корытном сепараторе с применением в качестве тяжёлой среды высокоминерализованных водных растворов природного и техногенного происхождения представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Технологические показатели процессов обогащения углей с использованием в качестве тяжёлых сред однофазных растворов природного и техногенного происхождения**

Месторождение угля, страна	Средняя плотность угля, кг/м <sup>3</sup>	Плотность тяжёлой среды, кг/м <sup>3</sup>	Извлечение в концентрат ( $\epsilon_k$ ), %	Максимальная эффективность обогащения ( $\eta$ ), %
1	2	3	4	5
Калева, Мьянма	1490	1096 – 1300	до 61,7	до 63,6
Тигиит, Мьянма	1228	1096 – 1300	до 55,7	до 56,1
Чжо Сейн, Мьянма	1098	1160 – 1165	до 76,0	до 65,1
Та Пей Чун, Мьянма	1728	1200 – 1300	до 7,9	до 4,16
Синтаунг, Мьянма	1084	1096 – 1165	до 83,6	до 66,5

продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Багануур, Монголия	1388	1165	до74,6	до 36,1
Шивз-Ово, Монголия	1160	1165	до84,8	до 58,6
Налайх, Монголия	1333	1165	до65,9	до 44,5
Зидди, Таджикистан	1229	1210	до65,8	до 67,8
Кузнецкий (Дп), РФ	1339	1125 – 1165	до58,0	до 47,8
Эльгинское (Б), РФ	1262	1125 – 1165	до58,0	до 49,8
Подмосковный (Б), РФ	1220	1125 – 1175	до 63,0	до 56,5

В зависимости от обогащаемого исходного угля и вида применяемой тяжёлой среды в получаемом концентрате удаётся достичь значений зольности на сухую массу равных 5–10%.

По анализу данных табл. 1 можно сделать вывод о возможности эффективного использования предлагаемого метода обогащения для ряда угольных месторождений и рассмотренных углей.

Использование высокоминерализованных водных растворов в качестве тяжёлой среды в процессе обогащения позволяет рассматривать систему «высокоминерализованный водный источник – угольная ТЭС», как одну из составляющих ЭТК и как необходимый этап для получения конечной продукции комбината.

### Список литературы

1. Н.Д. Роголёв. Тепловые электрические станции / Н.Д. Роголёв, А.А. Дудолин, Е.Н. Олейникова // М.: Издательство МЭИ, 2022. – 768 с.
2. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии// ИТС НДТ КТЭУ Москва, бюро НДТ, 2016 – 2017 г.
3. Bernard Looney. 70-th edition BP Statistical Review of World Energy 2021 // June 2021. BP p.l.c. 2021 – 72 pp.
4. Состояние сырьевой базы угля Российской Федерации // Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году: [сайт]. – 2023. – URL: <https://gd2021.data-geo.ru/fuel/c> (дата обращения: 18.09.2023).
5. Угольная база России. Том I. Угольные бассейны и месторождения европейской части России // М.: ЗАО «Геоинформмарк» 2000. – 483 с.
6. Аунг Х.Н. Разработка методов повышения эффективности получения экологически чистого топлива на основе переработки твёрдого топлива для

условий Мьянмы // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва, НИУ «МЭИ», 2023 – 111 с.

7. Йе В.А. Исследование эффективности применения процессов энерго-технологической переработки твёрдого топлива для его дальнейшего использования на тепловых электрических станциях в условиях Мьянмы // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва, НИУ «МЭИ», 2023 – 125 с.

8. Аунг К.М. Разработка технологии использования высокоминерализованных сточных вод энергетических объектов в процессе обогащения углей для условий Мьянмы // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва, НИУ «МЭИ», 2024 – 131 с.

**УДК 504.05**

## **МЕТОДОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ «ЗЕЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ» ДЛЯ ГОРНО-ДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА ПРИ «УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ»**

**Галченко Ю.П., Докутович М.И.**

*ИПКОН РАН*

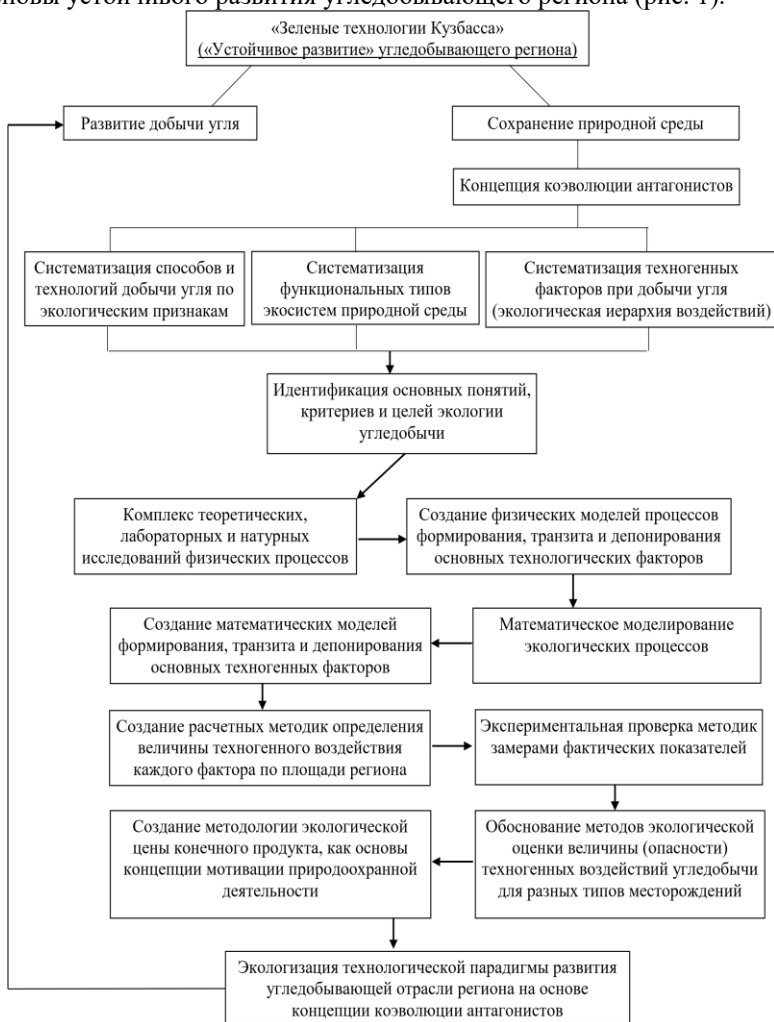
Главным отличием «Устойчивого развития» как генерального принципа комплексного развития промышленного региона является равенство значений экологических и экономических факторов при оценке результатов любой производственной деятельности. То есть, по сути «Устойчивое развитие», как форма коэволюции антагонистов означает переход от экономического императива в промышленности к императиву эколого-экономическому.

В общей проблеме при рассматривании промышленных потоков одним из наиболее важных элементов является пылевой фактор.

Функции контроля и управления пылевым загрязнением экосистем региона формируются в виде комплекса прямых и обратных связей в сложной природно-техногенной системе, у которой общая структура природной составляющей определяется законами экологии, а развитие каждого компонента техническими составляющими – законами физики и аэрологии. Следовательно, создание интерактивной системы текущего контроля за локальным пылевым загрязнением в пределах горно-добывающего региона и обоснование технологических путей управления возможно при главном допущении о том, что все биологические проблемы экологии решаются путем изменения горной технологии.

Экосистемы геонамической среды горно-добывающего региона: *а)* экосистема естественной биоты Земли; *б)* экосистема жизнеобеспечения человека (сельскохозяйственная деятельность); *в)* экосистема среды обитания человека (урбанизация).

Тогда первым этапом работы для каждого из рассмотренных типов источников пыли является построение схемы количественного распределения пыли заданного гранулометрического состава по высоте её ввода в атмосферу. И на этой основе строится когнитивная структура методологии решения проблемы «Зеленых технологий Кузбасса», как основы устойчивого развития угледобывающего региона (рис. 1).



**Рисунок 1 - Когнитивная структура методологии решения проблемы «Зеленых технологий Кузбасса»**

**Выводы.** Результатом реализации данного методологического подхода является разработка детерминированной системы моделей формирования (образования, поступления), транзита и депонирования минеральной пыли в атмосфере описывающих процессы формирования во времени и пространстве пылевого загрязнения экосистем земной поверхности в горно-добывающих регионах с последующей разработкой алгоритма для количественной оценки величины этого загрязнения.

**Благодарности.** *Исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с п.4 ст.78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации от 28 сентября 2022 г. №075-15-2022-1185.*

### Список литературы

1. Галченко Ю.П., Докутович М.И. К вопросу о методологии решения проблемы контроля пылевого загрязнения экосистем в пределах горно-добывающего региона. // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. / Материалы 16 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – М.: ИПКОН РАН, 2023. – С. 370-373.

2. Ивлиева М.С. Математическое моделирование конвективно-диффузионного переноса известняковой пыли на почвы прилегающей территории нарушенных открытыми горными работами. // Научно-технический сборник Взрывное дело. Выпуск №138/95. Теория и практика взрывного дела. – М.: МВК по взрывному делу при АГН, 2023. – С. 131-148.

3. Сенченко Д.С., Докутович М.И. Геоэкологические аспекты взрывных работ на месторождениях известняка. // ГИАБ, №8. – М.: Горная книга, 2014. – С. 215-220.

4. Поздняков Г.А., Закутский Е.Л. Мониторинг пылевзрывобезопасности горных пород. // Научно-технический сборник Взрывное дело. Выпуск №97/54. Совершенствование технологии взрывных работ на горных предприятиях. – М.: МВК по взрывному делу при АГН, 2007. – С. 203-209.

5. Викторов С.Д., Галченко Ю.П., Закалинский В.М., Рубцов С.К. Разрушение горных пород сближенными зарядами. – М.: Научтехлитиздат, 2006. – 276 с.

6. Угольников В.К., Симонов П.С. Мероприятия по снижению пылегазовых загрязнений атмосферного воздуха при взрывных работах на карьерах. // Научно-технический сборник Взрывное дело. Выпуск №91/48. – М.: МВК по взрывному делу при АГН, 1998. – С. 231-234.

7. Трубецкой К.Н., Потапов М.Г., Виноцкий К.Е., Мельников Н.Н. и др. Справочник. Открытые горные работы. – М.: Горное бюро, 1995. – 590 с.

8. Клименко А.П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли. – М.: Химия, 1978. – 207 с.



## УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Добрынин А.А.

*ИПКОН РАН*

Горные предприятия нередко упрекают в том, что они загрязняют территории во многих регионах России, однако, уже появляются предложения и есть конкретные примеры утилизации отходов, в т.ч. опасных, в условиях именно горных предприятий, как в России, так и за рубежом.

В качестве примера утилизации опасных отходов можно обратить внимание на утилизацию радиоактивных отходов, путём размещения их в закладочные смеси [1].

В Монголии специалисты Горно-обогажительного комбината (ГОК) «Эрдэнэт», занялись утилизацией отходов пластмассы, на что следует обратить внимание и российским предприятиям, т.к. объёмы отходов пластика практически на любом горном предприятии исчисляются тоннами.

ГОК «Эрдэнэт», является одним из крупнейших в Азии, перерабатывает более 31 млн. т руды в год, производит около 530 тыс. т медного и около 4,5 тыс. т молибденового концентрата [2]. Неслучайно, что ГОК, как и практически все горные предприятия мира, столкнулся с проблемой накопления отходов пластика, однако сумел успешно решить этот вопрос. Пластиковые отходы объёмом 75 т в год стали переплавлять в опоры для создания воздушных промежутков в скважинных зарядах взрывчатых веществ (ВВ). Во время детонации заряда пластиковая опора, необходимая для создания рассредоточенной конструкции заряда ВВ, полностью сгорает. Длина отливаемых пластиковых опор - 1,7 м, следовательно, это и есть длина воздушного промежутка в заряде ВВ. Масса опоры - 7,5 кг. Благодаря рассредоточенной конструкции заряда удельный расход ВВ снизился и, как следствие, снизилось и сейсмическое действие взрыва. На описанный способ утилизации специалисты ГОКа получили Патент Монголии [3].

ИПКОН РАН также изучает вопросы утилизации отходов и в 2024 г. получил российский патент на способ уничтожения и утилизации токсичных отходов взрывом и в этом случае, как и в Монголии, не обошлось без применения ВВ [4].

Предложенный способ направлен на снижение расходов на утилизацию, уничтожение, дезактивацию и захоронение опасных отходов.

Проведённый анализ различных предлагаемых способов дезактивации опасных, например, медицинских и некоторых других, в т.ч. промышленных отходов, показал, что гарантированно их дезактивировать

способно только максимально жёсткое термодинамическое воздействие, которое достижимо при расположении отходов внутри заряда ВВ, например, скважинного, если речь идёт о горном предприятии, или снаружи заряда ВВ, в ближней зоне действия взрыва. Высокое давление ударной волны и температура более 2000 К, возникающие в результате детонации ВВ, позволяют уничтожать практически любые опасные отходы.

Опасные отходы рекомендуется размещать в контейнеры (капсулы, ёмкости, сосуды, оболочки и т.п.), которые должны надёжно, герметично закрываться сразу после размещения в них отходов твёрдых или жидких, где бы это не осуществлялось. В этом случае их предварительная дезинфекция, дезактивация, нейтрализация перед транспортировкой на объект уничтожения (карьер, разрез и др.) не потребуются. Контейнеры изготавливаются из материалов, которые обеспечат сохранность отходов и безопасность персонала при выполнении всех необходимых технологических операций и транспортировке в течение требуемого времени до момента их уничтожения.

Уничтожение отходов производится одновременно с решением основной задачи горных предприятий, т.е. дроблением горных пород с целью добычи полезных ископаемых.

Для повышения температуры и давления, в контейнер или другую оболочку с отходами, дополнительно к отходам можно добавить химически совместимые с ними, горючие компоненты, например, жидкие нефтепродукты, спирты и т.п., или порошки металлов (алюминий, магний, ферросилиций или др.) или окислители, например, селитры, или совместно окислитель и горючее.

В 1979 г. Всемирная организация здравоохранения отнесла медицинские отходы к группе особо опасных и указала на необходимость создания специализированных служб по их уничтожению и переработке. Базельская конвенция в 1992 г. выделила 45 видов опасных отходов, список которых открывается клиническими отходами.

Отходы лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) содержат потенциально опасные микроорганизмы, которые могут инфицировать пациентов больниц, медработников и других людей. Другие потенциальные риски инфекции могут включать распространение лекарственно устойчивых микроорганизмов из ЛПУ в окружающую среду. Места захоронения отходов, если они неправильно сконструированы и построены, могут загрязнять питьевую воду. В учреждениях по удалению отходов, если они неправильно сконструированы, эксплуатируются или поддерживаются существуют профессиональные риски. По оценкам, в мире ежегодно производится 16 миллиардов инъекций. Не все иглы и шприцы надлежащим образом удаляются, что создает риск травм и ин-

фекций, а также возможности для повторного использования. Например, в 2010 г. небезопасные инъекции продолжали быть причиной 33800 новых инфекций ВИЧ, 1,7 миллиона инфекций гепатита В и 315000 инфекций гепатита С.1 [5].

Медицинские отходы ЛПУ составляют около 2% от общего объёма твёрдых бытовых отходов в России, причём из них около 20% составляют опасные материалы [6]. Согласно [7] к опасным отходам относятся 15%, которые могут представлять угрозу для жизни и здоровья человека и окружающей среды. В 2020 г. в России объём медотходов 2 млн т в год [8].

Отходы содержащие металлы, редкоземельные элементы и другие полезные вещества рекомендуется нейтрализовать и перерабатывать именно на тех горных предприятиях, где добываются минералы, руды этих металлов, элементов или других полезных веществ, которые находятся в отходах. К этим веществам относятся любые, которые получают после добычи и переработки полезных ископаемых, извлечение которых сегодня из отходов другими способами может быть затруднено или нерентабельно. Предлагается переработать, обезвредить опасные отходы при попутном извлечении из них металлов и других веществ, которые после обогащения и другой переработки могут быть вовлечены во вторичный хозяйственный оборот.

Наиболее крупные карьеры в стране добывают железную руду, поэтому использованные иглы шприцов и др. металлический медицинский инструмент имеют шанс вернуться к нам в виде новых изделий, т.е. отходы вовлекаются во вторичный хозяйственный оборот, к чему призывают «Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» и «Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года» [9, 10].

Специалисты ИПКОН РАН предлагают опробовать свою новую технологию на горных предприятиях в железорудных бассейнах России.

**Вывод.** Горные предприятия могут участвовать в процессе уничтожения, дезактивации и утилизации широкого спектра различных видов отходов, в т.ч. весьма опасных, что позволит улучшить экологическую обстановку и снизить затраты за счёт отсутствия необходимости размещения, захоронения опасных отходов, создания специального оборудования и производств по их дезактивации и переработке.

#### Список литературы

1 Головки В.В. Утилизация в закладочные смеси радиоактивных отходов переработки карбонатных руд Аргунского месторождения / Сборник

материалов VII международной научно-технической конференции «Экологические аспекты горного и перерабатывающего производства. М.: АО «ВНИПИпромтехнологии», Типография Корона, 2022, с. 165-169.

2 Данилов Ю.Г., Никифорова В.В., Леонтьев С.П., Константинов Н.Н., Хосоев Д.В. ГОК «Эрдэнэт»: история и перспективы развития. Горная промышленность. 2019;(5):24–27. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-5-24-27.

3 Нямдорж Д., Лайкансурен Б., Давахуу Н., Потравный И.М. Утилизация отходов при организации взрывных работ на горнодобывающих предприятиях Монголии / Горный журнал № 3, 2022, с. 38-42.

4 RU2815668 Способ уничтожения отходов взрывом. Бюллетень ФИПС. – 2024. - № 8.

5. Медицинские отходы. Информационный бюллетень № 253, Издание: Медестра, 2013.-№ 11.-С.30-34.

6. Пирожникова А.П. Проблемы отходов медицинских учреждений в России и пути их решения // Молодежь и наука: сборник материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2014.

7. Михаил Пономарев. Перспективные направления совершенствования системы обращения с медотходами. Эковестник № 4/2020, с. 90-93.

8. «Ростех» нашел ответственного за медицинские отходы. The SNEVICAL JOURNAL № 7-8, 2020. С. 8.

9. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года. Утв. Указом Президента Российской Федерации от 19 апреля 2017 года № 176.

10. Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года. Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 г. № 84-р.

## **СПОСОБ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РЕГИОНА**

**Кочкин Н.А., Никитин А.А.**

*ООО «Экологический индустриальный клининг», г. Москва*

Темой доклада является рассмотрение возможности построения счетной системы комплексного мониторинга окружающей среды с использованием наилучших доступных технологий.

Рассматривается построение распределенная система учета количества оборота CO<sub>2</sub>, охватывающая зоны естественных и антропогенных объектов. Предпосылкой к реализации проекта является перспектива

введения углеродного налога, который сейчас рассматривается как обязательный платеж во всем мире, что может лишить нашу страну ориентировочно 0,2% ВВП в год (данные РБК).

Целью проекта является создание уникального способа комплексного мониторинга окружающей среды (оборота углекислого газа), на различных объектах региона, оснащенных средствами контроля, для получения распределенной системы поглощения углекислого газа, содержащую в себе пространственно разнесенные объекты поглощения  $\text{CO}_2$ , с последующим выходом на распределение углеродных квот как среди отечественных предприятий с высокой углеродоемкостью, так и с предоставлением квот «грязным» странам. Предлагаемая система (патент RU 2778495) относится к способам мониторинга окружающей среды региона, включающего источники поглощения и выделения углекислого газа и иных загрязнений среды.

При измерении текущих характеристик объектов контроля определяют метеорологические параметры атмосферы региона и их оценки по зонам расположения техногенных объектов контроля, антропогенных и природных объектов. Для антропогенных и природных источников поглощения и выделения углекислого газа измерения проводят в различные сезоны и циклично с привязкой ко времени суток. Для построения макетного образца системы и выхода на формирование СПО необходимо оборудование нескольких объектов различного происхождения по несколько (3-4) однородных в пределах выбранного полигона. Прогнозирование инструментально подтвержденного количества  $\text{CO}_2$ , поглощенного на различных объектах с целью дальнейшего вовлечения этих количеств в баланс хозяйственной деятельности. Вариантами дальнейшего развития проекта (с дальнейшим улучшением качества системы) могут являться:

- дотационное оснащение с/х и прочих частных и государственных объектов измерительной аппаратурой;
- апробация перспективных технологий повышения урожайности с/х культур;
- апробация технологий депонирования  $\text{CO}_2$  и снижения его эмиссии, получение субсидий на реализацию технологий, связанных со снижением энергопотребления и выброса  $\text{CO}_2$  в атмосферу; оценки состояния окружающей среды региона;
- сертификация контрольно-измерительного оборудования, участвующего в задачах проекта; - организация дополнительных сервисов на данных сети в интересах федеральных и ведомственных, международных программ;

- осуществление контроля состояния районов вечной мерзлоты и шельфовых территорий по выделению  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ;
- увеличение точности модели сельскохозяйственных прогнозов.

Механизмы, отработанные в предлагаемом проекте, могут иметь применение и в других социальных направлениях. Оснащение различных объектов (в первую очередь, с/х направления) в развитие проекта, сбор первоначальных данных с дальнейшим уточнением позволит документально подтверждать оборот  $\text{CO}_2$  в пределах полигона наблюдения. В процессе уточнения модели появится возможность прогнозировать параметры процесса с количественной оценкой погрешности (риска) прогноза, использовании ее при прогнозировании изменений характеристик окружающей среды региона во времени. Анализ данных позволяет создавать уникальную и развиваемую модель измеряемого оборота  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и пр. в зависимости от различных факторов и условий.

Леса, которые покрывают около 30% поверхности Земли, в настоящее время играют относительно незначительную роль при анализе и управлении глобальными выбросами  $\text{CO}_2$  из-за техногенных процессов и эмиссии газа в атмосферу. Заявленное изобретение направлено на повышение точности экологического мониторинга региона по сравнению с имеющимся уровнем техники за счет учета метеорологической обстановки и расширения измеряемых характеристик окружающей среды, включая мониторинг поглощения и эмиссии углекислого газа искусственными и естественными объектами с целью прогнозирования на основе полученных измеренных показателей выделения углекислого газа в атмосферу и рационального его использования для получения нулевого баланса выбросов углерода.

Экономия выбросов в атмосферу является важной и признанной мировой задачей, поэтому расчет и адаптация циклограмм освещения и газообмена, снижающие выброс  $\text{CO}_2$ , позволят выйти на более высокий уровень реализации проекта. При этом предполагается:

- формирование для каждого природного и антропогенного источника поглощения и выделения углекислого газа суточной, сезонной и годичной моделей кругооборота углекислого газа;
- формирование модели содержания углекислого газа и его изменения в атмосфере для объектов контроля и комплексной модели содержания углекислого газа и его изменения в атмосфере для региона с периодическим уточнением сформированных моделей по результатам текущих измерений средствами контроля.

Технологические преимущества позволят существенно уменьшить энергопотребление, максимально снизить потребление воды и выброс

CO<sub>2</sub>. Механизм предлагаемой к созданию системы может действовать в конечном итоге по принципу торговли квотами. Правительство устанавливает предельные значения для выбросов и предоставляет бизнесу квоты в тех или иных секторах экономики. Квоты распределяются на основе статистики, а если компания оставляет небольшой углеродный след, она может продать свои «непотраченные» квоты на бирже. Их могут покупать производства с большой углеродоемкостью, которым своих позиций оказалось недостаточно.

Совокупность существенных признаков предлагаемого способа комплексного мониторинга окружающей среды региона проявляет новые свойства, а именно: включение текущих метеопараметров и привязка передаваемых значений контролируемых характеристик ко времени их измерения повышает точность оценки состояния окружающей среды региона за счет возможности оценки переноса загрязняющих веществ в атмосфере, формирование моделей кругооборота углекислого газа в атмосфере объектов контроля и региона, позволяет повысить точность экологического мониторинга и прогнозирования состояния среды региона. Возможность осуществления предлагаемого способа комплексного экологического мониторинга окружающей среды региона подтверждается следующим примером.

#### Список литературы

[RU2342636C2](#) \*2006-05-262008-12-27 Открытое акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева» Способ определения стока поглощаемого из атмосферы углерода древесной растительностью

[RU2369866C1](#) \*2008-01-092009-10-10 Федеральное государственное учреждение «Федеральный государственный научно-исследовательский испытательный центр радиоэлектронной борьбы и оценки эффективности снижения заметности» Министерства обороны Российской Федерации. Способ комплексного мониторинга окружающей среды региона.

[RU2680652C2](#) \*2017-05-112019-02-25 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет по землеустройству» Способ комплексного мониторинга природной среды.

[Lian et al.2021](#)Sensitivity to the sources of uncertainties in the modeling of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration within and in the vicinity of Paris

[Zhao et al.2022](#)Use of local climate zones to assess the spatiotemporal variations of urban vegetation phenology in Austin, Texas, USA

[Gilmanov et al.2004](#)Gross primary productivity of the true steppe in Central Asia in relation to NDVI: scaling up CO<sub>2</sub> fluxes

[Menon2012](#) Remote sensing applications in agriculture and forestry

RU2778495C12022-08-22 Способ комплексного мониторинга окружающей среды региона

Ranson et al. 2001 Northern forest ecosystem dynamics using coupled models and remote sensing

2020 Determining paddy field spatiotemporal distribution and temperature influence using remote sensing in Songnen Plain, Northeastern China

1. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. - М.: Издательство АиБ, 1997, с. 21- 26, 40-43, 51-52;

2. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. М.: Логос, 2001, с. 215-221].

3. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. Ростов-на-Дону, Феникс, 2007, с. 531-533, 586, 589].

4. Микрюков В.Ю. Безопасность жизнедеятельности/Ростов-на-Дону, Феникс, 2007, с. 346].

## **ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕВОДА ДОКЛАДОВ И СТАТЕЙ ПО ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕМАТИКЕ НА АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ**

**Насонова А.В.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

Из-за экологических проблем экология стала популярна в мире.

Время меняется и мы с ним. Раньше говорить на английском языке считалось профессионально круто. Сейчас цифровые переводчики обеспечивают практически прямую трансляцию речи онлайн с русского на любой из современных языков: английский, китайский, испанский ... На мой взгляд наиболее перспективными являются программы, основанные на корпусном подходе в машинном переводе использующие совокупность (корпус) параллельных двуязычных текстов. Главным преимуществом систем машинного перевода с корпусным подходом является их самонастройка, т.е. они способны запоминать терминологию и даже стилистику фраз из текстов предыдущих переводов. Статистический машинный перевод и машинный перевод, основанный на примерах, представляют собой варианты корпусного подхода. И так же применяемые при производстве табло надежные электронные комплектующие Toshiba, Atmel, Philips, которые применяются в технологии IMPC, Geo Tech, Международный конгресс по обогащению полезных ископаемых <https://vims-geo.ru/>, European Regional Conference of IAEG (EUROENGEО), Конференция ГеоЕвразия - ProfiMiner, Международная научно - практическая конференция: Актуальные проблемы экологии и природопользования. Они практически бегущей строкой в письменном виде (первая бегущая строка получила название «Тикер») и в наушниках говорят тебе содержа-

388



ние доклада в режиме практического перевода в ухо. Поэтому проблемы докладчика заключаются только в четком прочтении или рассказывании самого текста доклада в правильных лингвистических единицах не используя в речи заполненных пауз хезитации и вокализации ([э-э], [м-м], [гм]); затяжки звуков пустые вводные слова, выражения, местоимения, наречия, которые часто называют словами-паразитами или пустыми словами («так сказать», «значит», «ну», «это», «вот», «этот», «как бы», «как-то», «там» и др.). Возникают такие паузы, соответственно, когда мозгу нужно время обдумать, что говорить дальше. Это может возникать как из-за маленького словарного запаса, так и из-за стресса.

При правильном прочтении или изложении доклада практически в переводе для коллег этого нет. При написании текста доклада возникает много проблем в правильной трактовке современных терминов геологических – geocologic и просто экологических – environmental, ecological. Появилось много фразеологических сочетаний которые требуют правильного перевода поэтому в современной геологической литературе – geocological literature нужно их правильно использовать. В отделе горной экологии при выполнении темы которая называется раздел: «Развитие теории и методологии экологической устойчивости природно-технических систем освоения недр на этапе перехода к дистанционно управляемым и роботизированным технологическим процессам» появилось много новых терминов которые требуют точного и детального перевода на английский язык например нужно точно утвердить термины:

- природно-технические системы natural and technical systems,
- горно–технические системы mining and technical systems,
- природоподобные технологии – nature – like nechnologies или environment – friendly technology,
- коэволюция – coevolution,
- уровень технологической безопасности техногенных геосистем – technological safety level of technogenic geosystems,
- уровень экологической безопасности техногенных геосистем – ecological safety level of technogenic geosystems,
- самоочищение – self – cleansing,
- самовосстановление – self – regeneration, autoreduction
- интенсивность техногенных факторов – intensity of technogenic factors,
- интенсивность антропогенной нагрузки – anthropogenic load intensity
- элементы геосферы биосферы литосферы – elements of the geosphere, biosphere, litospheres,

- транзит и депонирование техногенных экологических факторов – transit and deposit of technogenic environmental (ecological) facts
- конвергентные геотехнологии – convergent geotechnology
- комплексная система защиты окружающей среды – comprehensive environmental safety system
- интегрированная экологическая система – integrated environmental system
- экологические риски – ecological risk, eco – risk
- горное дело - mining
- обогащение - раньше одressing, современный перевод mineral processing

На основные термины «Горная энциклопедия» дает перевод на английский, только на основные не на все.

Даже в часто используемом терминологическом словаре «Горное Дело» под научной редакцией акад. РАН К.Н. Трубецкого и чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова 2016 года нет перевода экологических терминов на английский.

В интернете есть хороший словарь «Мультитран», но в нем надо хорошо покопаться пока найдешь перевод именно того значения горно – экологического термина. Также можно пользоваться словарем «Promt», но в нем бывают не точности перевода так как это словарь обшей терминологии.

Важно, что освоение недр земли exploitation of interior part of the Earth точно переводится только так, а не как иначе. Ключевыми словами данной темы являются: техносферы technosphere, искусственно окружающая среда anthropogenic environment и биосферы bioenvironment, biosphere, ecosphere которые однозначно переводятся. Увеличение нагрузки на биосферу приводит к техногенному преобразованию недр, которые переводятся technogenic transformation of the subsoil. При этом это техногенное преобразование technogenic transformation с неизбежностью сокращает площади, обеспечивает практически прямую трансляцию речи с русского на любой язык мира.

Основной проблемой перевода с английского языка на русский является небольшое количество специальных терминологических словарей.

Потребность в этих словарях неизбежно высока, поскольку понимание специализированных текстов необходимо для дальнейшей работы экологов.

Технический перевод – это перевод, используемый для обмена специальной научно - технической информацией между людьми, говорящими на разных языках. Трудности с переводом специализированной литературы замедляют научную деятельность и технологический прогресс.

Словари, которыми вы можете воспользоваться при переводе геоэкологических терминов на английский язык, но содержание необходимых геоэкологических терминов в них недостаточное для международного общения ученых:

1) Краткий русско–английский геоэкологический словарь: геоэкология урбанизированных территорий. Сб. тр. Центра Практической Геоэкологии // Под ред. В.В. Панькова, С.М. Орлова - М.: ЦПГ, 1996. - 108с. <https://ecoguild.narod.ru/trudycpg/slovaraz.htm>

2) Краткий англо-русский и русско-английский словарь по природоохранной инженерии рубрики: Общие вопросы горного дела

Авторы: Воробьев С.Б. Редакторы: Воробьев Б.М.

Издательство Московского государственного горного университета (Москва)

Год издания: 2001

Страниц: 142

ISBN: 5-7418-0088-2

3) Англо–русский терминологический словарь по разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом

Министерство образования Российской Федерации Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет» Кафедра иностранных языков Е.С. Новикова: Под ред. А.С. Ташкинова <https://studfile.net/preview/416762/page:2/>

4) Название Геоэкология / Environmental Geology. Русско-английский понятийно-терминологический словарь

Автор С.В. Клубов, Л.Л. Прозоров Год 2002

ISBN: 5-89176-167-X

<http://www.ecolearn.ru/books/5.html>

5) Горный англо-русский словарь Г. С. Щербина

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАКОПЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ**

**Прошляков А.Н.**

*ИПКОН РАН*

Для необходимого и интенсивного развития человечество уже многие века все больше изучает и использует для промышленного производства недра Земли. Необходимо отметить, что при постоянном использовании природных ресурсов, происходит нарушение Природы, а также вследствие этого, происходит изменение биоразнообразия. Изна-

чально, Природа справлялась с его восстановлением, однако, по мере развития технического прогресса, биоразнообразии на территориях горного производства стало нарушаться настолько, что человечество стало забывать и не справляться с возложенными на него обязанностями по восстановлению растительного покрова. Производственная деятельность человека вызывает необратимые разрушения естественной биоты Земли [1].

Экстенсивный характер добычи минеральных ресурсов, переработка месторождений полезных ископаемых, а также накопление отходов горного производства привели к тому, что человечество стало задумываться о сохранении и восстановлении естественной биоты. Тогда и возникло понятие экологической безопасности недропользования.

Вполне очевидно, что понятие безопасности должно рассматриваться в тесной взаимосвязи с понятием опасности, которое, в свою очередь, можно определить, как нарушение установившегося хода естественных природных процессов развития биосистем или их элементов. Оба эти понятия представляют собой две стороны противоположных событий. Это единство можно выразить через определение понятия экологической безопасности: экологическая безопасность это - мера устойчивости биотического объекта против возникновения опасных ситуаций и перехода их в опасные события. Методологически это означает, что понятие экологической безопасности производства должно быть структурировано по целевым функциям нарушаемых этим производством комплексов окружающей среды. В общем случае экологическая безопасность техногенного новообразования обеспечивается после восстановления естественного функционирования экосистем, депонирующих эти новообразования. В свою очередь эти экосистемы структурированы по характеру их использования человеком. Здесь достаточно просто выделяются три природно-территориальных комплекса.

Первый, природно-равновесный комплекс, представляет собой естественную биоту Земли, который не подвержен действиям человека. Второй, искусственно-равновесный комплекс, связан с хозяйственной деятельностью человека. Третий комплекс, урбанистический, охватывает искусственную среду обитания человека и промышленное производство [3].

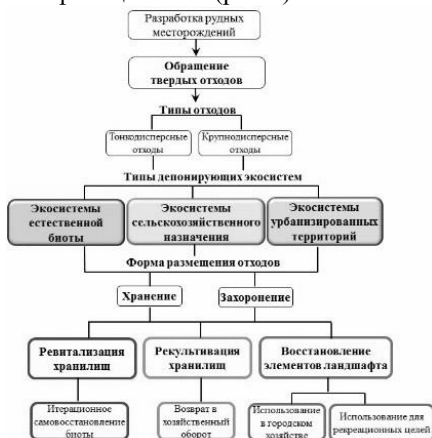
В первом случае это совокупность видов растений, животных и микробов, взаимодействующих друг с другом и постэксплуатационное восстановление биологического разнообразия. Во втором случае, восстановление хозяйственной и повышения хозяйственной ценности плодородия почв. В третьем случае это уже проблема обеспечения здоровья человека, сохранение зданий и сооружений, также сохранность природ-

ных элементов, имеющие хозяйственную ценность для жизнеобеспечения человека.

Выбранный режим размещения твёрдых отходов предопределяет, как степень экологической опасности, так и характер необходимых последствий по восстановлению нарушенных площадей.

**Хранение** крупнодисперсных твёрдых отходов (пустых пород) означает, что в постэксплуатационный период предусматривается возврат в хозяйственный оборот нарушенных отвалами территорий.

При **захоронении** крупнодисперсных твёрдых отходов на земной поверхности предполагается, что восстановление биоты на этих территориях будет определяться процессами естественного самовосстановления фитоценозов. (рис.1).



**Рисунок 1 - Способы изменения состояния природных объектов в зависимости от форм размещения отходов**

Накопление отходов горного производства в природно-равновесной экосистеме влияет на самовосстановление естественной биоты. Масштаб этого процесса определяет степень техногенного нарушения биоты первичной экосистемы, а ее экологическая безопасность достигается при полном восстановлении управляемого и самопроизвольного развития демулационных сукцессий на поверхности техногенных новообразований в процессе ревитализации техногенного ландшафта. Отсюда, **хранение** крупнодисперсных твёрдых отходов (пустых пород) означает, что после полного их использования необходимы меры по восстановлению естественного почвенного покрова. Соответственно, **захоронение** твердых отходов означает, что депонирующая эти отходы геосфера изменяет свое состояние и восстановление экологического равновесия потребует ревитализации сформированного техногенного ландшафта.

Накопление отходов горного производства в искусственно-равновесной уже представляет собой в случае **хранения** крупнодисперсных твёрдых отходов (пустых пород) - это прежде всего необходим постоянный прямой или опосредованный труд человека в виде рекультивации земли и для восстановления плодородия на занятых им площадях. В случае **захоронения** необходимо нахождение новой формы использования техногенных новообразований чтобы хозяйственная эффективность использования вновь образованных поверхностей техногенных новообразований будет равна хозяйственной ценности почвы, на площади занятой хранилищем.

И, наконец, третий тип выделенных нами экологических проблем включает в себя влияние хранилищ отходов на экосистемы искусственной среды обитания человека. Сюда следует отнести урбанизированные поселения городского типа и поселения сельского типа, границу между которыми можно провести по характеру и структуре использования земли, отторгнутой у природы под эти поселения. Виды накопления отходов горного производства и необходимые процессы для восстановления биоты представлены на рис.2.



**Рисунок 2 - Восстановление исходного состояния экосистем при хранении и захоронении твёрдых отходов горного производства**

При создании системы накопления твердых отходов горного производства понятие экологической безопасности должно быть структурировано по целевым функциям нарушаемых этим производством комплексов окружающей среды. Выбранный режим размещения твёрдых отходов (хранение и захоронение) предопределяет, как степень экологической опасности, так и характер необходимых последствий по восстановлению нарушенных площадей.

## Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Природоподобная геотехнология комплексного освоения недр: проблемы и перспективы. — М.: Научтехлитиздат, 2020. — 368 с.
2. Вебер А.Б. Человечество и экологический императив // *Свободная мысль*. 2009. №9. С. 10-18.
3. Трубецкой К.Н, Галченко Ю.П. Геоэкология освоения недр Земли и экогеотехнологии разработки месторождений. М: ООО «Научтехлитиздат», 2015. 360 с.

УДК:622.271

## ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ПОДЗЕМНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Сребродольский Я.А.

*«ГеоПроМайнинг»*

Проектирование опытно-промышленных испытаний (далее по тексту ОПИ) подземной геотехнологии при разработке месторождений требует обоснованного выбора объема и информации и анализа исходных данных. Несмотря на то, что проекты ОПИ часто подготавливаются на весьма ограниченном объеме информации о месторождении, свойствах руды и состоянии массива горных пород, реализация этих проектов позволяет сократить риски непотверждения проектных показателей при полномасштабном освоении месторождения. В ходе реализации проекта ОПИ обеспечивается сбор дополнительных исходных данных для подготовки ТЭО кондиций или проверка показателей реализации разработанных технологий и средств их механизации. Чтобы в последующем избежать пересмотра параметров системы разработки, из-за несоответствия геомеханических и гидрогеологических представлений, приведенных в материалах детальной разведки, реальным условиям, целесообразна разработка проекта на проведение опытно-промышленных испытаний планируемой к внедрению геотехнологии [1-3].

Обоснование состава исходных данных играет ключевую роль в качестве и достоверности исходной информации для проектирования ОПИ. Достоверно выбранные данные обеспечивают репрезентативность исходной информации, что в последующем обеспечивает надежность и

эффективность реализации проекта ОПИ, анализа результатов и обобщения выводов. Тщательное обоснование исходных данных также уменьшает вероятность предвзятости и искажений, повышая объективность анализа результатов [4].

В настоящее время методические положения, устанавливающие минимальный и достоверный объем исходных данных для проектирования опытно-промышленных испытаний, весьма ограничены и не регламентированы правовым законодательством, что изначально может сделать проект недостоверным и увеличить риски реализации базового проекта на разработку месторождения [5].

Поэтому необходима разработка научно-правовых основ подготовки исходных данных для проектирования ОПИ.

В методике разработки проекта ОПИ должны быть учтены:

геологические данные (литологические характеристики руд и вмещающих пород, стратиграфия и тектоника, геофизические данные);

гидрогеологические характеристики месторождения (уровни грунтовых вод, состав и свойства подземных вод, поровое давление);

геомеханические характеристики месторождения и массива горных пород (механические свойства горных пород, данные о напряженном состоянии и структура массива);

технологические показатели и свойства минерального сырья месторождения (история разработки месторождения, технические характеристики базового оборудования, технологические свойства руд и сопутствующих полезных ископаемых);

экологические показатели (экологическое состояние района, потенциальное воздействие горных пород на окружающую среду и наносимый экологический ущерб)

Структура исходных данных для проектирования ОПИ геотехнологии должна быть систематизирована и представлена в удобной для анализа форме и включать в себя:

базу данных с централизованным хранилищем информации с возможностью быстрого доступа к ней и обновления;

геоинформационные системы (ГИС), включая инструменты для визуализации и пространственного анализа геологических, гидрогеологических, геомеханических и геотехнологических данных;

аналитические отчеты, представленные детализированной документацией, содержащей результаты исследований, анализа результатов ОПИ и выводов, получаемых при реализации проекта;

цифровые модели месторождения, в том числе трехмерные, созданные на основе собранных данных, позволяющие проводить виртуальные испытания и прогнозы.



Собранные исходные данные служат для обеспечения решения следующих задач:

точность проектирования: обеспечение высокой точности при планировании испытаний и обосновании параметров геотехнологий;

оптимизация затрат включая минимизацию финансовых потоков и текущих затрат за счет точного понимания условий разработки;

обеспечение безопасности горных работ для предотвращения аварий и инцидентов, благодаря тщательному анализу геологических и гидрогеологических условий разработки месторождения;

оценка экологического воздействия на базе прогноза экологических последствий и разработки мер по их минимизации.

Комплексный и четко структурированный сбор исходных данных является ключевым элементом успешного проектирования опытно-промышленных испытаний подземной геотехнологии. Только при наличии полной и точной информации о состоянии проектируемого объекта можно гарантировать эффективность, промышленную и экологическую безопасность при разработке месторождений. Поэтому качеству и полноте исходных данных на всех этапах проектирования и реализации ОПИ должно уделяться особое внимание [6].

#### Список литературы

1. Каплунов Д.Р. Теоретические основы проектирования освоения недр: становление и развитие. Горный журнал. 2014. № 7. С. 49-51.

2. Каплунов Д.Р., Чапыгин Н.Н., Рыльникова М.В. Принципы проектирования комбинированных технологий при освоении крупных месторождений твердых полезных ископаемых. Горный журнал. 2003. № 12. С. 21-25.

3. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Калмыков В.Н. Научно-методическое обоснование модульного принципа проектирования горно-технологических систем. Недропользование XXI век. 2009. № 5. С. 74-78.

4. Шестаков, В.А. Изменение методической основы проектирования и эксплуатации рудников / В.А. Шестаков // Симпозиум «Современное горное дело, образование, наука, промышленность» / МГГУ. - Москва 1997. № 1. С. 4-6;

5. Кадырбергенов, Ж. К. Оптимизация выбора системы разработки с комбинированным использованием критериев оптимальности для подземных рудников и шахт / Ж. К. Кадырбергенов // Новости науки Казахстана. – 2016. – № 2(128). – С. 125-132. – EDN ОККGVY;

6. Петров, А. И. Комплексный подход при проектировании шахт и рудников / А. И. Петров // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – 2012. – № 12. – С. 196-198. – EDN PMSFAP.

## СОДЕРЖАНИЕ

Приветствие академика РАН К.Н. Трубецкого ..... 3

### ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

*Трубецкой К.Н., Миленко Н.А.* Вклад профессора М.А. Иофиса в становление и развитие прикладной геомеханики в ИПКОН РАН (к 100-летию со Дня рождения) ..... 4

*Клишин В.И.* Организация работ по предотвращению динамических явлений в угольных шахтах методами гидроразрыва массива ..... 8

*Дрибан В.А.* Новый подход к оценке устойчивости массива горных пород вокруг выработок ..... 13

*Одинцов В.Н., Малинникова О.Н., Бобин В.А.* Моделирование геомеханических процессов вызванных разложением газогидратов в зоне вечной мерзлоты ..... 16

*Рассказов И.Ю., Секисов А.Г., Чебан А.Ю.* Совершенствование технологий селективной выемки разносортных руд при освоении месторождений высокоценного минерального сырья ..... 21

*Назаров Л.А., Назарова Л.А., Голиков Н.А., Скулкин А.А.* Фильтрационные свойства трещиновато-пористых геоматериалов: теория и лабораторный эксперимент ..... 24

*Кубрин С.С.* Роботизированный очистной комплекс по добыче угля подземным способом. Задачи требующие решения ..... 27

*Гришин А.В.* Методика управления горным давлением при разработке калийных месторождений на больших глубинах залегания ..... 31

### ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ И РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

*Еремин М.О., Чирков А.О., Пажин А.А., Лаптев С.А., Чанов Д.В.* Численный анализ технологии бурения разгрузочных скважин с целью снижения удароопасности ..... 35

*Лобков Н.И., Радченко А.Г.* Исследование прочностных свойств углепородного массива в условиях шахты «Калиновская-Восточная» ..... 38

*Кулибаба С.Б., Федоров Е.В.* Математическое описание типовых кривых оседания в полумульде сдвижения ..... 42

*Косырева М.А., Еременко В.А.* Обоснование параметров междукammerных целиков при разработке соляных месторождений вертикальными очистными камерами цилиндрической формы ..... 46

<i>Закалинский В.М., Шиповский И.Е., Мингазов Р.Я.</i> Методология оценки взрывного воздействия на состояние массива горных пород.....	49
<i>Хохлов Б.В., Рожко М.Д.</i> Апробация нового подхода к прогнозу провалообразования в приповерхностной зоне обводненных массивов .....	52
<i>Трофимов В.А., Филиппов Ю.А., Докучаева А.И.</i> Компьютерное моделирование гидроразрыва пласта. ....	55
<i>Лобков Н.И., Радченко А.Г.</i> Особенности распределения температуры по площадям в угольных пластах и вмещающих породах.....	58
<i>Крюков В.Г.</i> Метасоматоз как фактор устойчивости / неустойчивости массивов горных пород.....	61
<i>Федоров Е.В., Кулибаба С.Б., Милетенко Н.А.</i> Анализ применения технологии ГРП для интенсификации газоотдачи угольного пласта.....	65
<i>Голдин С.В., Хохлов Б.В., Ягмур А.Б.</i> Восстановление несущей способности устья вертикального шахтного ствола .....	68
<i>Ефремовцев Н.Н., Рухман А.А.</i> Применение комбинированных физико-химических воздействий на энергонасыщенные материалы и горные породы для повышения эффективности разработки полезных ископаемых. Синергетические эффекты .....	72
<i>Копорулина Е.В., Докучаева А.И., Блохин Д.И., Закорименный И.М., Кобылкин А.С.</i> Влияние минерального состава рудничной пыли на ее термические свойства .....	74
<i>Закорименный И.М., Блохин Д.И.</i> Оценка влияния изменений геомеханического состояния углепородного массива на устойчивость дегазационных скважин .....	77
<i>Лобков Н.И., Радченко А.Г.</i> Последовательность формирования области сдвижения породных слоев над выработанным пространством лав.....	81
<i>Дрибан В.А., Хохлов Б.В., Дуброва Н.А., Рожко М.Д.</i> Практика применения нового подхода к оценке проницаемости подработанного массива горных пород.....	84
<i>Насибуллин Р.Р., Набатов В.В.</i> Особенности поведения породного массива при щитовой проходке тоннелей метрополитенов по результатам анализа геомеханического мониторинга.....	87

<i>Докучаева А.И., Пашичев Б.Н., Малинникова О.Н.</i> Закономерности термического разложения углей каменных и бурых в низкотемпературной области.....	89
<i>Козырев М.М., Коссович Е.Л., Эпштейн С.А.</i> Проблемы оценки влияния разрушения углей на образование тонкодисперсной угольной пыли .....	92
<i>Бредихин А.Ю., Добрынин А.А.</i> О возможных перспективах использования газогенераторов в горной промышленности.....	95
<i>Кондрашов А.В., Ковальчук И.О., Добрынин А.А.</i> Опытное производство ЭВВ на Удоканском медном месторождении.....	97
<i>Дмитриев С.В.</i> Учет структурных нарушений при моделировании напряженно-деформированного состояния массива горных пород методом конечных элементов .....	101
<i>Колесник М.В., Дуброва Н.А.</i> Особенности визуализации провалоопасных зон .....	105
<i>Кулькова М.С.</i> Исследование геомеханических характеристик массива пород Ждановского месторождения и обоснование безопасного ведения горных работ.....	108
<i>Назарова Л.А., Николенко П.В., Назаров Л.А.</i> Лабораторная апробация метода прогноза выбросоопасности угольных пластов, основанного на решении обратных задач .....	111
<i>Хохлов Б.В., Дрибан В.А.</i> Новый подход к прогнозу провалообразования в приповерхностной зоне обводненных массивов .....	114
<i>Анциферов А.В., Мартынов Г.П., Грицаенко А.Ю., Сафин А.А.</i> Выделение полезного сигнала из зашумлённых данных при микросейсмическом мониторинге .....	118
<i>Забурдяев В.С., Шляпин А.В., Белоусов Ф.С.</i> Бурение протяженной направленной трассы скважины из выработки .....	122
<i>Кочанов А.Н.</i> Оценка размеров и минерального состава микрочастиц при взрывном разрушении горных пород в условиях открытых горных работ.....	124
<i>Уваров С.В., Нефедов С.И.</i> Обзор средств измерений поверхностных дефектов (трещин) горных пород при нагрузке .....	127
<i>Долгоносков В.Н., Пак Г.А., Щенников В.Н., Кубайдуллина У.А.</i> Исследование взаимосвязи выбросов метана из очистного пространства в лаве 64К-10В шахты «Саранская» Карагандинского бассейна .....	132

<i>Старостина О.В., Пак Г.А., Долгоносов В.Н., Мазалевский Н.С.</i> Расчет шагов обрушения в лаве 62К-10В шахты «Саранская» Карагандинского бассейна .....	136
<i>Забурдяев В.С., Шляпин А.В., Филиппов Ю.А., Белоусов Ф.С.</i> Бурение протяженной направленной трассы скважины на подрабатываемые пласты угля .....	139
<i>Ботоканова Б.А.</i> Распределение напряжений и деформаций вокруг двухпутьевого без напорного туннеля с трапециевидным сечением .....	143
<i>Кочанов А.Н., Бунин И.Ж.</i> Исследование влияния неоднородности структуры горных пород на процесс образования микротрещин при динамическом разрушении .....	147
<i>Каймонов М.В.</i> Методология блочного моделирования объектов горного производства на примере рудного штабеля при КВ золота в холодном климате.....	150
<i>Романевич К.В., Мулёв С.Н.</i> Анализ характеристик сейсмической активности в угольных шахтах и рудниках и прогнозирование активизации разрывных нарушений .....	153
<i>Коровин Р.Д., Меженев М.Е., Зайцев Д.В., Панфилов П.Е.</i> Особенности морфологии трещин в горных породах разного генезиса под действием растягивающих нагрузок .....	156
<i>Харченко А.В.</i> Экспериментальное определение газовыделения из угля при ведении очистных и проходческих работ .....	158
<i>Жариков И.Ф., Докутович М.И.</i> Исследования процессов бурения и взрывания для снижения количества выбросов минеральной пыли при добыче полезных ископаемых .....	161
<i>Борщ Т.В., Подрухин А.А.</i> Общепланетарные факторы, повышающие или понижающие напряжения в твердых ископаемых и породах .....	164
<b>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ</b>	
<i>Тарасов В.М., Тарасова Н.И., Фомин А.И.</i> Новый тип секции механизированной крепи и совершенствование освоения месторождений полезных ископаемых .....	168
<i>Хосоев Д.В., Киселев В.В.</i> Перспективное направление селективной отработки сложноструктурных пластов Эльгинского каменноугольного месторождения .....	173
<i>Николаев И.Ю., Шалованов О.Л.</i> Геофизические методы при изучении подработанного углепородного массива .....	176

<i>Икреников М.С.</i> Исследование ближней зоны сейсмических систем .....	179
<i>Битимбаев М.Ж., Кунаев М.С., Юсупов Х.А., Джумабаев Е.И.</i> Физико-химическая геотехнология полного ресурсо-воспроизводящего и ресурсосберегающего освоения недр подземным восходящим развитием горных работ .....	182
<i>Вильмис А.Л., Алифашкин А.А., Некоз К.С.</i> Апробация систем оперативного контроля режимов гидротранспортирования .....	186
<i>Бородин Д.С., Туманов В.В., Новгородцева Л.А., Николаев И.Ю., Шалованов О.Л., Ялпуга Е.А.</i> Тенденции развития научно-экспериментальных направлений геофизических исследований зон геодинамического влияния разломов.....	188
<i>Емельянов Р.В., Гуриева Е.В., Агузарова К.К.</i> Дезинтеграции массива карбонатных пород невзрывчатым разрушающим составом шпурами большого диаметра.....	193
<i>Дёмин Д.О., Вартанов С.А.</i> Построение единой / общей текстуры скважины на основе эндоскопических данных .....	197
<i>Есина Е.Н., Кевбрин Д.Н.</i> Обоснование параметров создания группы подземных резервуаров в пластах каменной соли .....	200
<i>Икреников М.С., Вартанов А.З., Нефедов С.И.</i> Определение источника колебаний при помощи построения изображения распределения трёхкоординатных виброскоростей.....	203
<i>Клишин В.И., Федорин В.А., Опрук Г.Ю., Варфоломеев Е.Л.</i> Совершенствование методов управления состоянием горного массива при выемке мощных угольных пластов с управляемым выпуском.....	206
<i>Нефедов С.И., Коновальцев А.В.</i> Перспективы создания маркшейдерских планшетов на отечественной элементной базе с высокой степенью локализации на предприятиях РФ .....	209
<i>Радченко Д.Н., Гаджиева Л.А.</i> Принципы изоляции подземных камер для сернокислотного выщелачивания руд .....	211
<i>Хао Цзе, Кочеткова Е.М., Эпштейн С.А.</i> Определение риска образования кислых стоков при размещении отходов добычи углей в отвалах .....	214
<i>Шадрин А.В., Шнайдер И.В.</i> Экспериментальное определение коэффициента затухания спектральных составляющих «шума» работающего проходческого комбайна.....	217

<i>Шайхислам Г., Соловьев Т.М., Эпштейн С.А., Семина И.С.</i> Биологическая активность гуматов калия окисленного каменного угля Кузбасса .....	220
<i>Вильмис А.Л., Салахов И.Н., Тухватуллин Б.Ф.</i> Обоснование формирования штабеля гидромеханизированным способом намыва при дамбовом выщелачивании .....	223
<i>Галченко Ю.П.</i> Развитие теории создания конвергентных горных технологий .....	225
<i>Икренников М.С., Вартанов А.З., Нефедов С.И.</i> Теоретические основы пассивной амплитудной локации микросейсмических колебаний при помощи малоапертурной сейсмической антенны. ....	229
<i>Николаев И.Ю., Шалованов О.Л., Грицаенко А.Ю.</i> Исследования разломной зоны центрального Донбасса методами глубинной геоэлектрики .....	232
<i>Нефедов С.И., Рожин А.К.</i> Перспективы внедрения средств аппаратной поддержки искусственного интеллекта на горных предприятиях .....	235
<i>Конарева Т.Г.</i> О возможности применения природоподобного процесса окисления техногенных образований в физико-химической геотехнологии.....	237
<i>Кондратьев Н.Н., Андреева Ю.Е., Эпштейн С.А., Коссович Е.Л.</i> Исследование структурных изменений бурого угля после взаимодействия с озоном .....	240
<i>Кузьмин М.Б., Красавин А.Г., Рыжова Л.П.</i> О стратегии освоения редких и редкоземельных металлов .....	244
<i>Яковлев И.В.</i> Обоснование параметров логистической системы Гремячинского рудника с гидравлической схемой транспортирования закладочного материала.....	246
<i>Радченко Д.Н., Федотенко Н.А.</i> Природоподобные технологии – основа создания облика подземных роботов для добычи полезных ископаемых в экстремальных условиях .....	249
<i>Бондаренко А.А.</i> Постановка проблемы разработки новых геотехнологий для выявления и освоения ранее недоступных ресурсов недр земли .....	253
<i>Смирнов А.С., Андреева Ю.Е., Коссович Е.Л., Эпштейн С.А.</i> Использование метода спектроскопии комбинационного рассеяния для характеристики состава, структуры и свойств ископаемых углей.....	256

<i>Гузев О.А., Подрухин А.А., Корвякова Н.П., Бударецкий С.И., Борисенко Э.В.</i> Лабораторная установка по изучению температурного поля прогреваемой и охлаждаемой углепородной насыпи .....	258
<i>Залевская К.Н.</i> Классификация технологий открытой разработки неоднородных по составу и структуре раннее сформированных техногенных образований золотодобычи.....	261
<i>Татарников В.И.</i> Применение технологий разработки месторождений калийных солей с управляемым воздействием на формируемый закладочный массив .....	264
<i>Зубков П.О.</i> Изыскание технико-технологических решений по извлечению запасов глубокозалегающих пластов сильвинита в условиях нелинейного деформирования горных пород .....	266
<i>Кирков А.Е., Табагуа М.А., Гавриленко В.В., Мартынюк М.А.</i> Построение блочной геомеханической модели карьеров золото-кварцевой формации северо-енисейского района на основе инженерно-геологических и геомеханических исследований .....	268
<i>Комаров Д.П., Миленко Н.И.</i> Исследование влияния длины, конструкции и материала забойки на качество дробления горной породы .....	271
<i>Цупкина М.В.</i> Обоснование режима горных работ, предусматривающего реализацию подхода использования техногенных георесурсов, сопряженных с природными медно-колчеданными месторождениями .....	274
<i>Файсханов А.М.</i> Научно-методическое сопровождение проектирования опытно-промышленных испытаний открытой геотехнологии.....	277
<b>ГАЗОДИНАМИКА И РУДНИЧНАЯ АЭРОЛОГИЯ</b>	
<i>Кобылкин А.С., Соловьева Е.А.</i> Моделирование запыленности лавы и вентиляционной горной выработки пылью фракциями 10 и 50 микрон .....	280
<i>Кубрин С.С., Стрелецкий А.А., Ковалев В.П.</i> Поверхность второго порядка, как способ описания топологического пространства частиц мелкодисперсной пыли .....	282
<b>УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР</b>	
<i>Архипова Ю.А.</i> Рациональное освоение минерально-сырьевой базы Дальнего Востока России .....	285



<i>Безпрозванный А.Р., Лебедев А.Б.</i> Использование гидроциклонов ГЦ-2000 в качестве способа увеличения экономической и экологической эффективности глиноземного производства.....	288
<i>Боровков Ю.А., Рыжова Л.П., Верчеба А.А., Максимова А.К.</i> Мероприятия по обеспечению безопасности от внезапного взрыва метана на угольных шахтах, влияющие на выбор системы разработки.....	291
<i>Диесперов А.Д., Баринков В.М.</i> Поиск путей расширения производства и повышения качества российского глинозёма .....	294
<i>Егорова С.О., Баринкова А.А.</i> Концепция решения экологических противоречий при проектировании глиноземного завода в Ленинградской области .....	297
<i>Заернюк В.М.</i> Использование стохастических процессов для моделирования будущих цен на металлы .....	301
<i>Крюков В.Г., Черкашина И.А.</i> Горнодобывающая промышленность в зоне Тихоокеанской железной дороги как фактор социально-экономического развития территории. ....	304
<i>Лепшеев В.Е., Баринкова А.А., Лебедев А.Б.</i> О низкокачественных бокситах .....	308
<i>Павлова А.А., Пекова И.А., Рыжова Л.П.</i> Геоэтика в интересах повышения энергетической безопасности для устойчивой организационно-экономической деятельности предприятий минерально-сырьевого комплекса .....	311
<i>Рыжова Л.П., Боровков Ю.А., Курчик А.М., Верчеба А.А., Бондаренко Д.В.</i> Системный подход в цифровизации технологических процессов при проведении горно-геологических работ.....	314
<i>Савенко Е.И., Рыжова Л.П.</i> К вопросу привлечения инвестиций при освоении месторождений минерально-сырьевого комплекса России в сложной геополитической ситуации.....	317
<i>Бабанова И.С., Соловьёв С.С.</i> Повышение надежности и эффективности систем электроснабжения электротехнических комплексов предприятий минерально-сырьевого комплекса на основе создания моделей структурно-функциональной целостности и анализа матриц рисков.....	320
<i>Ларичкин Ф.Д., Череповицын А.Е., Федосеев С.В., Кныш В.А., Фадеев А.М., Березиков С.А., Меткин Д.М.</i> Основные идеи и этапы формирования и развития концепции комплексного использования минерального сырья и комплексного освоения ресурсов недр (КИМС/КОРН).....	323

*Битимбаев М.Ж., Кунаев М.С., Джумабаев Е.И.* Созидательное освоение недр природно-техногенными системами в замкнутом цикле на основе циркулярной экономики ..... 327

**ЦИФРОВИЗАЦИЯ И РОБОТОТЕХНИКА  
В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ СЕКТОРЕ.  
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ  
ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ  
И МОНИТОРИНГА ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Глухов А.А., Анциферов А.В.* Об алгоритмах анализа результатов микросейсмического мониторинга углепородных массивов. .... 332

*Аверин А.П., Шендрикова В.Е.* Мониторинг буровзрывных работ на угольных разрезах с применением технологии компьютерного зрения ..... 335

*Грищенков Н.Н., Голубев Ф.М.* Особенности применения наземного лазерного сканера при сканировании крупномасштабных объектов поверхности..... 338

*Атрушкевич В.А., Дмитрак Ю.В., Кравцов А.А.* Моделирование гидрорезания угля ..... 341

*Лядов В.О.* Статистический анализ в задачах прогнозирования газодинамических явлений на примере рудника Гремячинского горно-обогатительного комбината..... 343

*Кунижеев И.Р., Иванов И.А., Нефедов С.И., Шнайдер Е.Л.* Система мониторинга парниковых газов на примере карбонового полигона ..... 346

*Бахмутский М.В.* Макетирование регистрирующей части стенда мониторинга техногенных изменений массива горных пород..... 348

*Нефедов С.И., Вартанов А.З., Бахмутский М.В.* Сравнительный анализ эндодиагностических информационных систем мониторинга горных массивов..... 350

*Вартанов А.З., Нефедов С.И.* Роль и место цифровых двойников природных и антропогенно-измененных объектов в системах обеспечения их безопасности..... 352

*Вартанов С.А., Нефедов С.И.* К разработке методологии математического моделирования процессов функционирования карбоновых полигонов..... 355

*Вартанов С.А.* Методы математического моделирования вероятности возникновения чрезвычайных происшествий антропогенного характера на промышленных объектах ..... 357

<i>Глазырин В.П., Орлов М.Ю., Фазылов Т.В.</i> Анализ процесса ударного нагружения конструкций .....	360
<i>Ожигин Д.С., Байгали Р.К., Ярцева В.Ф., Ожигина С.Б.</i> Изучение структурно-тектонических особенностей горного массива с применением цифровой аэрофотосъемки .....	363
<i>Сыропятов А.А.</i> Анализ точности портативных лидарных съемок сыпучих материалов.....	366
<i>Милетенко Н.И.</i> Применение информационных систем для обеспечения безопасного функционирования горных предприятий.....	369
<b>ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ РАБОТ</b>	
<i>Боброва Е.М.</i> Поиск путей восстановления нарушенных территорий.....	373
<i>Бураков И.А., Бураков А.Ю., Никитина И.С., Горбунов А.И., Егоров Е.Н.</i> Разработка системы «высокоминерализованный водный источник – угольная ТЭС» для нужд энергетики .....	375
<i>Галченко Ю.П., Докутович М.И.</i> Методология решения проблемы «Зеленых технологий» для горнодобывающего региона при «Устойчивом развитии» .....	378
<i>Добрынин А.А.</i> Утилизация отходов на горных предприятиях .....	381
<i>Кочкин Н.А., Никитин А.А.</i> Способ комплексного мониторинга окружающей среды региона.....	384
<i>Насонова А.В.</i> Проблемы перевода докладов и статей по геоэкологической тематике на английский язык и пути их преодоления .....	388
<i>Прошляков А.Н.</i> Экологические аспекты накопления твердых отходов горного производства при устойчивом развитии.....	391
<i>Сребродольский Я.А.</i> Обоснование состава и структуры исходных данных для проектирования опытно-промышленных испытаний подземной геотехнологии при разработке рудных месторождений .....	395



Группа ЭВОБЛАСТ – технологический лидер российского рынка в области буровзрывных работ, разработчик, производитель и поставщик передовых коммерческих взрывчатых материалов и инженеринговых услуг для горной и строительной отраслей промышленности.

Группа оказывает полный комплекс услуг по ведению буровзрывных работ и специализируется на предоставлении решений премиального качества: эмульсионных взрывчатых веществ для открытых и подземных горных работ, средств инициирования, комплексных экспертных услуг для эффективного ведения буровзрывных работ.

ЭВОБЛАСТ реализует проекты в 11 регионах – от Кольского полуострова до Чукотки – и обладает опытом ведения работ в уникальных горно-геологических условиях России. В компании работают более 550 специалистов.

В 2023 году было создано новое подразделение Группы – ЭВОБЛАСТ Инжиниринг. Его основная цель – разработка новых технологий в области ведения горных работ и внедрение их на объектах заказчиков. Решения создаются как самостоятельно, так и в сотрудничестве с другими отечественными производителями. Под эгидой ЭВОБЛАСТ Инжиниринг возобновлен практически ориентированный консультационный курс «Безопасное и эффективное ведение взрывных работ». Он включает в себя обучение работе с эмульсионными взрывчатыми веществами, электронными системами инициирования, а также проектированию взрывных работ.

Профессиональная команда, инновационные решения и высокие стандарты – это фундамент устойчивого развития Группы. Решения разрабатываются как с учётом эффективности, так и с заботой об окружающей среде. Также Группа ЭВОБЛАСТ инвестирует в будущее поколение, сотрудничая с учебными заведениями России.

На российском рынке Группа ЭВОБЛАСТ работает с 1993 года.

Группа ЭВОБЛАСТ,

Ленинградский проспект, 72, к.1, 8 эт., Москва, 125315

+74956411164, [www.evoblast.ru](http://www.evoblast.ru)

Подписано в печать с оригинал-макета 29.05.2024 г. Формат 60x84 1/16. Бумага «Мега Сору Office». Печать офсетная. Набор компьютерный. Объем 25,50 п.л. Тираж 300 экз. Заказ № 273.

---

Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН

Крюковский тупик, 4, Москва, 111020

Издание ИПКОН РАН, Крюковский тупик, 4, Москва, 111020