

**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**

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

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ
КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ
И СОХРАНЕНИЯ ЗЕМНЫХ НЕДР**

**14-18 ноября 2022
Москва**

Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Под редакцией академика РАН К.Н. Трубецкого. // Составители: канд. техн. наук А.В.Шляпин, канд. техн. наук А.Г. Красавин, канд. техн. наук Н.А.Милетенко – М.: ИПКОН РАН. – 2022. - 404 с.

В сборнике опубликованы статьи участников 5-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

ДОРОГИЕ УЧАСТНИКИ И ГОСТИ!

Рад приветствовать Вас на очередной, проводимой в нашем Институте, 5 конференции Международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр»!

Сегодня, как никогда ранее, всему человечеству очевидно, что основополагающее место в богатстве стран и общем развитии цивилизации занимают ресурсы земных недр, и именно ученые и специалисты горно-геологического профиля ответственны за качество решения комплекса задач по обеспечению мирового сообщества земными богатствами, при сохранении окружающей среды для будущего поколения.

Поэтому получение полезных ископаемых является для всех нас безальтернативной необходимостью для самого факта существования человечества. От того, как в наше время и в перспективе будет организовано освоение земных недр, какие ограничения и допуски будут наложены на его развитие, в широком смысле зависит сохранение или необратимое разрушение подвижного равновесия в природной среде, сложившегося за геологические периоды развития планеты. В этой связи 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. Перед учеными всего мира стоят задачи в короткие сроки разрабатывать и выпускать на рынок конкурентоспособные технологические решения, обеспечивать их применение стандартами и методиками, нормативной базой.

Проводимая конференция посвящена вопросам научных исследований комплексного экологически безопасного освоения недр Земли, извлечения из них полезных ископаемых. Ее целью является вовлечение ученых в решение важных вопросов горных наук и производства, выявление новых знаний о способах и закономерностях управления массивом горных пород, нарушенным техногенной деятельностью, создание экологически безопасных систем, изучение экономических и социальных проблем, разработка прогрессивных технологий освоения недр.

Выражаю уверенность, что проводимая конференция 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 работы, эффективных поисков новых решений во всех проблемах комплексного освоения и сохранения недр Земли!

академик РАН К.Н. Трубецкой

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 550.83.045

ПУТИ АППАРАТНОГО И ПРОГРАММНОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ МГСК С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ И МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Захаров В.Н.^{1,2}, Нефедов С.И.^{1,2}, Федоров Е.В.¹

¹ИПКОН РАН, ²НИУ ВШЭ, г. Москва

В качестве одной из активно применяемых на предприятиях минерально-сырьевого комплекса для решения задач контроля и мониторинга систем является многофункциональная геодинамическая система контроля (МГСК) разработки ИПКОН РАН, основанная на регистрации данных сейсмической, сейсмоакустической и терморadiационной эмиссии, а также деформации горных пород с последующем определении пространственного положения источников зарегистрированной эмиссии и прогнозированием возникновения опасных природных и природно-антропогенных явлений [1].

Применяемая на сегодняшний день архитектура построения системы предполагает, как решение задачи определения пространственного положения источников, так и обнаружения каждого из них с помощью прикладного программного обеспечения, выполняемого на центральном сервере системы. Информация от датчиков, подключаемых к системе поступает через систему релитеров на сервер в необработанном виде с высоким темпом. Это приводит к очень большим объемам информации передаваемой по сети и к необходимости применения в системе накопителей инфотермации очень большой емкости. В условиях ограниченного доступа к зарубежной элементной базе такое построение системы оказывается относительно сложным, избыточным и дорогим.

Разработанная система прошла внедрение на различных предприятиях минерально-сырьевого комплекса, и подтвердила правильность заложенных в ней принципов измерений и интерпретации их результатов. Однако, с учетом аппаратной сложности и избыточности, нуждается в глубокой модернизации, связанной как с устареванием применяемой элементной базы, так и с ее доступностью в связи с санкционными ограничениями на поставки в Российскую Федерацию элементной базы производства и разработки недружественных государств.

Следует отметить, что развитие элементной базы и технологий микроэлектроники позволяет на сегодня принципиально решить несколько задач, способных существенно повысить эффективность системы МГСК, в том

числе и с использованием отечественных технологий. На современном уровне развития микроэлектроники принципиально возможно обеспечить первичную обработку информации непосредственно в датчике без существенного увеличения его стоимости, а также решить задачу передачи электропитания по информационной сети. Применение таких датчиков в системе позволит кратно на 3...4 порядка снизить нагрузку на сеть при передаче по ней информации, генерируемой системой МГСК и существенно упростить обработку информации в сервере.

Для создания нового поколения, так называемых, умных датчиков, обеспечивающих первичную обработку непосредственно в нем необходимо решить комплекс технологических и математических задач, связанных с совершенствованием алгоритмов обнаружения сигналов сейсмической, сейсмоакустической и терморadiационной эмиссии, а также с отработкой технологии изготовления специализированных микросборок, интегрирующих в одном корпусе модуль обработки информации и сопряжения датчика с сетью и датчик-регистратор.

Совершенствование алгоритмов обработки информации системы МГСК лежит в плоскости применения методов оптимального обнаружения-оценки сигналов, достаточно хорошо отработанных в статистической радиотехнике [2], применительно к системам связи и дистанционного зондирования. Для решения технологических задач необходимо отработать применительно к системе МГСК разработку специализированной микросхемы типа ASIC [3], и адаптировать датчики, применяемые, в том числе и для технологии MEMS [4]. Интеграция данных аппаратных решений может быть обеспечена на основе микросборки по технологии 3D [5]

Таким образом, на сегодня наметились пути совершенствования и развития системы МГСК с использованием отечественных технологий, как одного из важных элементов цифровой трансформации минерально-сырьевого комплекса Российской Федерации.

Список литературы

1. Многофункциональная система контроля геодинамического и газодинамического состояния массива горных пород. <http://mgsk-ipkon.ru>.
2. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника /Изд. 2, перераб. и доп.// М.: 1982, 624 с.
3. Степченков Ю.А., Денисов А.Н., Дьяченко Ю.Г., Гринфельд Ф.И., Филимонок О.П., Морозов Н.В., Степченков Д.Ю., Плеханов Л.П. Библиотека функциональных ячеек для проектирования самосинхронных полузаказных БМК микросхем серий 5503/5507. М.: Техносфера. 2017 - 367 с.
4. Кашкаров А.П. Микроэлектромеханические системы и элементы.//М.: ДМК-пресс, 2018, 114с.
5. Paul Lindner. 3D integration key to 22nm semiconductor devices//www.electroiq.com.

УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОГЕОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕДР КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Трубецкой К.Н., Милетенко Н.А.

ИПКОН РАН

В настоящее время в России формируется новая государственная политика, поднимающая значение экологии до уровня определяющих социальных и экономических вопросов. В этой связи все более актуальным становится государственный мониторинг состояния недр (ГМСН) по подсистеме «подземные воды», подробные данные о котором были представлены на состоявшемся недавно XIII Международном экологическом форуме, организованном Государственной Думой РФ и Министерством природных ресурсов и экологии РФ. В целях предупреждения загрязнения подземных водных объектов и истощения их запасов планируется организация непрерывного получения и распространения информации о состоянии подземных вод, которая основывается на системе регулярного сбора, обобщения и систематизации информации о состоянии недр и прогнозе изменения этого состояния [1].

В нашем институте одно из направлений решения проблемы сохранения водных ресурсов связано с исследованием техногенных геомеханических процессов, происходящих при освоении недр и влияющих на гидрогеологические процессы. В самом начале исследований развивались инженерные методы прогноза взаимодействия геопроцессов [2]. В качестве одного из примеров разработки мероприятий по сохранению водного объекта и прилегающих территорий может служить случай разработки пласта полезного ископаемого под рекой. При подземной разработке полезных ископаемых вблизи рек последние нередко оказываются выше прибрежной территории, постепенно оседающей под влиянием горных работ. Естественный сток воды в реку прекращается, а сама местность заболачивается. Для предотвращения затопления прибрежной территории строят дамбы, а в самих целиках остается полезное ископаемое, которое уходит в безвозвратные потери. С целью рекультивации прибрежной территории и снижения потерь полезных ископаемых в целиках была проработана идея выемки полезного ископаемого в целике под водным объектом. Установлено, что протяженность выемки должна быть не менее ширины зеркала воды водоема, по бокам должны оставаться барьерные целики [3]. В результате указанных мероприятий над барьерными целиками на поверхности земли естественным образом образуются водозащитные валы-дамбы, а сам водный объект опускается ниже положительных отметок прибрежной зоны поверхности земли.

Учитывая, что ведение горных работ под водными объектами осуществляется в весьма широком диапазоне условий: от абсолютно безопасных до весьма опасных, нами предложен комплекс мер по защите выработок от затоплений, представленный в виде классификации условий подработки

водных объектов [4]. В качестве основного классификационного признака принята способность массива горных пород пропускать воду, выраженная отношением расстояния от почвы водного объекта до кровли разрабатываемого пласта к максимальному оседанию подрабатываемого слоя. Условия подработки водных объектов согласно классификации разделены на пять классов по степени опасности, для каждого из которых предложены меры защиты. Использование этой классификации позволяет оперативно принимать решение для предотвращения прорывов воды в горную выработку.

Из анализа шахтных натуральных наблюдений за взаимодействием гидрогеологических и геомеханических процессов было установлено, что при горных работах в массиве пород могут формироваться зоны водопроводящих трещин, которые служат легкопроходимыми каналами для проникновения в горные выработки не только подземных, но часто и поверхностных вод [5,6]. Они могут служить каналами для миграции природных минерализованных шахтных вод на горизонты питьевой воды, тем самым предохраняя необратимое загрязнение воды.

Образование водопроводящих трещин при техногенном перераспределении напряжений является результатом нелинейного процесса разрушения массива горных пород. Поэтому помимо инженерных методов прогноза взаимодействия геопроцессов разрабатываются методы математического моделирования деформирования и разрушения горных пород [7, 8, 9]. Эти методы, ориентированные на использование современных компьютерных программ, позволяют использовать разработки из других научных дисциплин и могут служить основой междисциплинарных исследований. В частности, в наших исследованиях использовались математическая теория трещин, теория перколяции и теория фильтрации.

Компьютерное моделирование, подтвержденное натурными данными, показало, что в массиве пород возможно развитие протяженных трещин природного гидроразрыва, которые могут являться магистральными каналами для проникновения подземных вод в горные выработки. Природа такого гидроразрыва пород связана с тем, что при техногенном перераспределении напряжений в массиве пород одно из главных напряжений может стать меньше гидростатического давления воды в водоносном пласте. В этом случае происходит развитие трещины гидроразрыва пород в той области массива, где произошло снижение напряжений.

Вместе с тем, из проведенных исследований взаимодействия техногенных геопроцессов с неизбежностью вытекает вывод о необходимости развития специального геомониторинга этих процессов. В его основе должны лежать традиционные методы деформационного мониторинга, основанные на применении реперных замеров сдвижений пород и GPS-технологии, а также методы оценки действующих в породах напряжений и движения подземных вод. Геомониторинг должен быть комплексным, междисциплинарным, с анализом большого набора разных данных, для проведения которого потребуются новые информационные технологии. Этот мониторинг по своим

целям и методам проведения может быть логическим дополнением к государственному мониторингу окружающей среды [10] на случай разработки месторождений твердых полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях. Разработка такого мониторинга является трудной задачей, но без современного междисциплинарного геомониторинга невозможно решить проблему сохранения водных ресурсов во многих районах добычи полезных ископаемых.

Опыт исследований по тематике охраны водных объектов при разработке месторождений полезных ископаемых [11] подтверждает необходимость своевременного принятия комплекса мер, направленных как на обеспечение безопасного освоения недр, так и на минимизацию негативных воздействий на наше бесценное богатство – природные объекты пресной воды. Поэтому сегодня, как никогда ранее, необходимо поддерживать вектор экологической политики, определенный нашим государством, и предлагать новые пути решения проблемы обеспечения безопасного состояния водных ресурсов при освоении недр Земли.

Список литературы

1. Экология 2022. Сб. трудов XIII Международного форум М.: ГосДума, Минприродных ресурсов и экологии РФ, 2022 (210 с.)
2. Иофис М.А., Шмелев А.И. Инженерная геомеханика при подземных разработках. – М.:Недра, 1985 – 247с.
3. Способ рекультивации деформированием береговой зоны водных объектов /К.Н. Трубецкой, М.А. Иофис, Б.Н. Поставнин, В.В. Грицков, Н.А. Митишова, А.Н. Навитня // Патент РФ 2206749, 0.06.2003.
4. Милетенко Н.А., Федоров Е.В. «Разработка способа управления сдвижением земной поверхности при подработке водного объекта» В сб. трудов «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях Индустрии 4.0». Алматы, 2019, КазНТУ им. К.И. Сатпаева С. 89-91.
5. Гусев В.Н. Геомеханика техногенных водопроводящих трещин - СПб.: СПбГГИ, 1999. - 156 с.
6. Мохов А.В. Морфология зон водопроводящих трещин сдвижения на участках подземных разработок каменноугольных залежей // ГИАБ. 2008. № 1. С. 273-280.
7. Одинцев В.Н., Милетенко И.В., Милетенко Н.А. Новый геомеханический подход к прогнозу опасных гидрогеологических процессов при подземной разработке твердых полезных ископаемых // ГИАБ. 2011. №7. С. 103-108.
8. Трубецкой К.Н., Милетенко Н.А. Прогноз гидрогеомеханических процессов при подработке водных объектов. // Горный журнал 2021 г., с. 73-79. DOI:10.17580/gzh.2921.03.02
9. Одинцев В.Н., Милетенко И.В., Милетенко Н.А. Геомеханическая оценка изменения гидрогеологических условий налегающих пород при скважинной гидродобыче железных руд // Маркшейдерия и недропользование. 2010. № 5 (49). С. 51-54.
10. Постановление Правительства РФ от 6 июня 2013 г. N 477 «Об осуществлении Государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды».

11. Трубецкой К.Н., Милетенко Н.А., Одинцев В.Н., Федоров В.Н. Охрана водных ресурсов при освоении месторождений твердых полезных ископаемых. С. 176-181, Сб. трудов XIII Международный форум Экология 2022. М.: ГосДума, Минприродных ресурсов и экологии РФ, 2022 (210 с.)

УДК 622.271.3.06:004.896

О СУТИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Каплунов Д.Р., Федотенко В.С.

ИПКОН РАН

С конца прошлого столетия и по сей день цифровизация всех сфер человеческой жизни прочно закрепилась в качестве наиболее выраженного тренда развития. В авангарде этого процесса, как область наиболее восприимчивая к решениям, ориентированным на повышение производительности труда, стоит промышленное производство. Интерес к информатизации и цифровизации процессов в том числе подкрепляется современными исследованиями, показывающими важность информации и ее, зачастую, определяющую роль ресурса для развития сложных систем [1-4].

Исследователи в области недропользования и горных наук, также очень активно включились в работу по имплементации передовых цифровых решений в те или иные технологические процессы. Так, например, большое развитие получила концепция «интеллектуальный карьер», предложенная в ИПКОН РАН академиком К.Н. Трубецким [5] и разрабатываемая совместно со специалистами научно-производственных компаний (ГК «Цифра», АО «ВИСТ Групп», Piklema, ООО «ПиЭсАй» и т.д.).

Особого внимания заслуживает выявление исследователями признаков больших данных среди информации, генерируемой сегодня горнотехническими системами. Авторы делают вывод о необходимости корректной интерпретации всего массива накапливаемой информации, обладающей различными свойствами, для принятия проектных и управленческих решений при разработке месторождений [6-8]. Это перспективное поле исследований. В то же время обращает на себя внимание объективизация больших данных и вытеснение ими, как таковыми, исследований проблем управления горнотехническими системами.

Выделим ключевые свойства цифровых технологий:

1. Высокая скорость выполнения действий с информацией.
2. Отсутствие ошибок при выполнении заданного алгоритма.

Любые другие свойства являются либо менее значимыми, либо проистекают из указанных двух. Сегодня исследователями ставятся все более амбициозные задачи в области цифровой трансформации горного производства. При этом важно отметить, что весь обширный набор запросов, адресованный к электронным помощникам, недостаточно структурирован и поэтому зачастую формулируется в виде пространных запросов, например: обеспечить

возможность анализировать производственную информацию, повысить безопасность производства, снизить простои оборудования. Что характерно, подобные постановки не являются самоцелью функционирования горнотехнической системы и представляются вторичными или производными от ее истинных целей.

Важно отметить, что управление горнотехническими системами, как вообще любыми системами или процессами, возникает только и исключительно по причине их отклонения от запроецированного режима работы. Если предположить, что какая-либо система в состоянии функционировать самостоятельно строго в соответствии с проектом, то необходимость ею управлять отсутствует. Фактически же в силу того, что результат каждой технологической операции, осуществляемой людьми в условиях неопределенности, транслируемых вмещающим участком недр, будет всегда разным, управление горнотехнической системой призвано эти девиации компенсировать, стремясь привести систему к проектным параметрам.

Таким образом выделим два принципиальных момента:

1. Самостоятельное функционирование горнотехнической системы в ходе освоения участка недр невозможно в силу возникновения существенных отклонений от проекта по причине человеческого и геологического факторов.
2. Управление горнотехнической системой призвано компенсировать возникающие отклонения.

Представляется, что цифровизация должна рассматриваться в качестве инструмента управления горнотехнической системой, в понимании управления, как системы корректирующих мероприятий, направленных на минимизацию отклонений системы от ее проектных параметров. Иными словами, необходимо использовать преимущества современных цифровых технологий, связанные с большой скоростью выполнения безошибочных действий с информацией, только и исключительно для минимизации вариабельности параметров производственных процессов и горных конструкций.

На рис. 1. приведена принципиальная схема горнотехнической системы.



Рис. 1. Принципиальная схема горнотехнической системы

В предложенной схеме горнотехническая система показана, как система преобразования исходного объекта при помощи технологического воздействия в геологической среде, очерченной горной конструкцией. Под исходным объектом в общем случае может пониматься участок недр, тогда измененный объект будет

представлять собой совокупность горных выработок и потоков минерального вещества. Тогда целью функционирования такой горнотехнической системы является получение на выходе измененного объекта с параметрами, максимально приближенными к параметрам, заданным проектом.

Особого упоминания заслуживает возрастающая важность проектирования и проекта, как объекта сравнения, возникающие вопросы периодичности обновления проекта в зависимости от скорости накопления новых сведений об объекте проектирования заслуживают отдельного рассмотрения.

Достижение поставленной цели возможно при наличии достоверной и достаточной информации об исходном объекте, а также точном и единообразном выполнении технологического процесса с учетом полученных сведений. Оценка достижения цели также может быть выполнена только при наличии достоверной и достаточной информации об измененном объекте. Таким образом, ключевыми условиями достижения цели является возможность:

1. Собирать достоверную информацию в достаточном объеме:
 - a. об исходном объекте;
 - b. о технологическом процессе;
 - c. об измененном объекте.
2. Корректировать параметры технологического процесса согласно полученным данным об исходном объекте.

Это и составляет суть цифровизации горнотехнических систем [9].

Цифровизация горнотехнических систем это инструмент системы управления, которая стремится минимизировать отклонения фактических значений параметров измененного объекта от его параметров, заложенных в проекте. Возможность собирать достоверную информацию об исходном объекте, о технологическом процессе и об измененном объекте в достаточном объеме, а также непрерывно корректировать технологический процесс в соответствии с собранными данными, сегодня может быть реализована только на основе цифровых информационных технологий, что составляет суть цифровизации горнотехнических систем.

Список литературы

1. Матвеева Л.Г., Никитаева А.Ю., Чернова О.А. Информация как стратегический ресурс регионального развития: институционально-технологические аспекты // TERRA ECONOMICUS. 2018. №1. С. 134-145.
2. Матинина Г.М., Ахмадулин В.А. Информация как территориальный ресурс // Региональные проблемы. 2001. №5. С. 76-79.
3. Антосик Л.В. Информация как ресурс и источник конкурентного преимущества // Вестник ВолГУ. Серия 9: Исследования молодых ученых. 2005. №4-2. С. 28-32.
4. Иванова С.А. Информация как ключевой ресурс системного управления // Хроноэкономика. 2020. №5 (26). С. 6-11.
5. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В., Владимиров Д.Я. От системы «карьер» к новому интеллектуальному укладу открытых горных работ // Проблемы недропользования. 2019. №3 (22). С. 39-48.

6. Захаров В.Н., Гвишиани А.Д., Вайсберг Л.А., Дзеранов Б. В. Большие данные и устойчивое функционирование горнотехнических систем // Горный журнал. 2021. №11. С. 45-52. DOI: 10.17580/gzh.2021.11.06 11.

7. Chong-chong Q. Big data management in the mining industry. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. 2020. Vol. 27, Number 2, P. 131. DOI: 10.1007/s12613-019-1937-z 12.

8. Nimmagadda S.L., Murupindy V.V., Reiners, V.T. On Digital Opencast Mining Ecosystems (DOMe) and Knowledge Management - a Big Data Perspective. Conference: Australasian Exploration and Geo-science Conference. ASEG Extended Abstracts, 2018. Vol. 1, P. 1-5. DOI: 10.1071/ASEG2018abP086.

9. Каплунов Д.Р., Федотенко В.С. О сути цифровизации горно-технических систем // Маркшейдерия и недропользование. 2022. №3. С. 3-5.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ КОМБИНИРОВАННЫХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ

¹Битимбаев М.Ж., Юсупов Х.А., Абен Е.Х.,

²Алишева Ж.Н., ³Джумабаев Е.И.

¹Satbayev University, ²КазНУ им. аль-Фараби,

³ТОО «Интеррин», г. Алматы, Республика Казахстан

Необходимость постоянного улучшения технико-экономических показателей добычи руды и комплексной эффективности получения конечной продукции в виде концентратов металлов для металлургического передела сама по себе является постоянной задачей экономики. Она усиливается целым рядом объективных геологических факторов и физико-механических свойств горных пород, характеризующих каждое месторождение. Для горных наук, как сказал акад. РАН К.Н. Трубецкой, «объединяющей идеей является выявление научных предпосылок для технологических решений, расширяющих функциональные возможности горных предприятий в преобразовании недр в целом».

В этом контексте в настоящее время одной из наиболее важных направлений развития геотехнологий становится комбинированная геотехнология как важная составляющая ее в период своего становления как специфической области горного дела рассматривалась как простое сочетание по характеру совмещения способов разработки по времени. Сегодня она стала практически обязательной составляющей первоочередных научных исследований и проектного обеспечения как вновь осваемого месторождения, так и пересмотра деятельности действующих предприятий.

«Развитие комбинированной геотехнологии как основы комплексного освоения и сохранения недр Земли становится наиболее актуальной концепцией развития горных работ в современных условиях», - такой вывод, сделанный чл.-корр. РАН Д.Р. Каплуновым, стал одним из определителей новых направлений в освоении земных недр.

Экономическая эффективность освоения месторождений полезных ископаемых с применением комбинированных геотехнологий по сравнению со стандартными общепринятыми физико-техническими должны быть обоснованы в превентивном порядке на стадии проектирования [1-3].

Экономическая эффективность должна быть сочетаться с безопасностью горных работ, применяемые технологические схемы должны быть конструктивно и организационно исполнимы, экологическая чистота и сохранение природного равновесия массива недр, ресурсовоспроизводство, экономия применяемой энергии и стремление к «нулевому углеродному балансу» должны быть составной частью конечных технико-экономических показателей (ТЭП).

Научно обоснованные теоретические исследования и апробированные решения послужили основой дальнейших изысканий, изложенных в данной работе.

Совместная разработка начиналась отработкой верхней части месторождения до определенной технико-экономическим обоснованием глубины и нижней части – подземным с параллельным, последовательным и параллельно-последовательным характером развития горных работ по времени и физико-техническим методом извлечения полезных компонентов в горной массе «руде» (т.е. буровзрывным способом).

Ранее нами физико-технического буровзрывного варианта комбинированного способа разработки разработана в результате анализа существующих трехуровневая классификация, которая учитывает расположение запасов для комбинированной разработки в пространстве недр по отношению к карьерным запасам.

Следующим шагом в развитии экономически эффективных способов комбинированной разработки явились научные исследования в трех взаимосвязанных направлениях. Они ставили перед собой одинаковую цель, которая включала в себя решение задач, поставленных в тематике докладов участников IX Международной Конференции «Комбинированная геотехнология: ресурсосбережение и энергоэффективность».

1. Обоснование применения восходящего способа развития подземных горных работ по освоению георесурсов, которую мы назвали «снизу вверх». Применение чисто этого способа предполагало в первую очередь определение, во-первых, как обычно, эффективной глубины открытых горных работ (ОГР) или ее невозможности.

Параллельно с ОГР производится вскрытие района подземных горных работ (ПГР), в том числе транспортными уклонами, которые в районе ПГР проводились только по руде в отличие от ныне применяемого обязательно проведения их по породам лежащего бока. Такую схему позволяло развитие очистной выемки «снизу-вверх» [4].

Развитие ПГР при значительной глубине могло производиться каскадами, отстоящими друг от друга по вертикали на 300 м и более. Система

разработки, естественно, предполагалась в зависимости от геологических факторов с конечной твердеющей закладкой. Каскады предварительно, если они будут применены, в опережающем порядке отрабатывают свои нижние слои (верхние по отношению к нижнему каскаду).

2. Следующий вариант назван нами по аналогии с «открыто-подземным ярусом» (ОПЯ) из определения акад. К.Н. Трубецкого «подземно-подземным ярусом» (ППЯ), который можно разделить на «восходяще-нисходящий ярус» (ВНЯ), и на «восходяще-восходящий ярус» (ВВЯ).

Из названия понятно, что отрабатываемое рудное тело делится по вертикали на 2 части, между которыми оставляется тот самый ярус, который определяет название варианта.

Очистная выемка с твердеющей закладкой разделительного яруса должна быть закончена до подхода к его почве ПГР на нижнем уровне и начала ПГР на верхнем уровне. Технологические схемы созданы нами на уровне коммерческого предложения и могут быть оформлены как проект [5,6].

Схематически изложенное описание порядка горных работ, вскрытия рудными уклонами и систем разработки, на наш взгляд, не делает затруднительной или вовсе непонятной изложенную технологическую схему.

3. Следующим технологическим решением является переход от физико-технического способа изъятия руды, содержащей в себе полезные компоненты, к физико-химическому способу, который нами реализуется проведением научно-исследовательских работ в двух направлениях.

Комплекс научно-исследовательских работ, который должен быть проведен для создания действующей работоспособной технологической схемы физико-химического способа, состоит из:

- поиска и определения агентов, которые в водном растворе выщелачивают из рудного тела или из добытой руды полезные компоненты;
- решения вопроса проникновения выщелачивающего раствора в скальный массив рудного тела с целью создания физико-химического способа выщелачиванием подземным способом без физико-технического способа добычи руды и подъема ее на поверхность.

Работы по первому направлению нами выполнены совместно с учеными Уральского государственного горного университета (УГГУ) и ООО «Тайлс» (г. Екатеринбург, РФ) во главе с членом-корр. РАЕН Морозовым Ю.П. в 2018-2021 г.г. на хвостах обогащения Карагайлинской ОФ (п. Карагайлы, Республика Казахстан) и смешанных рудах золоторудного месторождения Ашалы (Кокпектинский район ВКО). Выщелачивание осуществлено раствором NaCl с подачей в него электрического тока напряжением 6 В. Результаты достигнуты в обоих случаях успешные. Из сульфидных хвостов обогащения извлечены и разделены медь (94%), цинк (92%), золото (87%) и серебро (74%). Из смешанных руд извлечены золото (83%) и серебро (72%). Подготовлены Технологический регламент и Техно-рабочий проект.

По реализации задач второго направления проводятся переговоры по проведению исследований на сульфидных рудах свинцово-цинкового месторождения в Казахстане нами совместно с российскими партнерами из УГГУ. Планируется создание проектного обоснования для трех вариантов подземного эксплуатационного блока:

- с подачей выщелачивающего раствора (ВР) по скважинам с поверхности в подготовленный для распространения раствора по всей массе рудного тела блок;

- с подачей Р в рудное тело из горных выработок, пройденных в самом рудном теле;

- с подачей ВР в рудное тело из породных горных выработок. Также в процессе проводимых работ мы должны, используя законы физики твердого тела и взаимодействия твердых тел и жидкости создать рабочие условия для искусственной проницаемости ВР в скальный массив.

Мы считаем, что предлагаемые технологические схемы развития горных работ обладают следующими преимуществами:

- порядок горных работ «снизу-вверх» позволяет резко уменьшить их объем по пустой породе;

- снижаются до минимума потери и разубоживание, т.е. мы увеличиваем добываемые запасы на величину потерь со всеми вытекающими из этого факта позитивными показателями;

- увеличиваются производственные мощности за счет увеличения пропускной способности транспортных магистралей и создания управляемого количества фронта очистных работ;

- проведение транспортных уклонов по руде позволяет без дополнительных затрат проводить крупномасштабную эксплуатационную разведку, увеличивая балансовые запасы.

Создание работоспособной технологической схемы физико-химической комбинированной геотехнологии позволит:

- объединив процессы добычи полезных компонентов при подземном способе выщелачивания с изъятием их из раствора без транспорта, подъема, дробления, измельчения и флотации, на порядок улучшить все технико-экономические показатели, достигнув комплексной совокупной эффективности при производстве конечного товарного продукта – концентрата;

- сохранить естественное равновесие массива недр, уменьшить на порядок применение взрывчатых веществ (ВВ), буровые и погрузочно-доставочные работы, снизить все эксплуатационные затраты, в т.ч. на проветривание и на дизельное топливо, снизить углеродный выброс;

- устранить травматизм на горных работах и обогатительном переделе;

- уменьшить капитальные затраты на создание горных выработок, зданий и сооружений на поверхности, приобретение технологического оборудования, исключив из проекта также все затраты на хвостовое хозяйство;

- снизить или устранить разубоживание, снизить бортовое содержание с переводом забалансовых запасов в балансовые и увеличить их и срок службы предприятия.

Список литературы

1. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / под ред. К.Н. Трубецкого. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. – 478 с.
2. Агошков М.И. Классификация горных наук // Актуальные проблемы освоения месторождений и использования минерального сырья. М.: МГТУ, 1993. С. 23-30.
3. Овчинников Л.Н. Образование рудных месторождений. – М.: Недра. – 1988. – 255 с.
4. Перельман А.И. Геохимия: Учеб. для геол. спец. вузов. - М.: Высшая школа. - 1989. - 528 с.
5. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. – М.: Недра. – 1990. – 248 с.
6. Бежанова М.П., Бежанов Г.К. Минеральные ресурсы мира и экономический механизм управления минерально-сырьевым сектором. – М.: ООО «Геоинформмарк», - 2014. - 384 с.

УДК 622.83:004.9

РАЗВИТИЕ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ DATA MINING

Одинцев В.Н.

ИПКОН РАН

Горная геомеханика определяется как наука о механических свойствах породных массивов и процессах, происходящих в них при горных работах. В отличие от фундаментальной геомеханики, изучающей состояние земной коры и геопроцессы под воздействием природных факторов, в горной геомеханике главную роль играет техногенный фактор. Как первоначально предполагалось, цель горной геомеханики состоит в рациональном управлении горным давлением. Ключевые слова – «рациональное» и «управление», поэтому определяющими для горной геомеханики в конечном счете являются критерии безопасности и эффективности добычи полезных ископаемых.

Практическая направленность горной геомеханики обусловила развитие доступных инженерных методов прогноза состояния массива пород, основанных на сопоставлении, строительной механике, моделировании на эквивалентных материалах, натуральных экспериментах и, в значительной степени, на статистике. Расчетные методики достаточно просты, адекватность расчета достигается подбором значений поправочных коэффициентов исходя из сопоставления результатов расчетов и данных практики.

Инженерные методы создавались для определенных условий разработки месторождений и мало применимы в анализе детальной картины техногенных изменений с учетом изменчивости состояния массива пород, особенно в

отношении долгосрочного прогноза. Поэтому в дополнение к инженерным методам получило развитие компьютерное моделирование геопроцессов, основанное на математических моделях геосреды. Для практического применения моделей необходимо знать значения параметров механических свойств пород *in situ* и параметров горно-геологических условий. Вследствие слабой разработанности методик получения значений исходных данных возможности компьютерного моделирования на практике сильно ограничены.

Наряду с развитием аналитических методов в горной геомеханике велась разработка аппаратуры геомониторинга состояния массива пород, которая позволяет получать ценную геомеханическую информацию о состоянии массива в реальном времени, как например, в случае сейсмоакустического контроля. Это значительно расширяет возможности управления горным давлением. Однако оказалось, что много полезной экспериментальной информации невозможно использовать в компьютерных моделях.

Постепенно в горной геомеханике сложилась ситуация, когда, с одной стороны, для адекватности расчетов необходимо оперировать большим объемом информации, с другой – не ясно даже, как распорядиться той информацией, которая уже имеется. На современном этапе большой объем информации обусловлен переходом к цифровой трехмерной модели месторождения, включением в анализ состояния массива параметра времени и необходимостью учета большого комплекса факторов негеомеханической природы, влияющих на постановку задач горной геомеханики. Хотя натурные данные и переводятся на электронные носители, эти данные невозможно обработать традиционными статистическими методами ввиду их большого объема и, главное, получить из этих данных нужные соотношения для компьютерных моделей.

В последней четверти XX века началась эра компьютерных информационных систем. Одно из направлений развития систем связано с обработкой, сортировкой информации и обобщением выводов из этих операций. В этой связи было введено широкое понятие «*data mining*», которое в вольном переводе означает интеллектуальный анализ данных и используется для обозначения методов «обнаружения в совокупности данных ранее неизвестных, нетривиальных, практически полезных и доступных интерпретации знаний, необходимых для принятия решений».

Возникло также понятие искусственный интеллект (ИИ), которое предполагает, в частности, «способность компьютерных систем правильно интерпретировать внешние данные, извлекать уроки из таких данных и использовать полученные знания для достижения конкретных целей и задач при помощи гибкой адаптации». Разработки в сфере ИИ позволяют уточнять и в определенном смысле «обучать» прогнозную математическую модель строить адекватные прогнозы в реальном времени.

Таким образом, в настоящее время складываются объективные предпосылки привлечения информационных технологий для преодоления кризиса в методологии горной геомеханики, оперирующей большим объемом натуральных

данных. Для достижения этой цели надо двигаться в двух направлениях: первое – подготовить горную геомеханику к тому, чтобы можно было воспользоваться достижениями информационных технологий, и второе – приспособить эти технологии для исследований в горной геомеханике. Здесь рассматривается первое направление – необходимые действия в геомеханике.

В этом направлении возможны два подхода к работе. Первый подход может быть основан на инженерных методах, связанных с компьютерным обеспечением data mining, например, на основе нейронных сетей и нечеткой логики (см., например, [1-4]). В этом подходе рассматривается определенный набор опасных состояний массива, который затем используется для «обучения» моделей. В наиболее обстоятельной работе [5] в анализ состояний введен фактор времени и используется аналитика больших данных. Разработанная методика позволяет оценивать вероятность горных ударов на каком-либо шахтном участке в заданное время, исходя из значений параметров различных горно-геологических условий (расстояние до разлома, расстояние до висячего бока пород, содержание руды), горных условий (расстояние до места последнего технологического взрыва, мощность взрыва), результатов сейсмических наблюдений (интенсивность сигналов и их величина), оценки величины девиаторных напряжений. В основе методики лежат статистические обобщения, вопрос геомеханической причины горного удара в ней исключен.

Второй подход, который предлагается ниже, может быть основан на математическом моделировании геопроцессов с использованием ИИ. Основная идея подхода заключается в пошаговом прогнозе изменения состояния массива при развитии горных работ. Прогноз заключается в следующем: 1) выбирается характерный шаг развития геопроцессов (этот шаг логично связать с определенным промежутком времени); 2) на каждом шаге на основе исходных данных и с помощью программ, использующих ИИ для обработки натуральных данных, определяется модель шагового прогноза; 3) на каждом шаге проводится моделирование геомеханических изменений в геосреде, соответствующих данному шагу; 4) проводится анализ общей тенденции пошаговых изменений в геосреде; 5) результаты этого анализа обобщаются в целях совершенствования интегральной, целостной модели техногенных геомеханических изменений, которую можно использовать в критериях оценки безопасности и эффективности производства.

Прогнозная модель на каждом шаге строится исходя из целостной модели, но с учетом натуральных данных по изменениям, которые имели место на данном шаге рассмотрения. Важная особенность «обучения» модели заключается в возможности ее приспособления к анализу именно тех геомеханических параметров, значения которых удастся получить на практике на данном шаге рассмотрения. Это могут быть, например, либо значения смещений реперов, либо величин напряжений, замеренных тензодатчиком, либо координат очагов сейсмоимпульсов и т.п.

В предлагаемом подходе используются достоинства ИИ – пошаговое «обучение» модели прогноза (или в другом толковании «распознавание» модели), и достоинства детерминированного прогноза, основанного на моделях геопроцессов из фундаментальной геомеханики.

В общем случае эти модели являются нелинейными и достаточно сложными. Однако в сочетании этих моделей с технологией ИИ, позволяющей для каждого прогнозного шага находить эффективные значения параметров, появляется шанс их эффективного использования. При этом расчеты могут быть упрощены, если использовать принцип малых приращений [6]. Этот принцип подразумевает малый шаг в задании параметра изменения (иначе «малое приращение» параметра изменения) и, соответственно, малые (линейные) изменения рассчитываемых параметров процесса. В этом случае расчет пошаговых изменений может быть выполнен по линейной модели.

Принцип малых приращений позволяет кардинально изменять постановку задач и цели геомеханического исследования в зависимости от промежуточных результатов, что дает возможность рассматривать в прогнозах такие вопросы как устойчивость, бифуркации, динамические переходы в геосреде. Этот принцип также дает возможность исследовать различные сценарии развития техногенных изменений при разработке месторождений, которые можно обсуждать с точки зрения безопасности и эффективности горного производства.

Таким образом, методы data mining могут продуктивно дополнить как инженерные методы прогноза, так и компьютерное модельное прогнозирование геопроцессов в отношении учета большого объема данных и последовательного совершенствования методики прогноза. Использование инженерного или модельного подходов определяется значимостью объекта исследования и особенностями экспериментальной базы для получения геомеханической информации.

Первый подход – более простой, поскольку не требует развития системы математического моделирования. Второй подход является более трудоемким, однако дает возможность горной геомеханике выйти за рамки ее основных целей и быть основой для междисциплинарных исследований в анализе общих проблем техногенного воздействия на геосреду при комплексном освоении недр [7]. Применение методов data mining позволяет значительно усилить потенциал горной геомеханики и вывести ее на новый уровень возможностей.

Список литературы

1. Zhang Ruilin, Lowndes Ian S. The application of a coupled artificial neural network and fault tree analysis model to predict coal and gas outbursts // International Journal of Coal Geology. – 2010. – V. 84 (2). – Pp. 141-152.
2. Zeng, Y., Liu, S., Zhang, W. et al. Application of artificial neural network technology to predicting small faults and folds in coal seams // Water Resour. Manag. – 2016. – V.2. – Pp.175–181.

3. Pu Y., Apel D. B., Pourrahimian Y., Chen J. Evaluation of rockburst potential in kimberlite using fruit fly optimization algorithm and generalized regression neural networks // Archives of Mining Sciences. – 2019. – V. 64(2). – Pp. 279-296.
4. Zhang Yu, Yang Wen, Yu Xinzhi, Zhou Mingxuan, Liu Chengpu. Risk assessment method of coal and gas outburst based on T-S fuzzy neural network // Advances in Engineering Research. – 2016. – V.113. – Pp. 193-197.
5. J. McGaughey. Artificial intelligence and big data analytics in mining geomechanics // The J. of the South. Afr. Inst.Min. Metall. –2020. – V. 120. – Pp. 15-21.
6. Одинцев В.Н. Методологические принципы моделирования техногенного геомеханического процесса // Маркшейдерия и недропользование. – 2018.– №4(96). – С. 34-39.
7. Одинцев В.Н. Междисциплинарные исследования в горных науках при ведущей роли геомеханики // ГИАБ. – 2016. – № S1. – С. 195-214.

ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГОРНО- ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР

РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ КЛАРКОВ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСШИРЕННОМ ВОСПРОИЗВОДСТВЕ ЗАПАСОВ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Битимбаев М.Ж.¹, Кунаев М.С.², Парилов Ю.С.¹

¹*Satbayev University*

²*National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan*

Проблемы полного исчерпания запасов металлических полезных ископаемых в традиционных месторождениях является доказуемым фактом, становится ближе по срокам фактического наступления и требует практического внимания и решения.

О ней говорит четко и доказательно акад. РАН К.Н. Трубецкой: «... рудные и топливные ресурсы являются ограниченными и невозобновляемыми. Их весьма медленное естественное воспроизводство в процессах продолжающейся геологической эволюции примерно в 5-10 тысяч раз отстает от современных темпов потребления, практически не может его компенсировать... Развитие геотехнологий расширяет границы использования минеральных ресурсов...»

Принимая сказанное как постановку важнейшей задачи для мировой цивилизации, выделена идея исследования, исходящая из вывода А.Е. Ферсмана «... что практически проблема поисков полезных ископаемых по существу своему проблема чисто геохимическая. Лишь законы геохимии и химии геопроцессов могут дать ясную картину зонального распределения элементов вокруг массивов или по тектоническим линиям и осветить распространение или изменение рудного комплекса с глубиной».

Исходя из складывающейся обстановки, нами произведен всесторонний анализ действующих в неживой природе геохимических закономерностей накопления минерального вещества, пригодного для использования в качестве полезного ископаемого.

Общепринятая теория химической эволюции Земли подтверждена дальнейшей практической деятельностью человека. Происхождение планет Солнечной системы из протопланетного облака с конденсацией газового облака в газопылевое, которое, в свою очередь, в результате адиабатического сжатия превратилось в планеты земного тела и астероидный пояс с метеоритами, послужило причиной одинаковой распространенности химических элементов на Солнце, в метеоритах и земной коре. Спектральный анализ состава Солнца химсостав каменных метеоритов позволили в свое время «геохимии обладать новым числом – новой константой мира «кларком», как сказал об этом

А.Е. Ферсман в 1941 г. о великом достижении, обобщенном впервые в 1889 г. Ф.У. Кларком. Это открытие дало возможность создать теоретическое обоснование и организовать практическое применение кларка и других, связанных с ним, геомеханических закономерностей для создания принципов расширенно-го и неисчерпаемого воспроизводства запасов минерального сырья в недрах.

Нами с учётом антропогенно-технических возможностей человечества по максимальной глубине освоения континентальной части земной коры, минимального промышленного содержания (которое со временем будет меняться в сторону уменьшения), количества полезных ископаемых в соответствии с кларком в той части континентальной земной коры, которая возможна для промышленного использования с учётом объективных ограничений, определены запасы востребованных химических элементов. Расчёты показывают их достаточность на долгие годы вперёд, но это будут запасы в месторождениях нового типа, создаваемых действующими в природе объективными геохимическими закономерностями, но не учитываемых в настоящее время.

Месторождения нового типа в целом, а также увеличение запасов в открываемых геологами, неиспользуемых и эксплуатируемых традиционных месторождениях будут определяться на базе учёта участков первичных и вторичных ореолов в латеральной и вертикальной зональности, в зональности околорудного изменения пород в гидротермальных системах, в широтной геохимической зоне на земной поверхности, по данным геохимических карт, с использованием сущности стереометаллогении.

Особое внимание должно быть обращено на аналитическое обобщение содержания полезных ископаемых на микро- и наноуровне, которые в настоящее время не определяются, являясь неучтенными запасами в пределах гораздо выше кларкового содержания на уровне минимального промышленного.

Использование кларков и других геохимических закономерностей в земной коре потребует создания новых аналитических возможностей при проведении геологоразведочных работ, новых технологических решений при добыче и переработке полезных ископаемых из месторождений нового типа, которые являются предметом более детального и доказательного изложения в развитии данной статьи.

В современном понимании кларки - это средние содержания элементов в земной коре как верхнего слоя планеты выше границы Мохоровичича, вычисленные в 1962 г. А.П. Виноградовым, С.Р. Тейлором в 1964 г. и в 1967 г. К.Г. Ведеполем [1, 2, 3]. Эти средние содержания определены из спектральных анализов состава Солнца и из данных о химсоставе каменных метеоритов, которые соответствуют кларкам земной коры.

Исследования А.Е. Ферсмана показали, что геохимическая закономерность постоянства кларка в системе, позволяющего фиксировать любое отклонение от нормы, вызываемое концентрацией или рассеянием, объясняется в свою очередь миграцией элементов как по поверхности, т. е. в латеральной протяжённости, так и по вертикали, создающей закономерность «зональности».

Таким образом, при первичном распределении вещества планеты востребованные развивающимся цивилизованным миром металлы не образовывали,

подобно горным породам, скопления в земной коре, а рассеивались в слагающих её толщах. Для формирования любого месторождения необходимо было вторичное перераспределение металлов с переходом от их рассеяния к концентрации. Этот переход мог осуществляться в широком диапазоне эндогенных и экзогенных условий, но он не был беспределен, потому что подчинялся для всех металлов «закономерности прямой пропорциональности: масштабы накопления любого из металлов в рудных месторождениях (запасы) определяются степенью распространённости (кларком) каждого из них в земной коре».

Акад. Овчинниковым Л.Н. была определена прямая связь между кларками, суммарными запасами металлов и минимальными промышленными содержаниями металлов сидерофильно-халькофильной и литофильной групп. На основании распределения этих элементов и результатов полного регрессионного анализа получены оценки их взаимозависимости.

Развивая в практическом ключе изложенное, нами на основе совокупного изучения химического и минералогического состава горных пород и объективно существующих закономерностей в зависимости от формирующих их геологических процессов, происходящих в определенных физико-химических условиях и явлениях, их сопровождающих, предложено формировать минерально-сырьевую базу полезных ископаемых, обеспечивающих нужды мирового сообщества в современных условиях на новой основе [4-6].

Как сказано академиком РАН Н.П. Лавровым «Частное в горных науках выражается в том, что само преобразование недр осуществляется в историческом, а не в геологическом масштабе времени». Нами данная концепция трактуется как необходимость создания практической технологической возможности преобразования в течение жизни одного поколения, т.е. в историческом масштабе, георесурсов недр в любом его содержимом в полезные товарные продукты. Объяснение такому требованию жизни диктуется исчерпанием запасов традиционных месторождений до глубины 5 км по 39 основным металлам до 2070-2150 гт.

Расчет количества химического элемента в соответствии с его кларком и сравнение его с подтвержденными запасами полезных ископаемых в пересчете через минимальное промышленное содержание покажет, как человечество должно использовать имеющуюся разницу между количеством по кларку и уже подтвержденными запасами, до какого предела можно снижать минимальное промышленное содержание, какие новые технологии следует создавать и в отношении каких химических элементов.

На этом же этапе можно ясно представить назревающие кризисные ситуации в связи с потребностью мирового рынка и имеющимися запасами, определить первоочередные действия по поискам и разведке, в т.ч. по традиционным направлениям понятий о месторождениях и по новой трактовке, определяющей сущность нашего предложения, которое мы считаем научным Открытием [7,8].

Руководствуясь сказанным и используя зависимости накопления химических элементов в рудных месторождениях, мы определяем ожидаемые

количества химических элементов в континентальной коре в слое от поверхности до глубины 5 км.

Дальнейшее развитие разработанного и предлагаемого для обсуждения и возможных дискуссий обоснования созданной сущности расширенного воспроизводства запасов минеральных ресурсов рассматривается нами как Научное Открытие. Оно трактует выявление месторождений нового типа, обеспечивающие мировую цивилизации неисчерпаемыми запасами химических элементов.

Список литературы

1. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. - М.:Недра. – 1982. 669 с.
2. Клаус Шваб, Николас Дэвис. Четвертая промышленная революция. – М.: Эксмо. - 2019. - 288 с.
3. Клаус Шваб. Технологий Четвертой промышленной революции. – М.: Эксмо.-2019.-320 с.
4. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Условия устойчивого развития минерально-сырьевого комплекса России // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). М.: Изд-во «Горная книга», 2014. № S1-1. С. 3–11.
5. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Проблемы и перспективы развития ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения недр Земли. // Новосибирск: Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2012. - №4. - С.116-124.
6. Аренс В.Ж., Исмаилов Б.В., Шпак Д.Н. Скважинная гидродобыча твердых полезных ископаемых. – М.: Недра. – 1980.
7. Казикаев Д.М. Комбинированная разработка рудных месторождений.- М.: Изд-во МГГУ. – 2008. – 360 с.
8. Лось В.Л., Гольдберг И.С. Базовая модель, методика, результаты и программа прогнозно-поисковых работ на основе технологии Ionex в Казахстане.- 2019.

УДК 504.062

ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНВЕРГЕНТНОЙ ГОРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Галченко Ю.П.

ИПКОН РАН

Современный этап развития минерально-сырьевого комплекса, как материальной и энергетической основы построенной технократической цивилизации характеризуется тем, что наряду со стандартными требованиями безопасности и экономической эффективности применяемых технологий,

определяющее значение обретают ожидания и ограничения, связанные с реализацией концепции устойчивого развития и экологического императива [1].

Учитывая антагонистический характер противоречий между техно- и биосферой, методику решения этой проблемы целесообразно строить на основных положениях гомеостатики о способах поддержания жизненно важных параметров взаимодействующих систем путём управления противоречиями [2].

Применительно к проблемам извлечения полезных ископаемых из литосферы, реализация основных положений концепции устойчивого развития означает, что главным требованием к применяемым горным технологиям становится безусловное обеспечение безопасности биоты экосистем природно-территориальных комплексов, в границах которых ведётся разработка конкретных месторождений.

Так как минеральные ресурсы литосферы, по сути своей, представляют собой множество обнаруженных и идентифицированных месторождений полезных ископаемых, то реализация сформулированных принципов открывает вполне разумную перспективу создания принципиально новой парадигмы технологического развития минерально-сырьевого комплекса, направленной на кардинальные решения в области сохранения естественной биоты Земли, и определяет исполнительную структуру основного объекта технологических исследований – природно-технической системы освоения запасов полезных ископаемых, локализованных в литосфере Земли.

Для идентификации понятия «природно-технической системы освоения запасов литосферы», как объекта геоэкологических и технологических исследований, необходимо определить динамику и особенности внутреннего развития природной и технической подсистем, а также рассмотреть характер взаимодействия между ними с тем, чтобы при освоении конкретного участка литосферы были бы обеспечены условия «... оптимального функционирования природно-технической системы...» с обеспечением «...экологически безопасного размещения элементов техносферы...» [3].

Природная составляющая в данном случае формируется не по принципу накопления и констатации данных о масштабах и интенсивности техногенного нарушения основных геосфер Земли в процессе извлечения полезного ископаемого на поверхность, она должна представлять собой систему действий и ограничений по оценке и преодолению биологических последствий этих нарушений в различных масштабах времени, то есть – может быть рассмотрена, как полиобъектный кластер. Тогда исходя из известного определения понятия производственного кластера, как «механизма концентрации усилий» [4], можно утверждать, что основными элементами природно-технической системы освоения запасов месторождения являются два полнообъектных кластера, каждый из которых «...концентрирует усилия...» в разных направлениях (рис. 1). Один – производственно-технический имеет своей целью эффективную и безопасную добычу полезного ископаемого, а второй – природоохранный,

формируется как система действий и ограничений по предотвращению необратимых экологических последствий от неизбежного локального разрушения литосферы. Каждый из этих кластеров состоит из нескольких монокластеров низшего порядка, которые, в свою очередь, формируются из функциональных систем различного назначения. Взаимодействие этих составляющих, как и в каждой сложной системе, определяется тем, что одна является управляющей, а другая – исполнительской [5].

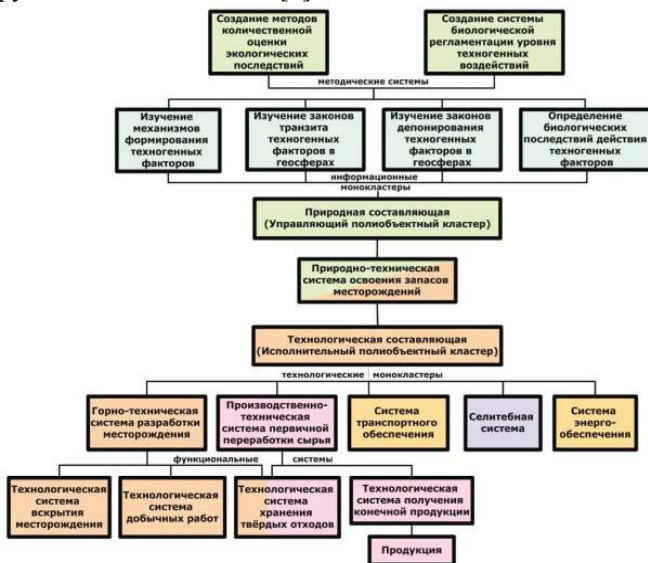


Рис. 1. Принципиальная схема функциональной структуры природно-технической системы освоения запасов месторождения

Исполнительная, в нашем случае – техническая составляющая, реализует основную функцию системы – добычу полезного ископаемого, а управляющая – регулирует её проведение с учётом изменяющихся условий среды и требований сохранения естественной биоты Земли. Отсюда с очевидностью следует, что функциональная эффективность технической составляющей в общей системе всегда будет определяться характером взаимодействия природного и технического кластеров по критериям экологической безопасности и эффективности применяемых технологий.

Применительно к общей проблеме экологизации технологической парадигмы минерально-сырьевого комплекса, методология создания горной технологии, как полиобъектного кластера, строится на известных положениях гомеостатики путём поэтапного формирования геотехнологического гомеостата на основе структуры гомеостата биологического с заменой его содержательных элементов на геотехнологические целевые аналоги.

Результатом такого регулирования станет построение конвергентной горной технологии освоения недр, которая, за счёт трансформации биогенных

принципов функционирования экологически чистых природных систем, обеспечит создание технических систем, позволяющих ограничивать внешние экологические воздействия условиями постэксплуатационного самовосстановления фитоценозов естественной биоты [6].

Список литературы

1. Концепция перехода Российской Федерации на модель устойчивого развития // Зеленый мир. 1995. № 7. 15 с.
2. Горский Ю.М. Основы гомеостатики. // Иркутск: Изд. ИГЭА, 1988. 357 с.
3. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Природоподобные горные технологии – перспектива разрешения глобальных противоречий при освоении минеральных ресурсов литосферы // Вестник РАН. 2017. Т. 87. № 7. С. 643–650.
4. Громыко Ю.В. Век МЕТА: Современные деятельностные представления в социальной практике и общественном развитии. М.: Наука, 2006. 506 с.
5. Лисецкий С.В. Сложные системы // Программные продукты и системы. 2005. № 3. С. 10–15.
6. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Природоподобная технология комплексного освоения недр: проблемы и перспективы [Отв. ред. акад. РАН К.Н. Трубецкой, член-корр. РАН В.Н. Захаров]. М.: ООО «Научтехлитиздат», 2020, 368 с.

ОТРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГЛУБОКИМИ КАРЬЕРАМИ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПРЕВЕНЦИИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ КАТАСТРОФ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛНОТЫ ВЫЕМКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Игизбаев Р.К., Игизбаев М.К., Игизбаев К.Б., Магер А.Н.

*ООО КНТЦ «Прогнозирование и превенция
геомеханических катастроф», Казахстан*

Постановка проблемы. Открытая разработка полезных ископаемых производится в приповерхностном уровне формирования месторождений, что сопровождается значительными объемами потерь полезных ископаемых в гипабиссальном уровне. В данной статье рассматриваются вопросы отработки месторождений глубокими карьерами, обеспечивающих максимально возможную полноту выемки полезных ископаемых на основе способов прогнозирования и превенции геомеханических катастроф.

Цель. Внедрение в производство предлагаемого способа по прогнозированию и превенции геомеханических катастроф в выработанных пространствах карьерных полей позволяющих безопасную отработку и максимально возможную полноту выемки полезных ископаемых с сокращением потерь полезных ископаемых до значений (60-80)% от объемов разведанных балансовых запасов полезных ископаемых при отработке месторождений глубокими карьерами.

Методы исследований: методы математической теории топоповерхности; методы математической геотектоники [1]; разработанная авторами на основе сочетания научных подходов перечисленных выше, а также методов и средств теории Механики деформируемых сред – методов новой ветви науки Механики месторождений полезных ископаемых; теория и способы проведения БВР [2]. Основой для проведения данных исследований является разработанная к.т.н., проф. К.Б. Игизбаевым: *«Геоструктурная теория прочности и их хрупко, а также псевдопластического разрушений конструкций систем подземной и открытой эксплуатации месторождений полезных ископаемых, сложенных множествами криволинейно-анизотропных геологических тел полезных ископаемых и вмещающих пород»* [3]. А также разработанных на основе вышеуказанной теории способов:

- прогнозирования и превенции геомеханических катастроф в выработанных пространствах карьерных полей.

Научная концепция. Она основана на учении о геохимии недр Земли, разработанной выдающимися учеными: В.И. Вернадским, Ф.У. Кларком, А.Е. Ферсманом, В.М. Гольдшмидтом и А.П. Виноградовым. Одним из основных утверждений учения о геохимии недр земли является кусочно-непрерывная связь форм и содержания тектонических структур, то есть форма тектонических структур определяет его геоструктурные поля.

Обсуждение результатов.

1. Разработана теория прогнозирования и превенции геомеханических катастроф в выработанных пространствах карьерных полей.

2. Разработаны способы оперативного и перспективного прогнозирования и превенции геомеханических катастроф в выработанных пространствах карьерных полей внедрением которых будет обеспечено:

2.1. Исключение проявлений геомеханических катастроф, с разработкой технических мер по их превенции.

2.2. Максимальная степень устойчивости выработанных пространств путем разработки сетки скольжений для каждой литологической разности, составляющих месторождение.

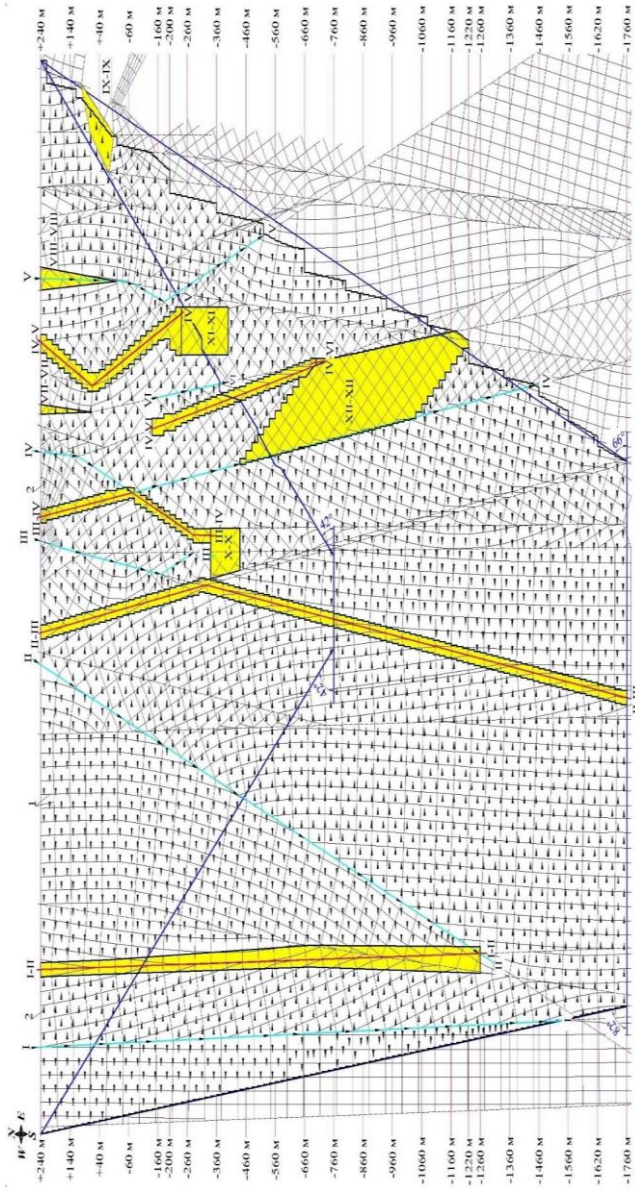
2.3. Увеличение углов откосов бортов карьера от 45° и выше.

2.4. Восполнение и вовлечение в добычу, ранее списанных в потери, в размере (60-80)% от объемов разведанных балансовых запасов.

6. Ликвидация опасных очагов обрушений с разработкой специальных проектов производства буровзрывных работ, поскольку в этих областях неприменимы типовые проекты ведения буровзрывных работ.

7. Безопасную отработку месторождений глубоким карьером.

На фигуре 1 приведены схемы вскрытия, система разработки по освоению месторождений глубокими карьерами, которые позволяют обеспечить более полную отработку разведанных балансовых запасов полезных ископаемых месторождения. Более подробно материал изложен в статье [3].



Фигура 1. Предлагаемые технические меры, применением которых будут исключены гомогенные геомеханические катастрофы при разработке данного месторождения глубоким карьером, с расчетными значениями углов откосов бортов карьеров: $\alpha_n=820$, $\alpha_p=660$. Условные обозначения: 1 – линии скольжений; 2– направления разветвий фронтов горных работ; I-I, II-II, III-III, IV-IV, V-V, VI-VI – оси понижений горных работ на участках: I, II, III, IV, V, VI; (I-II)-(I-II), (II-III)-(II-III), (III-IV)-(III-IV), (IV-V)-(IV-V), (V-VI)-(V-VI), VII-VII, VIII-VIII, IX-IX, X-X, XI-XI, XII-XII – искусственные, управляемые опасные очаги обрушений, разработанные по технологии авторов. X-X, XI-XI, XII-XII – опасные очаги обрушений, отработка которых предусмотрена по ступенной отработкой

Выводы. Актуальность проведенных исследований состоит в том, что на основе разработанных способов прогнозирования и превенции геомеханических катастроф в выработанных пространствах карьерных полей, будут достигнуты:

- высокая степень безопасности ведения очистных работ путем исключения геомеханических катастроф на стадиях оформления как промежуточных, так и конечных контуров откосов уступов и бортов откосов карьера;
- эколого-экономическая эффективность горнодобывающих предприятий, вследствие уменьшения объемов вскрышных работ.

Список литературы

1. Гзовский М.В. Математика в геотектонике. – М: Недра, 1971. – 240 с.
2. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ: учебное пособие для вузов / под ред. В.В. Ржевского – Изд. 3-е, перер. и доп. – М: Недра, 1978. – 542 с.
3. Игизбаев Р.К. Безопасное и рациональное освоение недр глубокими карьерами. [Текст] / К.Б. Игизбаев, М.К. Игизбаев // Новости Науки Казахстана – 2020 №4.

УДК 532.546:536.421

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ТЕМПЕРАТУРУ ЗАТОПЛЕННОЙ СТРУИ ДЛЯ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ЭТАПА ТЕЧЕНИЯ

Кильдибаева С.Р., Суюргулова Э.Э., Кильдибаева Г.Р.

СФ БашГУ, г. Стерлитамак

Промышленность нефтедобычи является важной составляющей в развитии экономики Российской Федерации. Различные техногенные аварии, вызванные добычей, транспортировкой и переработкой нефти, могут привести не только к экономическим потерям, но также к глобальным катастрофам в окружающей среде. Один из крупнейших нефтяных разливов произошел под Новороссийском 7 августа 2021 года, площадь выброса нефти составила 83 км². Ущерб природе был оценен в 4.5 миллиардов рублей [1].

Особую опасность представляют глубоководные разливы нефти, ввиду сложного процесса устранения последствий утечки и сбора нефтепродуктов, как это было при разливах в Мексиканском заливе и Северном море. Во время таких техногенных катастроф образуются затопленные струи, состоящие из углеводородов (нефти, газа, гидратов и т.д.) и вовлекаемой в струю воды [2]. Моделирование распространения затопленной струи позволит ускорить процесс ликвидации аварии и сбор нефтепродуктов.

При моделировании течения многофазной затопленной струи, поступающей из источника, примем, что течение струи включает три этапа: первый этап (jet) до затухания начального импульса струи, второй этап (plume) до

достижения нейтрального уровня плавучести, третий этап (advection-diffusion) миграции капель и пузырьков до достижения поверхности водоема.

Предположим, на глубине водоема произошла утечка углеводородов из скважины нефтедобывающей установки, из которой вытекает смесь нефти и газа с объемными расходами Q_o и Q_g соответственно. Также известны температуры углеводородов в струе T и окружающей жидкости T_w , скорость течения которой равна V_w . Модель будет реализована Лагранжевым методом контрольного объема [2-3]. Основными уравнениями при математическом моделировании являются уравнения сохранения энергии, импульса и масс.

При выводе уравнения сохранения энергии (1) были использованы следующие переменные: c – общая теплоёмкость, c_w – теплоёмкость жидкости, T – общая температура контрольного объема, T_w – температура окружающей жидкости.

$$\frac{d(cMT)}{dt} = c_w T_w \rho_w Q_w + J_h L - J_w c_w T_{hs}, \quad c = \sum \chi_i c_i \quad (1)$$

Для записи уравнения сохранения импульса (2) используются следующие переменные: V'_w – проекция скорости течения окружающей жидкости \vec{V}_w на направление \vec{V} , g – ускорение свободного падения, \vec{k} – единичный вектор по координате z .

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(Mu) &= u_w \rho_w Q_w - u \rho_{com} Q^f, \\ \frac{d}{dt}(Mv) &= v_w \rho_w Q_w - v \rho_{com} Q^f, \\ \frac{d}{dt}[(M_w + M_o)w + (M_g + M_h)(w + w_b)] &= w_w \rho_w Q_w - (w + w_b) \rho_{com} Q^f + \\ &+ (\rho_w - \rho_l) \pi b^2 h (\alpha_w + \alpha_o) g + (\rho_w - \rho_{com}) \pi b^2 h (\alpha_g + \alpha_h) g. \end{aligned} \quad (2)$$

Уравнение сохранения масс имеет следующий вид:

$$\frac{dM_i}{dt} = m_i, \quad m_i = \begin{cases} 0, & i = o; \\ -J_g - \rho_g Q_g^f, & i = g; \\ J_h - \rho_h Q_h^f, & i = h; \\ \rho_w Q_w^f - J_w, & i = w. \end{cases} \quad (3)$$

где ρ_i и M_i ($i = o(oil), g(gas), h(hydrate), w(water)$) – плотность и масса соответствующих компонент, m_i – коэффициент изменения массы, J_w, J_g – интенсивности расхода воды и газа при гидратообразовании, J_h – интенсивность образования гидрата, Q_g, Q_h – объемный расход газа и гидрата.

Полученная математическая модель была реализована в расчетной программе на языке C++. Вычисления производятся для двух этапов течения струи (jet, plume). На рисунке 1 представлена зависимость температуры струи от вертикальной координаты для различных начальных значений температуры поступающих углеводородов. Процесс образования гидрата на поверхности пузырьков описывается схемой диффузии. Объемный расход поступающего газа составляет $Q_g^e = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, нефть не поступает $Q_o^e = 0 \text{ м}^3/\text{с}$. Температура окружающей воды составляет $T_w = 4 \text{ }^\circ\text{C}$, линии 1-3 соответствуют значениям начальных температур $T^e = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ (линия 1), $T^e = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ (линия 2), $T^e = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ (линия 3). Согласно представленному графику температура струи становится равной температуре окружающей воды к моменту достижения нейтрального уровня плавучести (к 3 этапу течения струи) независимо от начального значения температуры истечения углеводородов.

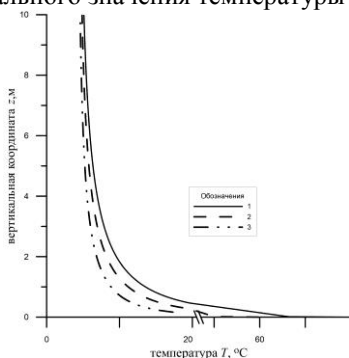


Рис. 1. Зависимость температуры струи от вертикальной координаты для различных случаев начальной температуры

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10227, <https://rscf.ru/project/21-79-10227/>

Список литературы

1. Костяной А.Г., Лаврова О.Ю., Лупян Е.А. Нефтяной разлив на морском терминале Каспийского трубопроводного консорциума под Новороссийском 7 августа 2021 г.: комплексный анализ спутниковых и метеорологических данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2021. – Т. 18. - № 5. – С. 28-43.
2. Кильдибаева С.Р., Гималтдинов И.К. Математическая модель затопленной струи с учётом влияния 3D течения окружающей воды // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2019. – Т. 12. - № 1. – С. 137-143.
3. Кильдибаева С.Р., Гималтдинов И.К. Эволюция нефтегазовой струи, истекающей через разрыв магистрального нефтепровода (газопровода), расположенного на дне водоема // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. - № 5. – С. 193-200.

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЕЛЬКЕН ПО МИНЕРАЛОГО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Лаврик А.В., Рассказова А.В.

ИГД ДВО РАН

Как известно, распространение ультрадисперсных форм нахождения благородных металлов значительно более широко, чем видимых частиц. Такие формы ценных компонентов являются сложноизвлекаемыми и присутствие их в руде является одним из определяющих факторов упорности. В тоже время мировая золотодобывающая промышленность все больше вовлекает в разработку руды с субмикронными частицами. В связи с этим высока актуальность разработки максимально эффективных технологий извлечения ультрадисперсных форм благородных металлов из различных типов месторождений.

Исследования проводились на золоторудном месторождении Делькен (Нижнеамурского рудного района). Месторождение представлено кремнистыми и кремнисто-глинистыми породами, алевролитами, переслаивающимися алевролитами и песчаниками, с прослоями и линзами гравелитов, конгломератов. Золотая минерализация содержится в зонах прожилкового и метасоматического окварцевания. Ресурсы золота на месторождении Делькен составляют 12 т. Среднее содержание 2,7 г/т. Наибольшее содержание золота по результатам химического анализа в пробах кварц-полевошпатовые метасоматиты по диоритам (43,5 г/т) и углеродистые метасоматиты по диоритам (5,22 г/т) [1-2].

Электронно-микроскопические исследования проводилась с использованием растрового электронного микроскопа «JEOL» (Япония), оснащенного энергодисперсионным анализатором «JCM-6000 PLUS». Для количественной оценки содержания золота применялся атомно-абсорбционный спектрофотометр ААС-7000, ААС – 6200. Исследование исходного материала на содержание общего углерода выполнялось высокотемпературным каталитическим методом ИК-детектирования с использованием анализатора общего углерода ТОС-V (SHIMADZU).

Результаты извлечения золота методом прямого цианирования оказались не высокими (от 85,65% до 89,82% с использованием различных схем), что характеризует данную руду как упорную. Также получены результаты проведенных исследований способов переработки руды методом гравитационного и флотационного обогащения. По результатам сделаны выводы, что данные способы представляются неэффективными в качестве операций, предшествующих гидрометаллургической переработке. Сравнительное горячее цианирование дало результаты 97% извлечения золота из пробы кварц-полевошпатовые метасоматиты по диоритам и 70% для пробы углеродистые метасоматиты по диоритам [3-4].

Одной из причин упорности является форма нахождения ценного компонента: в кварц полевошпатовых метасоматитах все золото присутствует в тесном сростании с кварцем и 10% представляет собой субмикронные частицы; проба углеродистые метасоматиты характеризуется присутствием золота только в форме субмикронных рассеянных частиц присутствующих во всех рудообразующих минералах.

Также известно, что одной из причин упорности золотосодержащих руд может являться присутствие сорбционно-активного углеродистого вещества, которое способно образовывать металлоорганические соединения в процессе цианирования и существенно снижать извлечение благородного металла [5-6]. Поэтому были проведены исследования на содержание углерода. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследования на содержание углерода

Название пробы	С общ, %	С неорг, %	С орг, %
Кварц полевошпатовые метасоматиты по диоритам	0,19	0,00	0,19
Углеродистые метасоматиты по диоритам	0,28	0,00	0,28

Как показывают исследования, выделения углеродистого вещества содержатся во всех породообразующих минералах. По составу можно выделить два типа: азотисто-углеродистые и углеродистые. Рисунок 1. Азотисто-углеродистые образования встречаются с признаками кристаллографической огранки или неправильного аморфного вида.

В результате проведённых исследований можно сделать предположение о присутствии органического углерода различной степени «преобразованности», что значит часть углеродистых образований вероятнее всего, будет проявлять сорбционно-активные свойства по отношению к золотоцианистым комплексам.

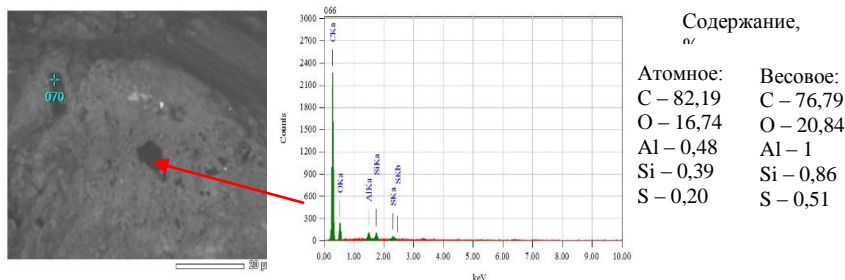


Рис. 1. Рассеянные включения углеродистых образований в полевошпат-глинистой массе с сульфидами. Фото во вторичных электронах со сканирующего электронного микроскопа «JEOL»

Также в процессе проведения исследования в пробе углеродистые метасоматиты по диоритам было обнаружено, что основная масса золота содержит Cu

до 10% по массе, которая осложняет процесс цианистого выщелачивания. Медь активно взаимодействующим с NaCN и потребляет значительное количество цианида, чем препятствует выщелачиванию золота [7-8].

По результатам проведенных исследований можно сделать выводы, что при переработки такого типа золотосодержащей руды целесообразно будет применить:

- тонкое измельчение материала (0,04 мм) для высвобождения субмикронных частиц золота.
- предварительные операции подавления сорбционно-активного углесто-го вещества и снижения взаимодействия меди с цианистыми комплексами.
- автоклавное или чановое выщелачивание.

Дальнейшее исследования необходимо провести с последовательным применением необходимых технологических операций.

«Химический, рентгенофлуоресцентный и спектральный анализы, микроскопические и минералогические исследования были выполнены на базе центра коллективного пользования «Центр исследования минерального сырья» ХФИЦ ДВО РАН»

Список литературы

1. Исследование комплексной золотосодержащей руды месторождения Делькен и оценка ее технологических свойств.
2. Результаты извлечения золота с субмикронными инкапсулированными формами нахождения из упорной руды месторождения Делькен.
3. Исследование способов переработки золотосодержащей руды месторождения Делькен.
4. Ультрадисперсные формы золота месторождения Делькен.
5. Фазлуллин М.И., 2001. Кучное выщелачивание благородных металлов. Москва: Издательство Академии горных наук, 647 с.
6. Фроловская В.Н. Углеродистые вещества в природных процессах. Избранные труды. – М.: ГЕОС., 2003. – 228 с.
7. Секисов А.Г., Зыков Н.В., Королев В.С. Дисперсное золото: геологический и технологический аспекты. – М.: Горная книга, 2012. – 224 с.
8. Шумилова Л.В. Причины технологической упорности золотосодержащих руд с нановключениями металла при цианировании // Горный информационный аналитический бюллетень. - 2009. - № 4. - С. 220-223. EDN: MUSJCN

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РЕАГЕНТОВ КЛАССА ДИТИОКАРБАМАТОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕДИ ИЗ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНО-ОЛОВЯННЫХ РУД

Матвеева Т.Н., Громова Н.К., Ланцова Л.Б, Гладышева О.И.

ИПКОН РАН

Лежалые хвосты обогащения богатых полиметаллических руд являются важным источником минеральных ресурсов, учитывая тот факт, что запасы

полезных компонентов в накопленных хвостохранилищах зачастую могут быть выше, чем в бедных рудах, вовлекаемых в настоящее время в процесс переработки. Так, подсчет суммарных ориентировочных запасов полезных компонентов в лежалых хвостах Солнечного ГОКа, выполненный на основе минералого-геохимического исследования, показал, что как по основным металлам, так и по редким элементам эти хвостохранилища можно считать техногенными месторождениями, практически готовыми к повторной переработке. Запасы меди оцениваются в 64 тыс. т, свинца 19 тыс. т, олова 25 тыс. т, цинка 8 тыс. т, серебра 55 т [1].

В то же время, повторная переработка рудной массы из хвостохранилищ позволяет, помимо экономических задач, одновременно решать целый ряд социальных и экологических проблем. Однако использование традиционных технологических способов не всегда обеспечивает достаточную степень разделения и высокое извлечение металлов из вторичного сырья, что сопровождается значительными потерями ценных компонентов - до 35% Cu, до 40% Zn, до 50% Pb, до 50% благородных металлов [2]. Кроме этого, качество полученных концентратов зачастую не соответствуют требованиям, предъявляемым к ним на последующих технологических стадиях.

Учитывая комплексный вещественный состав и эмульсионную вкрапленность минералов в хвостах обогащения полиметаллических руд, переработка столь сложных минеральных объектов предполагает комбинированные технологические схемы, в которых флотационные методы играют ключевую роль. Разработка и применение новых эффективных реагентных режимов флотационного извлечения ценных компонентов из бедных руд и техногенных продуктов на основе фундаментальных научных знаний о механизме физико-химического воздействия новых хелатообразующих реагентов на низкоразмерные минеральные комплексы является актуальной задачей [3-4].

В ИПКОН РАН в рамках научной школы академика В.А. Чантурия выполняется комплекс теоретических и экспериментальных исследований по исследованию, разработке и апробации новых классов реагентов-собирателей для извлечения цветных и благородных металлов из труднообогатимых руд и хвостов их переработки [5-7]. В частности, реагенты класса дитиокарбаматов, в молекулах которых дитиокарбонная группа связана с атомом азота N-C(S)SH, более селективны по сравнению с ксантогенатом в отношении сульфидов меди, свинца, цинка и золота благодаря наличию в структуре молекулы функциональных групп атомов, способных образовывать устойчивые соединения с ионами цветных и благородных металлов и повышать гидрофобные свойства целевых минералов в условиях флотации. Кроме этого, реагенты этой группы, как правило, менее активны в отношении минералов железа и мышьяка, снижающих качество медных концентратов.

В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований эффективности применения нового реагент класса дитиокарбаматов – S-цианэтил N, N-диэтилдитиокарбамата (ЦЭДЭТК) для повышения извлечения сульфидов меди и серебра из лежалых хвостов Солнечного ГОКа.

Опытный образец реагента ЦЭДЭТК предоставлен компанией АО «Волжский Оргсинтез».

Исходная проба хвостов обогащения Солнечного ГОКа представлена разным по крупности материалом. Значительное содержание сцементированной гипсом тонкодисперсной фракции, зачастую покрывающей более крупные частицы. Медь на 70% представлена халькопиритом CuFeS_2 и стanniном $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$. Халькопирит является одним из наиболее часто встречающихся рудных сульфидов. Он образует как сростки с кварцем и породообразующими силикатами, так и свободные зерна размером до 0.5 мм. Иногда медные минералы содержат сростки с другими сульфидами. Изредка крупные зерна халькопирита несут на себе следы окисления и гипергенную минерализацию. По данным химического анализа содержание основных компонентов в исходной пробе составило: 0,52% Cu, 0,51% As, 6,43% Fe, 0,11% Pb, 0,04% Zn, 1,48% S, 0,17% Ca, 0,15% Mg, 0,07% Mn, 9 г/т Ag. Перед флотацией пробу измельчали в шаровой мельнице до крупности 80% – 0,063 мм.

Адсорбцию реагента на халькопирите анализировали методом аналитической сканирующей электронной микроскопии (ASEM) на микроскопе LEO 1420VP, оснащённом рентгеновским энергодисперсионным микроанализатором INCA 350, и лазерном микроскопе KEYENCE VK-9700 в аналитическом центре изучения природного вещества ИПКОН РАН. Изучение гидрофобно-гидрофильных свойств халькопирита выполнено методом измерения силы отрыва пузырька воздуха от поверхности аншлифа минерала в растворе реагентов при pH=6.

Сканирующим лазерным микроскопом KEYENCE VK-9700 получено изображение поверхности аншлифа халькопирита после контакта с раствором реагента и определены линейные размеры дискретных фаз реагента в виде капель высотой 2,5–6,5 мкм и диаметром до 20–40 мкм (максимально 70 мкм) — рис. 1.

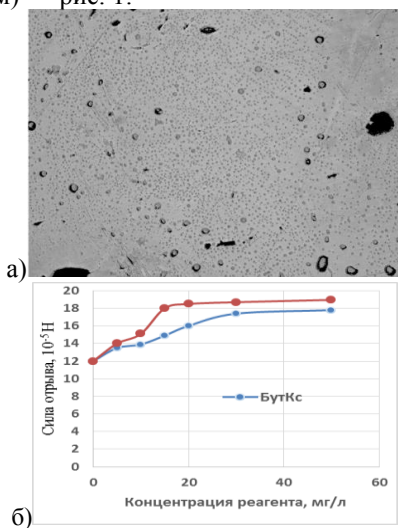


Рис. 1. SLM-снимок поверхности аншлифа халькопирита с реагентом ЦЭДЭТК (а) и кривые силы отрыва пузырька воздуха в зависимости от концентрации бутилового ксантогената БутКс и ЦЭДЭТК (б)

Методом аналитической сканирующей электронной микроскопии (АСЕМ) и микро-энергодисперсионным анализом поверхности минерала после контакта с раствором реагента установлено появление вновь образованных дискретных фаз органического вещества, в энергодисперсионном спектре помимо полос поглощения атомов халькопирита Cu, Fe, S наблюдаются пики атомов реагента С и О.

Изменение гидрофобно-гидрофильных свойств халькопирита исследовано методом измерения силы отрыва пузырька воздуха от поверхности шлифа минерала в растворе бутилового ксантогената и реагента ЦЭДЭТК при pH=6. Повышение величины силы отрыва свидетельствует о более прочном закреплении пузырька воздуха на поверхности минерала и, следовательно, увеличении ее гидрофобных свойств. Как видно из рис. 2, халькопирит обладает достаточно высокой природной гидрофобностью, сила отрыва в дистиллированной воде составляет 12,10-5 Н. При введении в раствор ксантогената и увеличении его концентрации с 5 до 30 мг/л в результате адсорбции реагента на минерале величина силы отрыва возрастает до (13,8–17,8). 10-5 Н, при этом наблюдается практически линейный характер зависимости. Последующее увеличение концентрации до 50 мг/л не сопровождается заметным ростом силы отрыва, что свидетельствует о насыщении адсорбционного слоя собирателя на поверхности минерала. В растворе ЦЭДЭТК также происходит повышение величины силы отрыва, при этом наблюдается более резкий подъем кривой и наибольшая величина (18,5–19,0).10-5 Н достигается при более низких по сравнению с ксантогенатом концентрациях реагента 18-20 мг/л.

Таким образом, применение ЦЭДЭТК оказывает положительное воздействие на гидрофобные свойства халькопирита и способствует повышению его извлечения в концентрат флотации.

Флотационные тесты по применению реагента ЦЭДЭТК в сочетании с бутиловым ксантогенатом выполнены по схеме основной флотации с получением концентрата и хвостов. Результаты представлены на рис. 2.

Результаты тестирования реагента ЦЭДЭТК в условиях флотации пробы лежалых хвостов Солнечного ГОКа показали, что при использовании в качестве собирателя бутилового ксантогената при расходе 200 г/т получен концентрат с содержанием 5,39% Cu при извлечении 78,89% Cu. Замена 25% расхода ксантогената на ЦЭДЭТК привела к повышению содержания меди в концентрате до 5,47%, извлечению меди – до 85,71%.

В случае использования комбинации собирателей (ЦЭДЭТК - 50 г/т, БутКс - 200 г/т) получен концентрат более высокого качества по содержанию меди 5,68% Cu против 5,39% Cu в базовом эксперименте с одним ксантогенатом. Прирост извлечения меди в концентрат составил около 5-7%.

Кроме этого, следует ожидать, что применение ЦЭДЭТК как при замене части ксантогената, так и при дополнительном расходе реагента, будет способствовать повышению извлечения серебра в черновой медный концентрат.

Данный эффект обусловлен хелатообразующими свойствами реагента по отношению к благородным металлам. Способность ЦЭДЭТК образовывать комплексные соединения с золотом в водном растворе и на поверхности золотосодержащих сульфидных минералов в условиях флотации была ранее экспериментально доказана авторами [7].

В результате выполненного исследования можно сделать следующие выводы.

Повышение извлечения меди в медный концентрат при повторной переработке лежалых хвостов Солнечного ГОКа может быть достигнуто за счет применения селективных реагентов-собираелей класса дитиокарбаматов, в частности цианэтилового эфира диэтилдитиокарбаминовой кислоты. Данный реагент обладает комплексообразующими свойствами по отношению к меди, адсорбируется на поверхности халькопирита, способствует повышению его гидрофобных и флотационных свойств.

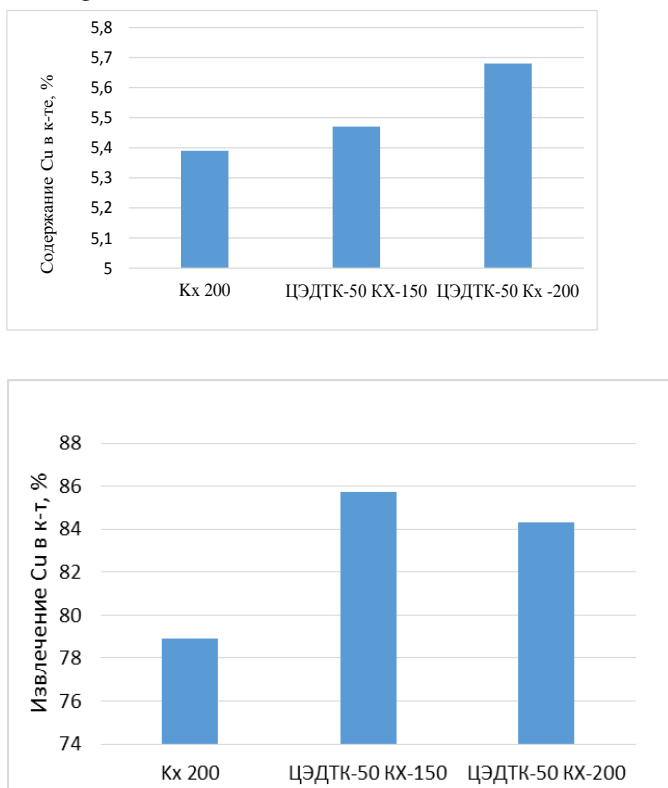


Рис. 2. Результаты флотации хвостов Солнечного ГОКа при различных реагентных режимах с использованием реагента ЦЭДЭТК

Апробация реагента ЦЭДЭТК в условиях флотации пробы лежалых хвостов Солнечного ГОКа показала, что его применение обеспечивает повышение извлечение меди в черновой медный концентрат на 7-9% по сравнению с бутиловым ксантогенатом, что делает перспективным его применение при повторной переработке труднообогатимого техногенного минерального сырья.

Благодарность: Исследование выполнено за счет гранта Российской научного фонда № 22-17-00149, <https://rscf.ru/project/22-17-00149/>

Список литературы

1. Ханчук А.И., Кемкина Р.А., Кемкин И.В., Зверева В.П. Минералогическое обоснование переработки лежалых песков хвостохранилищ Солнечного ГОКа (Комсомольский район, Хабаровский край) // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. – 2012. – № 1. – Выпуск № 19. – С. 22-40.

2. Панышин А.М., Мамяченков С.В., Тропников Д.Л., Анисимова О.С., Рогожников Д.А. Исследование закономерностей процесса выщелачивания сульфатизированных огарков обжига медно-цинковых промпродуктов // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2017. – № 3. – С. 23-30.

3. Александрова Т. Н., Орлова А. В., Таранов В. А. Повышение эффективности переработки комплексных медных руд варьированием реагентного режима // ФТПРПИ. — 2020. — № 6. — С. 116–124.

4. Брагин В. И., Бурдакова Е. А., Кондратьева А. А., Плотникова А. А., Бакшеева И. И. Исследование на обогатимость флотационным методом лежалых золотосодержащих хвостов // ФТПРПИ. — 2018. — № 4. — С. 152–160.

5. Матвеева Т.Н., Чантурия В.А., Громова Н.К., Ланцова Л.Б. Новые композиции реагентов для извлечения тонкого золота из отходов обогащения // Горный журнал. – 2019. – № 11.

6. Матвеева Т.Н., Ланцова Л.Б., Гладышева О.И. Влияние рудоподготовки на флотацию минералов меди и мышьяка при переработке сульфидных руд // Горная промышленность. 2021. №6. С.48-50.

7. Матвеева Т.Н., Громова Н.К., Ланцова Л.Б., Гладышева О.И. К вопросу о механизме взаимодействия реагентов МДТК и ЦЭДЭТК с низкоразмерным золотом на поверхности сульфидных минералов при флотации труднообогатимых золотосодержащих руд // ФТПРПИ. – 2022. - №4.

К ВОПРОСУ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЕЙ ОТКРЫТОЙ ДОБЫЧИ

Хамзина Т.А., Кузнецова И.Н.

ИПКОН РАН

Анализ состояния производства угольного топлива на разрезах России за последние 10 лет показывает, что большинство случаев товарной продукции является рядовой уголь с относительно низкими потребительскими свойствами.

Производимое в России угольное топливо в виде рядовых углей и отсе-вов по своему составу: зольности, сернистости, непостоянной теплотворной способности, не отвечает современным требованиям эффективного произ-водства электрической энергии на базе угля.

В этих условиях, помимо общего роста объемов открытой угледобычи, необходимо создавать предпосылки для увеличения спроса на уголь, повы-шения его ликвидности.

Как показывает мировой опыт, конкурентоспособность угля на мировом рынке в сравнении с другими энергоносителями (нефтью, газом), при произ-водстве электрической энергии на экологически чистых электростанциях определяется использованием обогащенного топлива постоянного состава с зольностью 5-15% и высоким теплосодержанием.

Угли открытого способа добычи имеют наибольшие потенциальные воз-можности для производства современного конкурентоспособного топлива, так как отличаются низкой себестоимостью.

У разрезов возникает проблема увеличения затрат либо на обогащение, либо на оплату перевозки балласта. В мировой практике выбор сделан в пользу обогащения. Производитель электрической энергии может позволить себе платить на 15-30% дороже за обогащенный уголь, сохраняя при этом цену на электроэнергию такой же, как и при сжигании рядового угля.

Угольные разрезы в процессе добычи, как правило, ухудшают природные свойства углей за счет их разубоживания при засорении породой и наличия в добываемой угольной массе прослоев пустых и углистых пород, допускае-мых кондициями на выемочную мощность. В результате, если чистый уголь Бачатского угольного разреза имеет зольность 5,1%, то в товарном состоянии (рядовой) он имеет зольность 19,1%. Происходящее при этом снижение кон-центрации энергии, как минимум, должно быть восстановлено и, как показы-вают фракционные анализы углей, она может быть увеличена путем обогащения.

Возможны два варианта обогащения с целью производства топлива вто-рого поколения, когда переработке подвергаются только крупные классы +50, +25, +13, +6 мм, и топлива третьего поколения – когда обогащаются классы до «0» мм.

Как видно из таблицы 1 топливо второго поколения, получаемое по от-носительно простой технологии и отличающееся низкой себестоимостью позволяет поднять цену у производителя в зависимости от географического удаления потребителя. При этом, хотя выход товарного топлива у производи-теля уменьшится, дополнительное увеличение добычи угля практически не понадобится, так как энергетический выход уменьшится незначительно. Таким образом, произойдет концентрация энергии за счет удаления чистой породы.

Таблица 1

**Оценка результатов обогащения углей Бачатского угольного разреза
(ОАО Кузбассразрезголь)**

Отгружаемая угольная продукция	Выход по массе, %	Выход по теплоте сгорания, %	Зольность, %	Теплота сгорания, Ккал/кг
Рядовой уголь 0-300мм	100,00	100,00	15,10	6316,20
Обогащенный уголь по классу +13мм	94,90	99,30	11,07	6612,40
Обогащенный уголь по классу «0»мм	87,88	98,10	6,11	7050,40

Наибольшая эффективность обогащения достигается при увеличении глубины обогащения рядового угля до «0» мм. Эффект обогащения особенно значим при транспортировании на большие расстояния топлива высокой чистоты.

Понимание этого диктует необходимость выпуска на обогатительном предприятии при глубоком обогащении двух видов топлива: концентрат для использования в регионе добычи, (как менее выгодного для перевозок или, даже неблагоприятного для транспортирования на большие расстояния) и чистого обогащенного (экспортного) концентрата.

Обогащение во всех случаях позволяет улучшить экономику добычи и производства угля открытым способом.

По эффективности использования предпочтительно обогащение угля по всем классам крупности.

Управление качеством продукции и ее транспортными потоками является большим резервом повышения эффективности сбыта угольной продукции. Качество угольной продукции не может рассматриваться в отрыве от потребителя.

На перспективу – повышение эффективности открытой добычи углей связано с улучшением качества производимой угольной продукции. Для этого необходимо строить новые углеобогатительные фабрики. Инвестиции в обогащение являются наиболее доступным средством восстановления доминирующей роли угля в экономике топливно-энергетического комплекса России.

УДК 622,7

**РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ С ПОЗИЦИЙ
ГЕОЭТИКИ НА ОСНОВЕ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ
РЕШЕНИЙ**

Шумилова Л В., Хатькова А.Н., Размахнин К.К.

ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»

Экономические и социально-экономические факторы рационального использования недр предполагают проведение мероприятий по сохранению

природных ресурсов для будущих поколений (геоэтика, геоэтические принципы и алгоритмы решения геоэтических ситуаций и дилемм).

В 1991 г. чешский учёный Вацлав Немец высказал идею о необходимости разработки этических принципов воспроизводства и использования минеральных ресурсов.

Академик РАН Трубецкой К.Н., ещё двадцать пять лет назад в сжатой форме, но очень ёмко отразил суть рационального природопользования с позиций геоэтики на основе экологизации инженерных решений: «Горная наука – это система знаний о закономерностях и способах комплексного и экологически безопасного освоения и сохранения недр на основе постоянного технологического воспроизведения их ресурсов и нового функционального назначения» (цитата) [1].

В современной интерпретации, по мнению авторов, геоэтика – развивающаяся техническая и философская интегральная научная дисциплина, рассматривающая нравственные основы отношений, в том числе при проведении научных и технологических исследований и внедренческих практик, осуществляемых при геологическом изучении и использовании недр, минеральных ресурсов и их полезных свойств, в процессе формирования условий для качественного роста экономики (зелёной экономики), принципы которой сформулированы национально ориентированными российскими учёными и финансистами.

Новые проектные решения по строительству и реконструкции предприятий горного кластера по-прежнему заканчиваются в технологических схемах только получением готовой продукции (добытая руда, концентрат, слитки металлов), а не завершённым производственным циклом: технологии переработки отходов всех агрегатных состояний (сбросы, выбросы твёрдые минеральные фазы), исключающие возможность миграции токсичных и радиоактивных компонентов в почву, подземные воды и атмосферу.

Для рационального и комплексного использования минерального сырья (цеолитсодержащие породы – ЦСП) и снижения потерь ценных компонентов, связанных со сростками минералов, разработаны альтернативные варианты технологий, включающих не только подготовительные и собственно обогащительные процессы (Патенты Российской Федерации № 2229342, № 2278737, № 2455073), но и адсорбционные процессы, используемые при комплексном управлении горнопромышленными отходами: очистка отходящих газов от SO_2 ; очистка сточных вод от нефтепродуктов, радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs до установленных предельно допустимых норм; рекультивация (консервация) хвостохранилищ; захоронение конструкций зданий, загрязнённых токсичными и отравляющими веществами; закладка выработанного пространства (Патенты Российской Федерации № 2393310, №2515578, № 2513468). Некоторые примеры представлены на рисунке 1 и в таблицах 1-2.

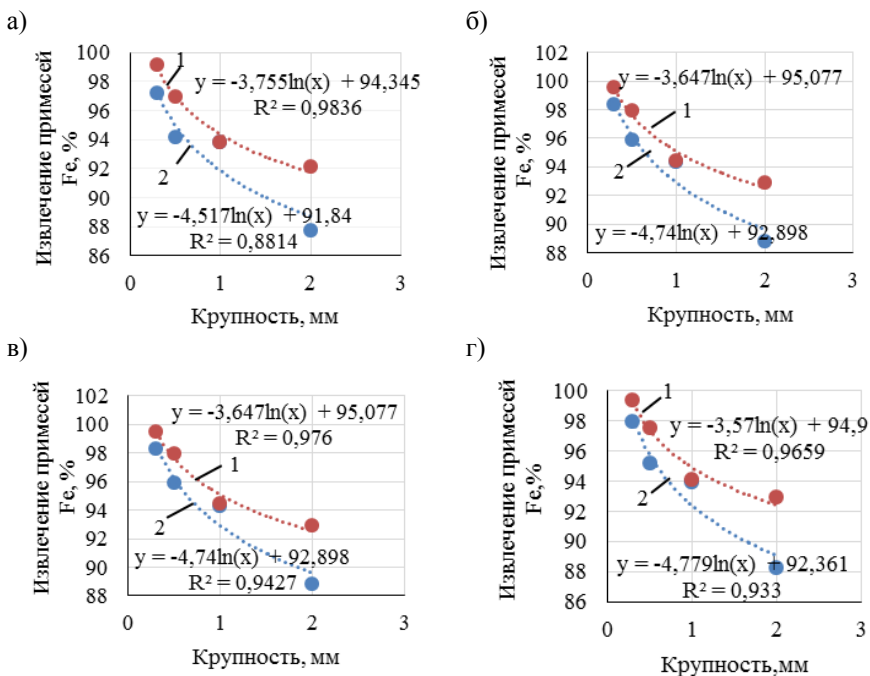


Рис. 1. Зависимость извлечения примесей Fe магнитной сепарацией от крупности ЦП месторождений Восточного Забайкалья: 1 – Талан-Гозагорского; 2 – Шивыртуйского при альтернативных вариантах рудоподготовки – направленные виды воздействий: а) ультразвуковые; б) мощные электромагнитные импульсы; в) ускоренные электроны; г) термические

Таблица 1

Значения статической обменной емкости по Ca^{2+} , коэффициента распределения (K_d) ^{90}Sr и коэффициента разделения пары Sr/Ca ($D_{\text{Sr}/\text{Ca}}$)

Месторождение	COE по Ca^{2+} , моль/г	K_d ^{90}Sr , $\text{cm}^3/\text{г}$	$D_{\text{Sr}/\text{Ca}}$
Исходные			
Бадинское	0,82	1120±50	9,0
Холинское	0,74	185±5	1,8
Шивыртуйское	0,43	205±5	4,2
Талан-Гозагорское	0,45	65±4	1,3
Обогащенные до 98%			
Бадинское	1,65	1800±50	4,7
Холинское	0,24	340±10	14,3
Шивыртуйское	0,038	510±10	48
Талан-Гозагорское	<0,01	170±5	-

Сравнительная оценка нефтеемкости ЦСП

Сорбент / ЦСП место-рождения	Класс крупности, мм	Нефтеемкость, %
	Исходные	
Шивыртуйского	-2+1/-1+0,5	175/228
Талан-Гозагорского	-2+1/-1+0,5	175/180
Обогащенные		
Шивыртуйского	-2+1/-1+0,5	221/282
Талан-Гозагорского	-2+1/-1+0,5	218/229

Таким образом, на цеолитсодержащих породах с позиций геоэтики представлен пример возможности решения проблем, обозначенных в горно-экологической концепции по оптимизации воздействия горного производства на окружающую среду. Научная идея заключается в том, что необходимо одновременно разрабатывать альтернативные технологии не только обогащения минерального сырья, но и технологии переработки и утилизации техногенных отходов. Безотходная технология – это идеал, к которому необходимо стремиться.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках выполнения гранта на проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований в 2022-2023 годах, соглашение номер 22-17-00040.

Список литературы

1. Освоение и сохранение недр Земли / К.Н. Трубецкой, Ю.Н. Малышев, Л.А. Пучков и др.; Под ред. К. Н. Трубецкого; Рос. акад. наук и др. - М.: Изд-во Акад. Горных наук, 1997. 478 с.

ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ И РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

УДК 622.528

МЕТОДИКА ВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ И ОБРАБОТКИ ЕГО РЕЗУЛЬТАТОВ

Абен А.М., Нурпенсова М.Б.

Satbaev University, г. Алматы, Казахстан

Всем известно, что разведанные запасы медной руды Жезказганского месторождения постепенно отрабатываются и, во избежание трудностей в будущем, сложилась необходимость выявления дополнительных запасов руды для продления жизни месторождения еще на 40-50 лет и новых месторождений вблизи городов Жезказгана и Сатпаева в Улытауском районе. И в настоящее время расширяется минерально-сырьевая база Центрального Казахстана [1].

Возросшие объёмы и интенсивность освоения недр порождают возникновение техногенных катастроф, которые связаны с определенными смещениями и оседаниями земной поверхности. Эффективность и безопасность работ как при добыче полезных ископаемых, так и при эксплуатации объектов, попадающих в зону влияния этих действий, зависят от геодинамического состояния толщи пород и происходящих в ней тектонических и техногенных процессов. Надежную информацию о деформациях массива пород можно получить прямыми геодезическими наблюдениями на геодинамических полигонах. Среди современных методов и средств исследования смещений и деформаций земной поверхности весьма эффективными является технология спутниковой системы (GPS – технология). Наряду с GPS-технологиями, ведутся систематические наблюдения с помощью электронных тахеометров и цифровых нивелиров для различных районов интенсивной добычи твердых полезных ископаемых [2].

Изучение геодинамических и геомеханических процессов при разработки месторождений, занимающих большую площадь, предложен новый способ создания ГДП в виде локальных контрольных «кустов» геодезических и нивелирных пунктов, взамен протяженных линий нивелирования. Заложено ГДП, состоящей из 6 опорных пунктов и 72 деформационных нивелирных реперов [3].

Для выполнения работ молодые ученые кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» прилагают много усилий для достижения кокретных результатов. В рамках комплекса геодезических работ по наблюдению за деформациями на Сарыобинском геодинамическом полигоне, были выполнены работы по

определению координат и высот пунктов сети с применением технологий глобальной навигационной спутниковой сети (ГНСС). Спутниковые измерения выполнялись в режиме Статика, работа в данном режиме подразумевает условное подразделение на два этапа, это полевые работы и камеральная обработка.



Рис. 1. Спутниковые измерения GPS-приемниками

При производстве полевых работ применялось три GPS-приемника швейцарской фирмы Leica GS16 – 2 приемника и один приемник GPS1200. Измерения производились в 3 сеанса спутниковых наблюдений. Продолжительность каждого сеанса не менее 5 часов, при этом за начало отсчета сеанса наблюдений бралось время включения последнего GPS-приемника (Рис.1).

После завершения полевых работ по спутниковым измерениям полученные сырые данные, в камеральных условиях конвертировали в универсальный обменный формат Rinx. Камеральная пост-обработка сырых данных выполнялась в программном обеспечении Giodis фирмы Javad GNSS. Методика математической обработки результатов ГНСС наблюдений на ГДП, как и методика полевых измерений, принята одинаковой во все эпохи наблюдений с использованием специального программного продукта [4].

Для получения точных координат и высот в пост-обработку были включены сырые данные пунктов мировой сети IGS. На пунктах данной сети на постоянной основе выполняется обработка и уравнивание этой сети. Привязка наших пунктов к вышеназванной сети обеспечивает высокую точность и согласованность полученных координат и высот со всемирной координатной основой ITRF2008 и системой координат WGS84. Так же для повышения точности конечных результатов перед обработкой в проект были включены такие данные как точные эфемериды спутников, ионосферные карты, карты состояние тропосферы и уточненные часы спутников за период выполнения полевых работ (таблица).

Результаты обработки спутниковых измерений

Имя Пункта	ITRF2008			WGS84			UTM 42N		
	X, м	Y, м	Z, м	B	L	h, м	X	Y	h, м
RP02	1632200,5571	3937264,7502	4729578,8152	48°10'01,00481"N	067°29'00,44123"E	404,6638	5335967,857	387239,534	404,664
RP03	1632741,9030	3937565,5219	4729137,8417	48°09'39,78017"N	067°28'41,81649"E	399,7218	5335320,178	386841,903	399,722
RP04	1633280,7021	3937890,2852	4728683,2077	48°09'17,74868"N	067°28'23,75454"E	398,8271	5334647,385	386455,317	398,827
RP05	1632111,4814	3937723,5393	4729218,9788	48°09'43,83469"N	067°29'12,92478"E	396,4978	5335432,674	387486,927	396,498
RP06	1633215,0023	3937251,3304	4729235,7251	48°09'44,52246"N	067°28'14,84566"E	399,9548	5335477,642	386287,716	399,955
RP01	1632921,1178	3937041,9195	4729532,5184	48°09'58,31277"N	067°28'24,09944"E	416,9637	5335899,6	386487,308	416,964
RP02.10	1632391,6424	3937148,8425	4729615,0502	48°10'02,60468"N	067°28'49,75059"E	409,0589	5336021,61	387019,714	409,059
RP05.10	1632288,9604	3937600,6683	4729268,3701	48°09'45,99982"N	067°29'02,71440"E	402,9158	5335503,674	387277,348	402,916

Использование этих данных в пост-обработке позволило исключить основные источники ошибок возникающих при выполнении спутниковых измерений. А также повысить точность конечных результатов, то есть координаты и высоты определяемых пунктов.

Выводы. На основе проведенных GPS–измерений маркшейдерская служба рудника «Восточная Сарыоба» была обеспечена опорными пунктами, координаты которых определены с высокой точностью.

Для мониторинга медленных движений земной поверхности на ГДП измерения были проведены на основе инновационной технoлoгий и их результаты обработаны с помощью геодезического программного пакета Giodis, что позволило быстро и с высокой точностью определить положение пунктов в единой системе координат.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МНВО РК(Грант №№AP14871694)

Список литературы

1. Рыльникова М.В., Юн А.Б., Терентьева И.В. Восполнение выбывающих мощностей рудников на стадии доработки балансовых запасов месторождения – условие экологически сбалансированного развития Жезказганского региона // Маркшейдерский вестник. 2016. № 5. - С. 6–10.
2. Nurpeisova M.B., Bitimbayev M.Zh., Rysbekov K.B., Shults R. Geodetic substantiation of the Saryarka copper ore region // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan-Series of Geology and Technical Sciences. 2020. Vol.6. P.194-202.
3. Новый подход к созданию геодинaмического полигона. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом №20302 от 17 сентября 2021 г. Авторы: Кыргызбаева Г.М. и Нурпеисова М.Б.
4. Патент РК №38798.Наземный постоянный геодезический пункт принудительного центрирования приборов / Нурпеисова М., Рысбеков К., Айтказинова Ш, Доненбаева Н., Нукарбекова Ж., Дербисов К. от 19.08.2022.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗОНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИКОНТУРНОЙ ЗОНЫ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

Аверин А.П.

ИПКОН РАН

Оперативная оценка текущего напряженно-деформированного состояния массива горных пород важная и актуальная задача для управления горным давлением, выбора оптимального варианта крепления выработки и других горнотехнических задач на горных предприятиях [1].

Для исследований шпуров и неглубоких скважин широко известен ультразвуковой (УЗ) метод каротажа [2]. Метод УЗ каротажа в скважинах, пробуренных в кровлю, почву и борта подземной горной выработки, позволяет детально изучить строение и состояние скального массива, а также определить упругие и деформационные свойства горных пород, их напряженно-деформированное состояние в приконтурной зоне.

Теоретически и экспериментально установлено, что динамические характеристики упругих волн более чувствительны к изменению состояния среды, чем кинематические и, следовательно, могут служить не только дополнительным, но и основным источником информации при анализе данных УЗ каротажа [3, 4]. Для интерпретации результатов УЗ каротажа необходима информация о динамических характеристик упругих волн - амплитуда, частота. Анализ динамических характеристик возможен при условии идентичности условий приема сигналов УЗ преобразователями зонда. В нисходящих заполненных водой скважинах, при наличии центризатора в конструкции зонда, регистрируются идеальные для анализа сигналы [3]. В восстающих скважинах без воды для регистрации кинематических параметров упругих волн – скорости, применяют зонды с прижимными устройствами [5, 6], но добиться идентичности степени прижима датчиков проблематично из-за шероховатости поверхности, наличия каверн и трещин, секущих скважину.

Для решения задачи обеспечения идентичности качества контакта УЗ преобразователей с горной породой предлагается снабдить УЗ зонд с двух торцов расширяющимися пакерами, которые перед началом измерений накачивают воздухом (или жидкостью). Раздутые пакеры изолируют часть скважины, в которой расположены ультразвуковые преобразователи и они же выполняют роль центризатора зонда в скважине. На время измерений полость между пакерами заполняется контактной жидкостью (водой), которая и обеспечивает идентичные условия излучения и регистрации УЗ сигналов преобразователями.

Предлагаемая конструкция представлена на Рисунке 1.

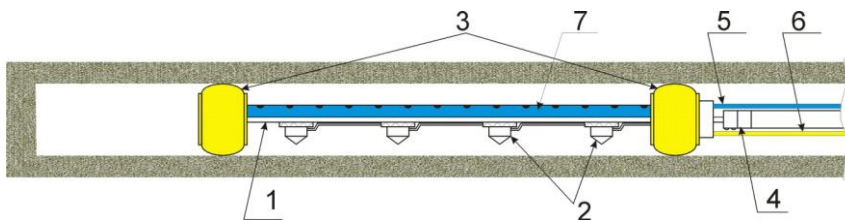


Рис. 1. Усовершенствованная конструкция УЗ зонда.
1 - Планка из изоляционного материала; 2 – преобразователи
ультразвуковых колебаний; 3 – пакеры; 4 - досылочное устройство;
5 и 6 - нагнетательные шланги

Каротаж предложенным зондом производят в следующем порядке. После установки зонда в место замера по гибкому шлангу -5 нагнетают воду или воздух в пакеры -3, которые, расширяясь, центрируют планку с преобразователями в скважине и, прижимаясь к стенкам скважины, образуют замкнутую полость. По второму гибкому шлангу -6 нагнетают воду. Каротаж скважин производится путем последовательного включения преобразователей -2 в различные режимы работы для профильного замера скорости распространения, амплитуды и частоты ультразвуковых колебаний в массиве.

В работах [3, 4], на основе анализа динамических характеристик УЗ сигнала, представлены результаты, позволяющие на основе коэффициента затухания и частоты колебаний УЗ сигнала выделять зоны интенсивной разгрузки и опорного давления. Применение предложенной конструкции зонда позволит оперативно получать информацию о напряженно-деформируемом состоянии массива горных пород вокруг выработки.

Список литературы

1. Геомеханические процессы в геологической среде горнотехнических систем и управление геодинамическими рисками. Козырев А.А., Савченко С.Н., Панин В.И., Семенова И.Э., Рыбин В.В., Федотова Ю.В., Козырев С.А. и др. – Апатиты: КНЦ РАН, 2019. – 431с.
2. Савич А.И., Коптев В.И., Никитин В.Н., Яценко З.Г. Сейсмоакустические методы изучения массивов скальных пород. М: Недра, 1969.
3. Аверин А.П. Исследование параметров затухания при ультразвуковых наблюдениях. Горно-информационный бюллетень, №10, изд-во МГТУ, 2004.- с. 66-68.
4. Айнбиндер И.И., Пацкевич П.Г., Красюкова Е.В., Аверин А.П. Обоснование стратегии поддержания устойчивости подземных горных выработок в условиях действующих повышенных анизотропных напряжений. Горный журнал. 2022. № 1. с. 33-39.. DOI: 10.17580/gzh.2022.01.06
5. Ржевский В. В., Ямщиков В.С. «Акустические методы исследования и контроля горных пород в массиве», «Наука», М., 1972.
6. Богданов П.А., Чистяков Е.П., Белозор К.Я., Ливочко Е.Г. Зонд для ультразвукового каротажа незаполненных скважин. Авторское свидетельство СССР №545948. Бюл. 1977. № 5.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДИССИПАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Аверин А.П., Белоусов Ф.С., Трофимов В.А., Филиппов Ю.А.

ИПКОН РАН

Проведена численная оценка параметров сферической волны, в том числе рассеяния сейсмической энергии, распространяющейся от точечного источника в геологической среде. Создана геомеханическая численная модель и проведены расчёты с использованием метода конечных элементов для упруголинейных и поглощающих сред.

Сейсморазведка – это один из геофизических методов, которым пользуются во всём мире, для изучения и определения строения недр земли и свойств слагающих их пород. Зачастую такой подход является единственно возможным, позволяющим делать заключения о возможности принятия обоснованных решений при строительстве и разработке месторождений полезных ископаемых.

Основой такого рода геофизических методов является анализ параметров распространяющейся в массиве сейсмической волны, тем или иным образом взаимодействующей с этим массивом. Как правило, строение массива бывает весьма сложным и простейшие соотношения, описывающие распространение волны во многих случаях становятся неадекватными.

Современное развитие геофизических сейсмических методов во многом связано с использованием численного моделирования [1]. В отличие от аналитических решений и соотношений, численный подход может адекватно отображать значительно более сложные геологические и горнотехнические ситуации при анализе волнового поля в массиве.

Тем не менее, использование численных методов, особенно в рамках той или иной программной системы, требует предварительной адаптации и калибровки расчетного алгоритма к используемым вычислительным средствам. Это производится на известных аналитических решениях, которые должны быть воспроизведены путем численного решения.

Таким образом, современные ЭВМ позволяют решать сложные динамические задачи, связанные с исследованием сейсмических волн. В работе был использован программный продукт ANSYS с модулем Transient Structural позволяющий решать динамические задачи с сейсмическим воздействием.

Рассмотрим задачу о точечном воздействии на массив горных пород. Будем считать, что точка воздействия находится внутри бесконечного упругого массива. При этом само воздействие представляет собой импульс

давления, приложенного к поверхности сферы малого радиуса, 1 м. Фактически это модельное представление взрыва [2-4].

Расчетная область в рассматриваемом случае – это куб с ребром в 100м. В силу наличия трех плоскостей симметрии в расчетах используется, т.е. строится конечноэлементная сетка (989081 шт.), только для одного октанта, что позволяет значительно сэкономить вычислительные ресурсы.

На рисунке 1 показан импульс взрывного воздействия, его продолжительность и амплитуда.



Рис. 1. Взрывное воздействие

Первоначально решалась задача о распространении взрывного импульса в упругой среде. На рисунке 2 положение волны возмущения на момент времени $t=1.2*10^{-3}$ с от начала процесса. При этом цветом показано распределение смещений.

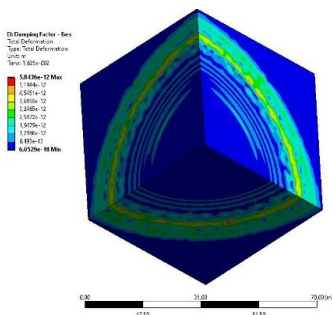


Рис. 2. Распределение в пространстве смещений при $t=1.2*10^{-3}$ с

В силу симметричности приложенной нагрузки форма волны представляет собой шар переменного радиуса. Отметим, что в какой-то момент этот шар достигнет границ расчетной области и произойдет отражение волны в зависимости от граничных условий: либо от закрепленной, либо свободной поверхности. До этого момента модель отражает процесс в бесконечной среде, что изначально предполагалось, а после него решение для поставленных целей непригодно и его не следует принимать во внимание, хотя расчет может быть продолжен.

На рисунке 3 показано распределение смещений по радиусу шара на тот же момент времени.

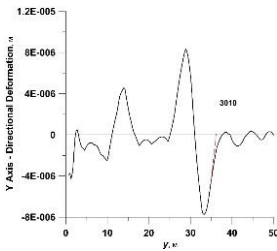


Рис. 3. Распределение смещений по радиусу сферы

Положение фронта волны легко определяется (красный отрезок прямой), и при известном времени – вычисляется скорость распространения. Ту же самую процедуру можно повторить для разных времен t . На рисунке 4 показана зависимость скорости распространения волны от ее продвижения. Как и следовало ожидать для упругой среды она постоянна и составляет примерно 3000м/с.

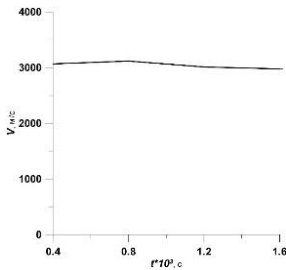


Рис. 4. Постоянство скорости распространения волны

Это практически совпадает с точностью до процентов с теоретической величиной, вычисляемой исходя из деформационных свойств среды, принятых для моделирования.

Теперь рассмотрим, как же убывает интенсивность волны по мере ее продвижения в пространстве. Для этого на рисунке 3 и ему подобных возьмем величины максимумов и построим график зависимости максимальных смещений Δu от расстояния до источника (Рис.5).

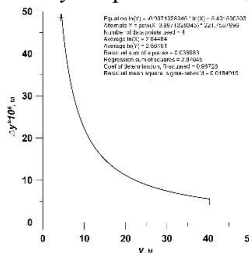


Рис. 5. Затухание волны смещений по пространству

Аппроксимация полученных расчетных значений максимальных смещений (точки на рисунке) степенной функцией (приведена на рисунке) показывает, что убывание обратно пропорционально расстоянию до источника, т.е.

имеет вид $\sim \frac{A}{y^{0,997}}$ Это в полной мере соответствует хорошо известной теоретической зависимости.

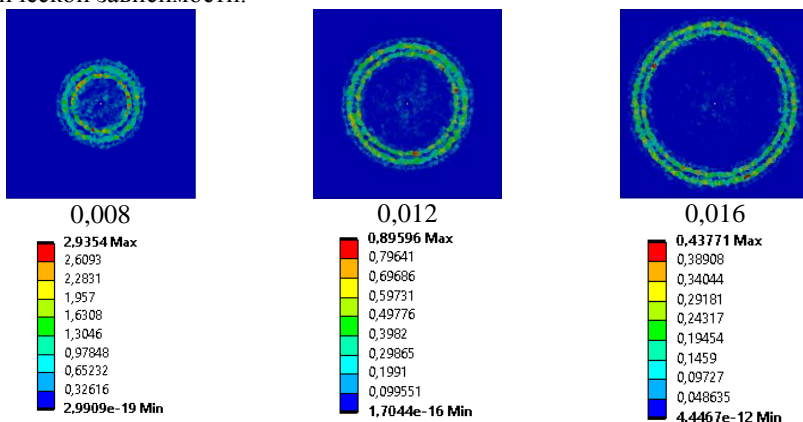


Рис. 6. Рассеяние потенциальной энергии

На рисунке 6 для рассмотренной волны возмущения показано распределение потенциальной энергии деформирования на разные моменты времени, и, соответственно, для различных ее положений в пространстве.

Цветовые шкалы показывают постепенное рассеяние этой энергии в силу расходящегося движения волны.

Проведенные расчеты свидетельствуют о том, что разработанный численный подход адекватным образом моделирует волновые процессы для линейно упругой среды, и, видимо, может быть использован в более сложных случаях.

Список литературы

1. Белоусов Ф.С. Изучение состояния пород переходных зон в условиях их естественного залегания методами шахтной сейсморазведки при комбинированной разработке кимберлитовых трубок // Инженерная физика. – Издательство «НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ», 2021 – №1 – С. 49–56.
2. Менжулин М.Г., Афанасьев П.И., Коршунов Г.И., Щипачев А.С. Влияние взрывных работ разреза «Заречный» на капитальные горные выработки шахты «Талдинская-Западная -2» // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017. Т.2. – С.591–596.
3. O. Erten, G. Konak, M.S. Kizil, A.H. Onur, D. Karakus Analysis of quarry-blast-induced ground vibrations to mitigate their adverse effects on nearby structures // International Journal of Mining and Mineral Engineering, – 2009. – V.1. - №4 – P.313–326.
4. Bernardo G., Guida A., Mecca I. Advancements in shotcrete technology // Conference: STREMAH, – 2015. P. 591–602.

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ

Адил Н., Рысбеков К.Б.

Satbayev University, г. Алматы, Казахстан

Безопасность эксплуатации инженерных сооружений и оборудования требует периодического ведения их мониторинга. Мониторинг деформаций этих сооружений является одной из областей применения высокоточных геодезических методов и средств измерений. Поэтому отслеживание деформаций и активных реакций на многочисленные внешние нагрузки имеет большое значение для поддержания функционирования инженерных сооружений.

Деформация - сложный процесс, зависящий от множества факторов. Сюда, помимо конструктивных особенностей, относят влияние природных условий (прочность и состав грунтов, интенсивность солнца, ветра и т.п.) и деятельности человека. В общем случае под термином *деформация* понимают изменение формы объекта наблюдений. В геодезической же практике принято рассматривать деформацию как изменение положения объекта относительно какого-либо первоначального положения.

Основной целью геодезического наблюдения за деформациями сооружений является обеспечение надежности, безопасности и функциональной пригодности эксплуатируемых сооружений; анализ напряженного состояния, деформаций и перемещений конструкций; наблюдения за общими деформациями и трещинами отдельных элементов эксплуатируемых сооружений путем проведения систематических наблюдений и инструментального контроля [1].

Развитие геодезического приборостроения привело к появлению новых приборов, предназначенных для выполнения измерений с целью определения деформаций сооружений, в частности цифровых нивелиров, электронных тахеометров и наземных лазерных сканеров. Для внедрения новых инструментов в геодезическое производство необходимо разработать методики исследования их основных технических параметров, а также совершенствовать технологии и выполнение измерений при определении деформаций цилиндрических и купольных сооружений. Основными преимуществами цифровой измерительной техники перед аналоговой являются: быстрота измерений, высокая точность, удобство получения первичных данных и их автоматическая обработка, а также практически полное исключение «человеческого фактора», вплоть до достижения конечного результата работы.

С ростом научно-технического прогресса в геодезическом производстве и технического уровня строительства цилиндрических и купольных сооружений возникает необходимость разработки и совершенствования методик и

технологий измерений для проведения такого мониторинга, поскольку успешное решение этой задачи вносит важный вклад в обеспечение надежности, долговечности и безопасности эксплуатации этих сооружений. В связи с этим совершенствование технологии геодезических измерений для осуществления мониторинга инженерных сооружений является актуальной задачей.

Согласно СНиП РК 1.03-26-2004г. «Геодезические работы в строительстве» геодезические наблюдения должны проводиться за перемещениями и деформациями (осадками, сдвигами, кренами и т.д.) зданий и сооружений, их оснований и конструкций в процессе строительства и эксплуатации сооружения с учетом назначения и конструктивного решения зданий и сооружений, и инженерно-геологического строения основания.

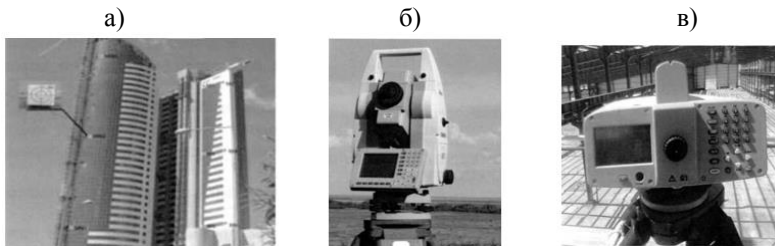
Состав геодезических работ для наблюдения за осадками включает:

- 1) создание главной высотной основы с закладкой реперов, устанавливаемых в местах неподверженных изменению во время строительства;
- 2) плановая и высотная привязка реперов к главной высотной основе;
- 3) закладка деформационных или осадочных марок в элементы конструкций сооружения;
- 4) геодезические измерения для определения высот осадочных марок. Эти измерения ведутся как при строительстве, так и при эксплуатации сооружения;
- 5) математическая обработка результатов геодезических наблюдений, то есть уравнивание с оценкой точности, вычисление высот осадочных марок в каждом цикле наблюдений, составление ведомостей и графиков осадок всех марок, определение средней осадки и прогнозирование осадок[2].

Кроме геодезических измерений, в состав работ по наблюдению за сдвигами, осадками и деформациями сооружений входят:

- геологические работы (по определению физико-механических свойств грунтов);
- гидрогеологические работы (по определению степени воздействия воды на бетон).

На контролируемых объектах закрепляли контрольные марки(рис.1,а), мониторинговые призмы и осадочные марки и др. Для проведения мониторинга и комплексной оценки состояния сооружений нами использовались современные высокоточные электронные приборы фирмы Leica Geosystems (Швейцария), такие как: высокоточный тахеометр серии TCR 1201 (рис.1,б) и цифровой высокоточный нивелир DNA03 (рис. 1,в), лазерный сканер Scanstation и специализированное программное обеспечение, позволяющее непосредственно производить компьютерную обработку данных[3].



**Рис. 1. Современные геодезические инструменты и приборы
а - марка на объекте, б - электронный тахеометр Leica TCR 1201,
в - лазерный нивелир DNA 03**

Высокоточное нивелирование II класса было выполнено цифровым нивелиром фирмы «Leica» серии DNA 03, который предназначен для измерения превышений и передачи высотных отметок. Цифровой лазерный нивелир DNA 03 автоматически корректирует любое перемещение лазерного пучка в пределах настройки и предупреждает об изменении его положения путем включения и выключения лазера.

При активной стадии деформаций здания использование предлагаемой методики позволяет оперативно (в течение одного дня) получить полную картину смещений и своевременно разработать мероприятия по обеспечению устойчивости зданий и сооружений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МНВО РК (Грант №14871828).

Список литературы

1. Пискунов М.Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений. - М.: Недра, 1980.
2. Nurpeissova M., Ormambekova A., Bek A. The Geodetic Monitoring of the Engineering Structures Stability Conditions. - Journal of Engineering and Applied Sciences, 2017. P. 9151-9163.
3. Нурпеисова М.Б., Ормамбекова А.Е., Бек А.А. Оценка технического состояния инженерных сооружений (монография). LAR LAMBERT Academic Publishing, Германия, 2015. 117 с.

УДК 622.83:622.016

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫБОРА ШАХТНОГО СТВОЛА ДЛЯ ОТКАЧКИ ВОДЫ ГЛУБИННЫМИ ПОГРУЖНЫМИ НАСОСАМИ

Антипенко А.В., Дрибан В.А., Хохлов Б.В.

РАНИМИ, г. Донецк, ДНР

Для обеспечения экологической безопасности в связи с приостановкой угледобычи и безаварийной работы соседних рентабельных шахт, на шахтах Донбасса создается сеть водоотливных комплексов (ВОК) с учетом оптимального

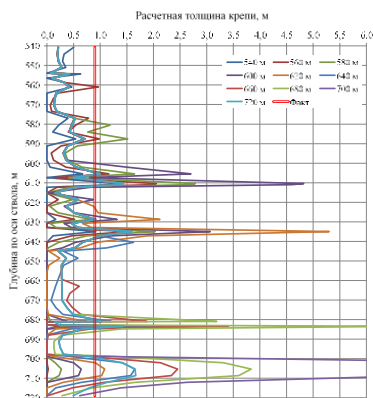
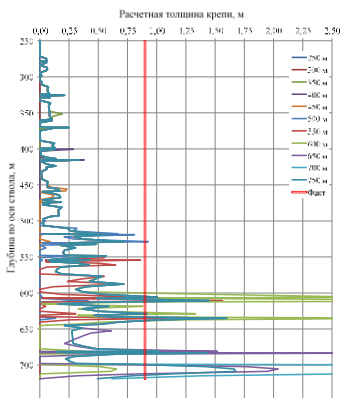
уровня затопления горных выработок. При этом, в качестве основного средства управления уровнями затопления, предполагается использование погружных насосов, располагаемых в вертикальных шахтных стволах. Устойчивая работа водоотливного комплекса в первую очередь связана с долговременной геомеханической устойчивостью шахтных стволов, доступ в которые в ряде случаев отсутствует. Таким образом, обоснование выбора ствола для использования его в составе ВОК с погружными насосами является достаточно ответственной, специфической и технически сложной задачей [1].

В процессе ее решения необходимо выполнить комплекс работ, включающий в себя:

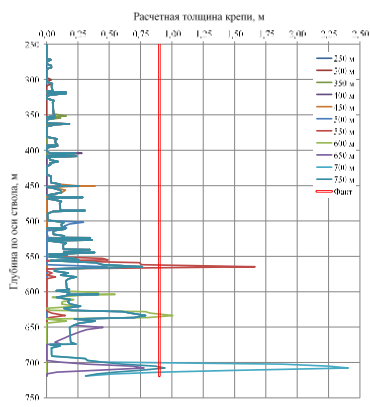
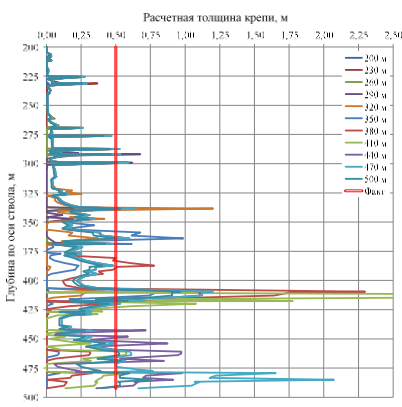
- анализ геологических и горнотехнических условий поддержания стволов, допускающих размещение погружных насосов;
- оценка напряженно-деформированного состояния околоствольного массива и крепи шахтных стволов;
- расчеты долговременной геомеханической устойчивости крепи стволов и проверка ее соответствия горно-геологическим и геомеханическим условиям, а также определение расчетной балльной оценки состояния крепи стволов;
- оценка взаимовлияния смежных стволов;
- обследование и определение фактического состояния крепи ствола с сопоставлением расчетных и фактических оценочных характеристик;
- моделирование затопления с оценкой влияния уровней затопления на геомеханическую устойчивость стволов;
- разработка мероприятия по обеспечению долговременной геомеханической устойчивости протяженной части ствола и сопряжений с горизонтальными выработками.
- разработка рекомендации по ликвидации стволов, не используемых для размещения в них погружных насосов.

Основным критерием при выборе ствола для размещения в нем погружных насосов являлось их фактическое состояние на момент ликвидации. Таким условиям наиболее соответствовали вентиляционный ствол шахты им. М. Горького, северный скиповой и южный клетевой стволы шахты № 11.

На основании проведенного детального анализа геологических, гидро-геологических и геомеханических условий поддержания вентиляционного ствола шахты им. М. Горького, северного скипового и южного клетевых стволов шахты № 11, выполненных расчетов напряженно-деформированного состояния массива горных пород и нагрузок на крепь, проведенного имитационного моделирования затопления (см. рис. 1-2), а также опыта прогноза устойчивости крепи вертикальных шахтных стволов в аналогичных геомеханических условиях, были разработаны рекомендации по обеспечению геомеханической устойчивости данных стволов, заключающиеся в следующем.



а) б) **Рис. 1. Графики результатов моделирования расчетной толщины крепи при затоплении северного скипового ствола шахты № 11: а) в интервале глубин 250-720 м, б) в интервале глубин 540-720 м**



а) б) **Рис. 2. Графики результатов моделирования расчетной толщины крепи при затоплении: а) вентиляционного ствола шахты им. М. Горького в интервале глубин 200-500 м, б) южного клетового ствола шахты № 11 в интервале глубин 250-720 м**

1. В соответствии с «Прогнозом развития гидрогеологической ситуации в техногенных горизонтах и на поверхности шахт...» по участку шахты им. М. Горького (ООО «Институт «ШАХТОПРОЕКТ» г. Санкт-Петербург 2016 г.), защитный водоотливный комплекс с погружными насосами должен обеспечивать поддержание уровня затопления шахты на отметке не выше минус 50 м, это критический (аварийный) уровень затопления.

2. Для каждого ствола в случае принятия решения по использованию его под погружные насосы разработаны рекомендации по дополнительным

конструктивным мерам усиления крепи (в случае необходимости), возведения упорных перемычек и т.д.

3. Разработаны требования по сооружению изолирующих перемычек и во избежание провалов на земной поверхности калориферный (запасной выход) и вентиляционный каналы необходимо заполнить закладочным материалом [2], [3].

4. Приняты решения о возможности ликвидации стволов, не используемых под погружные насосы без засыпки. Для этих условий разработана конструкция колпаков перекрытия и водоотливных канав.

5. Разработаны мероприятия при ликвидации неиспользуемых под погружные насосы стволов путем полной засыпки.

6. Указаны требования по обследованию состояния устьев стволов и мониторингу земной поверхности в постликвидационный период.

Список литературы

1. Дрибан В.А. Технология принятия решения по схемам ликвидации вертикальных стволов / В.А. Дрибан, С.В. Голдин // Наукові праці УкрНДМІ НАН України: зб. наук. пр. – Донецьк, 2009. - № 5 (I) – С. 477-489.

2. Отраслевая инструкция о порядке ликвидации и консервации предприятий по добыче угля (сланца) // Сборник нормативных материалов по маркшейдерскому и геологическому обеспечению горных работ в угольной отрасли России. – М.: ИПКОН РАН, 1998. – С. 453-471.

3. НПАОТ 10.0-1.01-16 Правила безопасности в угольных шахтах. – Опубликовано 20.05.2016 г., с изменениями, внесенными на основании Приказа Министерства угля и энергетики Донецкой Народной Республики, Государственного Комитета горного и технического надзора Донецкой Народной Республики от 07.07.2016 № 63/319, от 20.06.2017 № 157/291 – Донецк, 2016. – 217 с.

УДК 550.834:622.12

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Анциферов А.В., Глухов А.А.

РАНИМИ, г. Донецк, ДНР

Шахтная сейсморазведка является одним из самых эффективных методов опережающего прогноза геологических нарушений [1]. В то же время адаптированных программных средств для этой области практически нет. Одно из немногих исключений – разработанный в РАНИМИ ДНР программный комплекс обработки сейсмической информации [2]. В данной статье приведено краткое описание его возможностей.

Комплекс включает в себя модули предварительной обработки сейсмодатас, а также процедуры обработки полученных сейсмограмм и получения прогноза расположения аномалий в рамках конкретных методик.

В рамках первичной обработки производится оценка качества и отбраковка трасс, при необходимости меняется их полярность. Далее выполняется частотная фильтрация, подавление шумов согласованными (оптимальными) фильтрами, регулировка, восстановление амплитуд с целью исключения геометрического расхождения и поглощения.

В программном обеспечении реализованы как простые фильтры (фильтр высокой частот, фильтр низкой частоты, полосовой, режекторный), так и оптимальные, которые минимально искажают сигнал при подавлении шума. Реализованы процедуры формирующих фильтров, базирующихся на решении уравнения Колмогорова-Винера, фильтры отбеливания. Реализованы процедуры предсказывающих фильтров, которые позволяют вычислять последующие значения сигнала по предыдущим.

Выравнивание амплитуд по времени и по набору сейсотрасс выполняется набором процедур автоматической регулировки уровня (APУ) либо нормировкой к заданному уровню.

В программном комплексе реализованы графы обработки данных сейсморазведки по методу сейсмодосвечивания (МСП) [1], методам отраженных волн (МОВ) и сейсмической локации (МСЛ) [2], а также по методу дифрагированных волн (МДВ) [3].

Алгоритм обработки МСП представляет собой расчет распределения отклонений информативных параметров волнового поля в заданной плоскости от их фоновых значений [1]. Например, зоны тектонических нарушений и зоны трещиноватости прогнозируются по признаку понижения скорости распространения информативных волн, уменьшения их амплитуды (вплоть до их полного исчезновения), снижения частоты, увеличения ширины частотного спектра, увеличения длительности волновых пакетов. В областях утонений и размывов наряду с уменьшением амплитуды волновых пакетов наблюдается смещение частоты колебаний пакета каналовых волн в высоко-частотную область пропорционально изменению мощности пласта.

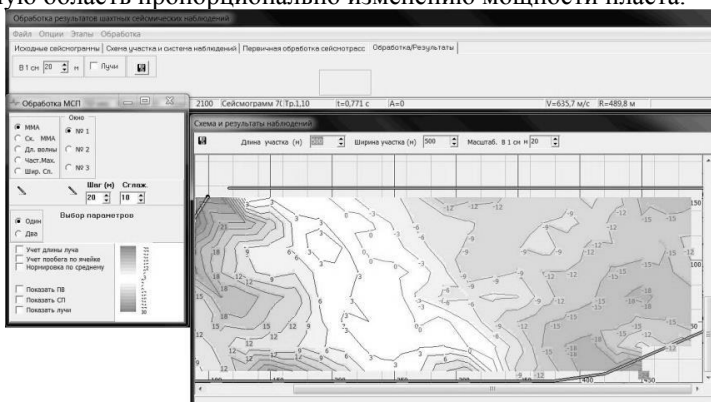


Рис. 1. Рабочее окно обработки МСП

Целью МОВ по схеме общей глубинной точки является получение изображения геологической среды в виде временного и глубинного разреза. В рамках графа обработки рассчитываются вертикальные спектры скоростей, кинематические поправки, путем суммирования трасс по ОГТ рассчитываются временные разрезы, которые трансформируются в глубинные с использованием скоростных законов.

На последнем этапе на разрезах выделяются отражающие границы и зоны дифракции. Критерием определения отражающих границ является наличие на разрезах осей синфазности с амплитудой волн, превышающей фон помех. Дифрагированные волны от локальных аномалий проявляются в форме характерных гипербола [1].

Граф обработки МОВ и МСЛ по методу эллипсов [1] представляет собой итерационный процесс выделения на сейсмозаписях осей синфазности по первым вступлениям предполагаемой информативной волны и построение (в автоматическом режиме) эллипсов с фокусами в местах расположения ПВ и СП. Большая ось эллипса равна произведению скорости распространения информативной волны на время её первого вступления. Критерием определения отражающих границ либо локальных аномалий является сближение либо пересечение эллипсов в зоне нарушения.

В основе графа обработки МСЛ по методу регулируемого направленного приема лежит одновременное суммирование сеймотрасс в соответствии с выбранным направлением поиска нарушений [1]. Отраженная от нарушения волна проявляется в синфазных колебаниях с максимальной амплитудой на суммотрассе, соответствующей азимутальному углу направления на нарушение.

Граф обработки МДВ включает обязательную нормировку сейсмических записей, получение сейсмических изображений зоны наблюдений на основе использования метода суммирования по гиперболам [3].

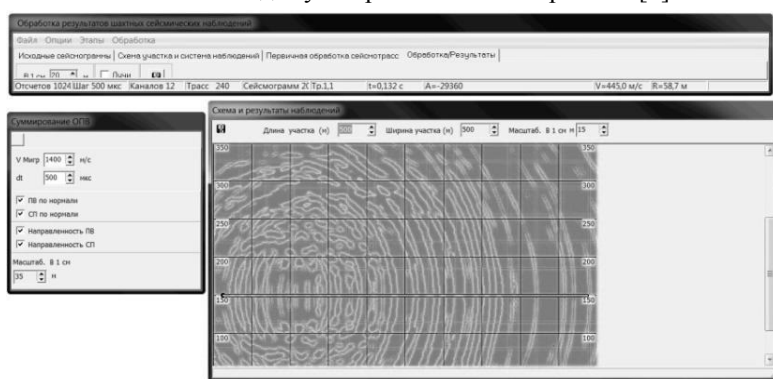


Рис. 2. Рабочее окно обработки МДВ

В зависимости от типа и взаимного расположения нарушения и профиля наблюдений, МДВ позволяет получить изображение нарушения в виде

характерных полос синфазности, которые либо располагаются по контуру протяженных нарушений, либо прерываются, претерпевают излом на локальных аномалиях.

Разработанное программное обеспечение, может быть использовано геофизическими службами и специализированными геологоразведочными организациями для обработки и анализа результатов сейсмических исследований при прогнозе структуры углепородного массива.

Список литературы

1. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки / А.В. Анциферов. – Донецк: ООО «Алан», 2002. – 312 с.
2. Анциферов А.В., Глухов А.А. Об автоматизации обработки сейсмических данных при прогнозе геологических нарушений угольных пластов методами отраженных волн и сейсмической локации [Текст] / А.В. Анциферов, А.А Глухов // Сб. научн. тр. РАНМИ, 2018. – Т. 1, № 21. – С. 99-106.
3. Глухов А.А. Об использовании миграции до суммирования при построении сейсмических изображений углепородных массивов методами пластовой сейсморазведки А.А. Глухов // Наукові праці УкрНДМІ НАН України: зб. наук. пр. – Донецьк, 2012. – № 14. – С. 209-216

УДК 622.023.23: 622.834

ЭМПИРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛИТЕЛЬНОГО ВОДОНАСЫЩЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД УГЛЕНОСНОГО МАССИВА ДОНБАССА

Борисенко Э.В., Гузеев О.А., Корвякова Н.П., Подрухин А.А.

ГБУ «ИФГП», г. Донецк, ДНР

Закрытие угольной шахты путем «мокрой консервации» подразумевает затопление ее выработанного пространства, приводящее к изменению физико-механических свойств вмещающих угленосный массив горных пород. Длительное водонасыщение горных пород может служить причиной сдвижения земной поверхности над выработанным подземным пространством [1]. Для более точной прогнозной оценки вероятности сдвижения земной поверхности над выработанным пространством угольной шахты, подлежащей мокрой консервации, необходим анализ деформационного поведения горных пород в ходе длительного водонасыщения. Изучение в натуральных условиях геомеханических процессов происходящих в угленосном массиве, насыщающимся водой, часто оказывается абсолютно невозможным или весьма затруднительным. Наиболее приемлемым методом изучения деформационного поведения горных пород угленосного массива при их водонасыщении является моделирование условий поглощения шахтной воды соответствующими образцами горных пород.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований процесса длительного насыщения шахтной водой образцов песчаника, сланца песчаного и сланца глинистого при атмосферном давлении. Несмотря

на то, что образцы указанных горных пород Донбасса существенно различаются между собой внутренней структурой и емкостными свойствами, найдены некоторые общие закономерности водопоглощения горных пород, слагающих угленосный массив.

В экспериментах устанавливались параметры водопоглощения 34 образцов горных пород, сухая масса и начальный объем которых изменялись в диапазонах от 133,2 до 324,9 г и от 47,7 до 121,0 см³, соответственно. Образцы цилиндрической формы изготавливались из кусковых породных материалов, отобранных непосредственно из угленосного массива. Для водонасыщения горных пород использовалась шахтная вода. Масса и объем насыщенных водой образцов горных пород находились в пределах от 134,0 до 326,6 г и от 48,3 до 123,0 см³, соответственно.

Водонасыщение образцов горных пород осуществлялось путем полного погружения их в шахтную воду. Максимальная продолжительность водонасыщения образцов составила 62 дня. Время окончания процесса водонасыщения для каждого образца горной породы определялось индивидуально. Как правило, критерием завершения испытаний конкретного образца, служило отсутствие приращения его массы и объема в пяти последовательных измерениях. Мониторинг приращения массы и объема каждого образца горной породы выполнялся в течение всего периода водонасыщения. Интервал между установлениями указанных параметров увеличивался постепенно от 30 мин до 1 часа в первый день экспериментальных исследований до 24 часов, начиная со второго дня водонасыщения, и до 120 часов, начиная с пятидесятого дня погружения образцов в шахтную воду.

На рис. 1 показаны усредненные по литологическим разновидностям графики относительных приращений массы образцов песчаника, сланца песчаного и сланца глинистого, соответственно, за период их водонасыщения. При водонасыщении процесс приращения массы образцов пород всех литотипов носит экспоненциальный характер. Наибольшим «условно мгновенным» водопоглощением (за первый час водонасыщения) характеризуются песчаники, а наименьшим – сланец глинистый.

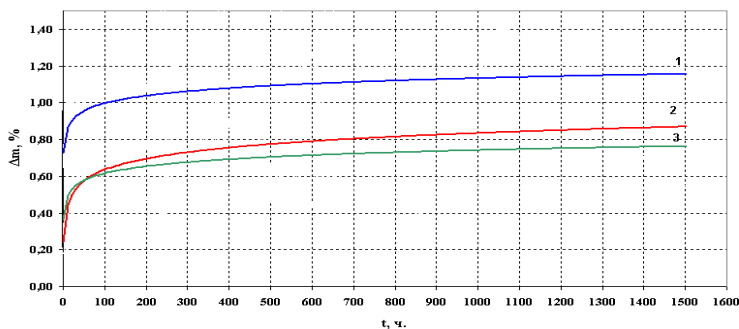


Рис. 1. Графики приращения массы образцов горных пород в период водонасыщения (1 - песчаник, 2 - сланец глинистый, 3 - сланец песчаный)

Так как кавернозность в изучаемых образцах отсутствует, то по кинетике начального периода водонасыщения, характеризующегося весьма интенсивным водопоглощением, можно формировать первичные представления о наличии в горных породах угленосного массива различных трещин, включая микротрещины, образующиеся при адсорбции воды (эффект Ребиндера) [2], а также о наличии крупных пор.

По кинетике последующего периода, отличающегося заполнением водой средних и мелких пор, можно формировать первичные представления об открытой пористости образцов изучаемых горных пород. В этот период, отличающийся приращением массы за счет заполнения все более мелких пор, интенсивность водопоглощения образцов существенно снижается, о чем свидетельствуют выполаживания кривых водопоглощения.

В ходе экспериментальных исследований было подтверждено, что при свободном водонасыщении процесс приращения массы изучаемых образцов горных пород Донбасса может быть описан следующей формулой [3]:

$$m_i = A + m_0 [1 - \exp(-Bt)],$$

где m_i – весовое водонасыщение образца горной породы в текущий момент времени;

A – условно-мгновенное весовое водонасыщение;

m_0 – предельное водонасыщение образца;

B – параметр, характеризующий интенсивность заполнения пор;

t – период свободного водонасыщения.

Кроме того, установлено, что наибольшему среднему приращению массы в процессе водонасыщения подвержены образцы песчаника, а наименьшие изменения указанного параметра наблюдались у образцов сланца песчаного. Отметим также, что в ходе процесса водонасыщения наиболее интенсивный прирост массы образцов всех литотипов наблюдался в первые четверо суток, а по истечению тридцати восьми суток водонасыщения увеличение массы исследуемых образцов практически не наблюдалось.

На рис. 2 показаны усредненные по литологическим разновидностям графики относительных приращений объема образцов песчаника, сланца песчаного и сланца глинистого, соответственно, за период их водонасыщения. Приращение объема образцов пород в период их водонасыщения также носит, главным образом, экспоненциальный характер. Вместе с тем, динамика изменений объема образцов сланца песчаного и сланца глинистого представляется несколько более сложной и обусловленной набуханием глинистых частиц.

Заметим, что приращение объема образцов сланца глинистого возникает в процессе водонасыщения преимущественно за счет увеличения высоты цилиндрических образцов, а прирост объема образцов сланца песчаного происходил как за счет увеличения высоты, так и диаметра цилиндра образца. Приращение объема образцов песчаника происходило при их выдерживании

в шахтной воде главным образом за счет увеличения диаметра цилиндра указанных образцов.

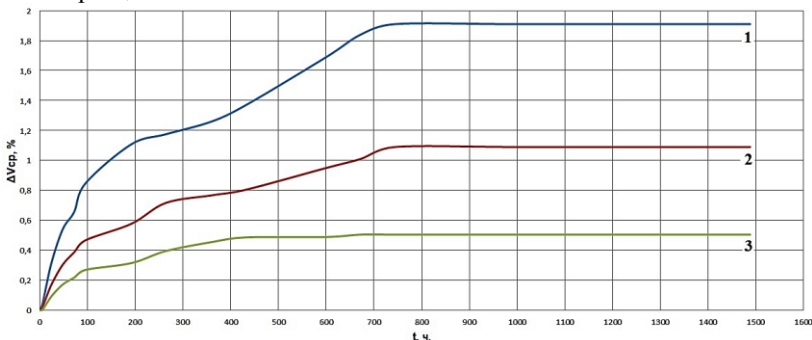


Рис. 2. Графики приращения объема образцов горных пород в период водонасыщения (1 – сланец глинистый, 2 – сланец песчаный, 3 – песчаник)

В ходе процесса водонасыщения наиболее интенсивное приращение объема образцов всех литотипов наблюдалось в первые четверо суток, а по истечению пятидесяти суток водонасыщения увеличение объема исследуемых образцов практически не наблюдалось. При этом наибольшее приращение объема в процессе водонасыщения зафиксировано у образцов сланца глинистого, а наименьшие изменения указанного параметра наблюдались у образцов песчаника.

На основании мониторинга изменения объема изучаемых образцов песчаника, можно предположить, что величина приращения объема каждого образца, прошедшего процесс водонасыщения, связана с характером распределения глинистости в соответствующей горной породе. Так, при рассеянном характере распределения глинистости в песчанике глинистые частицы существенно разобщены. Это обуславливает ограничение степени набухаемости глинистых частиц размерами пор матричной части скелета песчаника. У сланца глинистого и сланца песчаного тип распределения глинистости совершенно иной (скелетный или слоистый), т.е. глинистые частицы не разобщены или разобщены незначительно. Поэтому у сланца глинистого и сланца песчаного способность к набуханию глинистых частиц в ходе водонасыщения определяется главным образом атмосферным давлением, а не размером пор.

Анализ по литологическим разновидностям динамики приращений массы и объема образцов горных пород в ходе их длительного водонасыщения позволяет установить также следующее:

а) приращение массы образцов песчаника завершается через 5-38 дней от начала погружения их в шахтную воду, а увеличение их объема прекращается через 18-22 дня от начала процесса водонасыщения;

б) приращение массы образцов сланца песчаного завершается через 10-30 дней от начала погружения их в шахтную воду, а увеличение их объема прекращается через 22-44 дня от начала процесса водонасыщения;

в) приращение массы образцов сланца глинистого завершается через 12-27 дней от начала погружения их в шахтную воду, а увеличение их объема прекращается через 20-50 дней от начала процесса водонасыщения.

Иными словами, в ходе водонасыщения длительность периодов приращения массы образцов песчаника изменяется в наиболее широких пределах, а длительность периодов приращения их объема – в самых узких пределах. В процессе водонасыщения длительность периодов приращения массы образцов сланца глинистого изменяется в самых узких пределах, а длительность периодов приращения их объема – в наиболее широких пределах. Диапазоны изменения длительности соответствующих периодов приращения массы и объема образцов сланца песчаного находятся в пределах средних показателей по изучаемой группе образцов горных пород.

Таким образом, полученные после обработки экспериментальных данных эмпирические характеристики длительного водонасыщения образцов горных пород угленосного массива могут быть использованы при выполнении прогнозных оценок состояния горного массива, нарушенного при добыче угля и подвергающегося воздействию шахтной воды. Использование установленных закономерностей процесса водопоглощения образцов горных пород различного литотипа для прогнозирования приращений мощности и деформационного поведения породных слоев горного массива обосновывается тем, что изучаемые песчаники, сланцы песчаные и сланцы глинистые представляют собой естественные агрегаты достаточно постоянного состава и строения, сформировавшиеся в результате геологических процессов и залегающие в земной коре в виде самостоятельных литологических разновидностей. При этом о физико-механических свойствах горных пород, находящихся в водонасыщаемом массиве, можно судить по эмпирическим характеристикам длительного водонасыщения соответствующих образцов.

Длительное воздействие шахтной воды на горные породы угленосного массива можно рассматривать как сложный процесс их акватрансформации, поскольку шахтная вода способна не только заполнять трещины и поры горных пород, но и изменять их структуру и состав. При оценке вероятности сдвижения земной поверхности над выработанным пространством шахты, подлежащей мокрой консервации, необходимо принимать во внимание емкостные и прочностные характеристики водонасыщенных горных пород.

Дальнейшие исследования водопоглощения горных пород угленосного массива и изменения их физико-механических свойств в ходе длительного водонасыщения должны включать установление закономерностей изменения объемной плотности соответствующих образцов, а также установление закономерностей изменения деформационного поведения таких водонасыщенных образцов при их сжатии и растяжении. Выявленные в ходе таких исследований необычные свойства отдельных водонасыщенных горных пород могут быть востребованы и в рамках комплексного освоения угольных месторождений Донбасса.

Список литературы

1. Гавриленко Ю.Н. Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины [Текст] / Ю.Н. Гавриленко, В.Н., Ермаков, Ю.Ф. Кренида, О.А. Улицкий, В. А. Дрибан – Донецк: Норд пресс, 2004. – 632 с.
2. Rebinder P.A., Likhtman V. Effect of surface-active media on strain and rupture in soils // Proceedings of 2nd International Conference on Surface Activity, 1957. P. 563-580.
3. Старостин В.И. Структура порового пространства и динамика насыщения рудоносных пород колчеданных и полиметаллических месторождений // Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений / Под ред. В.И. Смирнова М.: Наука, 1973. С. 126-139.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ АНАЛИЗА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Брухавецкая А.О.¹, Добрынин И.А.²

¹ НИТУ МИСИС, ²АО «Орика СиАйЭс», г. Москва

Анализ гранулометрического состава взорванной горной массы является одним из основополагающих критериев, согласно которому производится оценка результатов проведенных буровзрывных работ. В связи с этим при выборе системы анализа фрагментации раздробленной массы основываются на следующих критериях: корректная трактовка данных фрагментации, информативность полученных результатов, скорость обработки данных и т.д. Поэтому важно, чтобы система соответствовала всем вышеперечисленным требованиям.

На данный момент на большинстве российских горнодобывающих предприятиях внедрены различные системы анализа гранулометрического состава иностранного производства. При сложившейся на сегодняшний день сложной геополитической ситуации, использование программного обеспечения зарубежного происхождения, усложняется различными факторами, например такими как: сложность обеспечения сервисной, лицензионной поддержки, приостановка деятельности иностранных компаний, поставляемых данные системы, ограничение поставки оборудования и т.д.

Поэтому необходимость в поиске импортозамещающих аналогов систем оценки качества гранулометрического состава взорванной горной массы, является острой проблемой для многих российских горнодобывающих предприятий.

Исходя из вышесказанного, целью исследования является предложение комплекса рекомендательных мер, которые позволят частично или полностью перейти с программ, осуществляющих анализ фрагментации иностранного происхождения на российские аналоги.

Задача данного исследования состоит в следующем: осуществить обзор существующих систем оценки качества фрагментации, произвести анализ

состояния систем в России и за рубежом, оценить перспективы развития разработок отечественных систем анализа гранулометрического состава.

При проведении обзора существующих способов оценки гранулометрического состава в России и за рубежом, позволит выявить наиболее прогрессивные системы оценки гранулометрического состава, оценить их преимущество и недостатки исходя из опыта использования на других предприятиях. Это будет способствовать получению дополнительной информации путем заимствования опыта работ с такими системами, при этом, не затрачивая дополнительных финансовых вложений, и с помощью которых появится возможность произвести анализ, например, определив для каких предельных размеров крупности кусков породы это применимо, какие необходимы условия съемки развала горной породы (если речь идет о фото или видеофиксации), необходимый уровень подготовки персонала и затрачиваемые ресурсы (прилагаемые усилия при работе, время проведения работ, обработка результатов), и т.д.

В результате произведенной оценки состояния и перспектив развития современных систем оценки качества взорванной горной массы в России, будет сформирована актуальная картина происходящего на рынке горнодобывающих предприятий, тем самым это позволит оценить возможность осуществления импортозамещения, касательно применения разработок отечественного производства и производства стран СНГ. Тем самым это позволит обеспечить непрерывную оценку качества взорванной горной массы, что позволит отслеживать качества производимых буровзрывных работ.

УДК 622.236:539.375

ВЛИЯНИЕ МЕТАНОНАСЫЩЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД НА ПОВЕДЕНИЕ ИХ В ОБЪЕМНОМ ПОЛЕ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Рева В.Н., Васютина В.В.

РАНИМИ, г. Донецк, ДНР

Наличие пор и трещин в горных породах предопределяет возможность заполнения их различными жидкостями и газами, которые оказывают физико-химические и чисто механические воздействия на физико-механические свойства пород.

В процессе закрытия старых, нерентабельных шахт предусмотрена их мокрая консервация. При водонасыщении нарушенного горного массива молекулы метана в виду их большей подвижности будут вытесняться водой, что приведет к дополнительному газонасыщению верхних слоев горных пород.

Поэтому наряду с экологическими вопросами все большую актуальность приобретает оценка влияния метаносыщения горных пород на деформирование и разрушение их в условиях объемного неравнокомпонентного нагружения, а следовательно и на процессы сдвижения земной поверхности.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния газонасыщения метаном на деформирование и разрушение песчаников и углей при объемном неравнокомпонентном сжатии.

В процессе экспериментов использовались методики разрушения и установка трехосного неравнокомпонентного сжатия (УНТС) [1].

Исследования влияния газонасыщения на эффективную поверхностную энергию (ЭПЭ) позволили установить следующее. При насыщении метаном песчаников с карбонатным цементом изменения ЭПЭ незначительны, а время насыщения составляет 5-6 часов. Для песчаников с силикатным цементом метанонасыщение уменьшает ЭПЭ до 4 раз, т.е. сопротивляемость (трещиностойкость) породы развитию в ней трещин снижается очень существенно, а газонасыщение происходит через 10-12 часов.

В случае отсутствия воды в песчанике метан существенно уменьшает его ЭПЭ, но не так сильно как вода. При совместном воздействии вода, в силу большей энергии сорбции по сравнению с метаном, изолирует внутреннюю поверхность породы, поэтому основная масса метана находится в свободном состоянии [1].

Из экспериментальных исследований газонасыщенных песчаников в объемном неравнокомпонентном поле сжимающих напряжений установлено, что метанонасыщение увеличивает упругие свойства песчаников, инициирует развитие трещин по всему объему, а разрушение носит динамический характер.

Экспериментальные исследования влияния газонасыщения на деформирование и разрушение углей в условиях объемного неравнокомпонентного нагружения проводились на установке УНТС. В основном испытывались образцы угля марок К, которые по специальной методике [2] насыщались метаном и затем испытывались до разрушения по программам нагружения, моделирующих разные виды напряженного состояния согласно параметра Лоде-Надан [3].

Моделировалось пять видов напряженного состояния – обобщенное сжатие ($\mu_\sigma = -1$), между обобщенным сжатием и сдвигом ($\mu_\sigma = -0,5$), обобщенный сдвиг ($\mu_\sigma = 0$), между обобщенным сдвигом и растяжением ($\mu_\sigma = 0,5$) и обобщенное растяжение ($\mu_\sigma = 1$). При этом $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3 \geq 0$, где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - главные напряжения. Виды деформационного состояния рассчитывались в процессе эксперимента.

Согласно [4, 5] виды напряженного состояния соответствуют трем характерным участкам угольного пласта различного объемного нагружения и различного механического состояния. Экспериментальные исследования позволили установить следующие закономерности.

При $-1 \leq \mu_\sigma \leq -0,5$ (в зоне нетронутого массива) влияние газонасыщения незначительно, а при $-0,5 \leq \mu_\sigma \leq 1$ (в зоне предельного состояния) Е-модуль деформации увеличивается - уголь становится более жестким.

Тенденция к увеличению упругих характеристик угля при метаносыщении отмечается и на зависимости коэффициента деформации ν от вида напряженного состояния μ_σ . Почти одинаковое уменьшение ν как в нетронутой части пласта так и в зоне предельного состояния.

Как для исходного, так и для газонасыщенного углей не наблюдается соответствие между видами напряженного и деформационного состояния $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.

Из зависимости изменения полной энергии деформирования A от вида напряженного состояния μ_σ в момент разрушения угля следует, что на разрушение газонасыщенного угля необходимо потратить больше энергии чем исходного. Связано это прежде всего с тем, что метаносыщение инициирует трещинообразование по всему объему угольного образца а это, в свою очередь приводит к увеличению количества фильтрационных каналов для транспортировки флюидов. В угольном пласте влияние метаносыщения на энергию деформирования угля незначительно только в зоне нетронутого массива и на кромке забоя.

Таким образом метаносыщение существенно влияет на деформирование и разрушение песчаников и углей в условиях объемного нагружения, а следовательно, и на процессы сдвижения земной поверхности.

Выводы.

Метаносыщение существенно уменьшает эффективную поверхностную энергию (трещиностойкость) песчаников, в условиях объемного нагружения увеличивает их упругие свойства и приводит к взрывоподобному разрушению.

При насыщении метаном угля, находящегося в условиях объемного неравнокомпонентного сжатия, увеличивается его упругие характеристики, интенсифицируется трещинообразование по всему объему образца, что в итоге значительно увеличивает его фильтрационные свойства, разрушение носит динамический характер.

Список литературы

1. Алексеев А.Д. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений [Текст] / А.Д. Алексеев, В.Н. Ревва, Н.А. Рязанцев – Киев: Наукова думка, 1989. – 168 с.
2. Ревва В.Н. Деформирование и разрушение газонасыщенного угля при разных видах напряженного состояния [Текст] / В.Н. Ревва, В.В. Завражин, А.В. Молодецкий, Д.С. Кодберг // Вести Донецкого горного института.- Донецк.- 2011. - №1. – С. 66-70.
3. Ревва В.Н. Изменение физико-механических свойств горных пород при водонасыщении в условиях объемного нагружения [Текст] / В.Н. Ревва // Наукові праці УкрНДМІ НАН України - № 12.- Донецк. 2013. – С.179-189.
4. Докукин А.В. Моделирование предельно напряженного состояния угольных пластов [Текст] / А. В. Докукин, С.Е. Чирков, Б.К. Норель – М.: Наука, 1981. - 152 с.

5. Норель Б.К. Изменение прочности угольного пласта в массиве [Текст] / Б.К. Норель. - М.: Наука, 1983. - 128 с.

УДК 622.831

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВЫРАБОТКАХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ВЫЕМОЧНОМУ СТОЛБУ

**Демин В.Ф., Алиев С.Б., Баймульдин М.М.,
Танекеева Г.Д., Демина Т.В.**

*Карагандинский технический университет
имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан*

Проблема охраны и поддержания выемочных выработок на большой глубине в Карагандинском бассейне является достаточно актуальной в общей структуре процессов при существующей технологии добычи угля. Основная цель системы крепления – мобилизация и сохранение свойственной данному массиву прочности с тем, чтобы он становился самоподдерживающим.

Углубление горных работ ухудшило состояние пластовых выемочных выработок, 15–25% которых ежегодно ремонтируется. Причем трудоемкость поддержания выработок резко растет с глубиной разработки (с 500 до 800 м – с 550 до 2000 чел./смен на 1 км).

Опорное давление от очистных работ распространяется на значительных расстояниях впереди забоя (10–50 м) и на краевых областях (до 15-20 м), где располагаются выемочные выработки. Постоянно влиянию очистных работ подвергаются 25-45% общей протяженности подготовительных выработок.

Преимущественно применяемая на шахтах Карагандинского бассейна арочная трехзвенная крепь с несущей способностью в податливом режиме 140-220 кН и в жестком - 260-350 кН и податливости 0,3 м не всегда является достаточной для сохранения выработок в пригодном для эксплуатации состоянии, что требует дополнительно применения жестких и податливых стоек, загромождающих выработки и увеличивающих стоимость их поддержания, рамно-анкерной крепи в условиях значительных расслоений, смещений пород и динамических проявлений опорного давления, для снижения нагрузки по совместной их работе с приконтурным массивом.

В отличие от рамной крепи анкерная крепь может возводиться предварительно напряженной, поэтому сразу после возведения крепи повышается сцепление по плоскостям напластования пород или их трещинам. Анкерная система крепит породу, сохраняя ограничение движения кровли и позволяя горизонтальному напряжению удерживать кровлю на месте, не давая ей выпадать.

При использовании сталеполлимерных анкеров с закреплением по всей длине шпура увеличивается агрегатная прочность массива (приближенная к

прочности нетронутого массива), и создается несущая балка. Анкер с полимерным составом оказывает высокое сопротивление сдвигениям пород в самой начальной стадии, т.е. в тот момент, когда на деформирование приконтурного массива ещё можно повлиять. Рамная же крепь устанавливается без тампонажа закрепного пространства.

Существенным горнотехническим фактором, улучшающим состояние выработки, является несущая способность крепи. Как правило, на шахтах бассейна применяемая арочная металлическая крепь из спецпрофиля устанавливается через 1,0–0,5 м (редко через 0,25 м), что обеспечивает отпор от 20 до 50–70 кН/м². Как показывает практика, такой реакции крепи совершенно недостаточно для эффективного поддержания выработок с ростом глубины разработки. Поэтому на шахтах применяется дополнительное усиление крепления выемочных выработок в зоне влияния очистных работ из крепи УКР под продольные профили, гидростоек или стоек трения, что увеличивает стоимость и трудоемкость поддержания.

Применение же сталеполимерных анкеров обеспечивает устойчивость выработки за счет упрочнения в пределах свода слоистых пород кровли и механической связи контура выработки с частью приконтурного слоя вмещающего массива. Постоянно влиянию очистных работ подвергаются 25–45% общей протяженности подготовительных выработок. На шахтах Карагандинского бассейна кратность перекрепления выемочных выработок достигает величины 2, 3 и даже 4, при этом 15–25% их ежегодно ремонтируется.

Анкерная крепь, работая на растяжение, удерживают анкеруемые породы от расслоения, сдвигения и разрушения. В породах со слоистой структурой слои неустойчиво непосредственной кровли либо прикрепляются (подшиваются) анкерами к устойчивой основной кровли, либо отдельные слои пород анкерами скрепляются в одну монолитную плиту, которая способна воспринимать нагрузку от вышележащих горных пород. В породах с неслоистой структурой анкеры, закрепленные за пределами свода естественного обрушения, противостоят растягивающим усилиям в породах свода [1–3].

Для оценки нагрузочных характеристик анкерного крепления горных выработок в условиях шахты им. Кузембаева Карагандинского угольного бассейна при подготовке лавы 11к7-з, на протяжении 288 м исследован конвейерный штрек, закрепленный анкерной крепью. Крепление выработки производилось путем установки анкеров диаметром 22 мм, длиной 1,8 м по 5 штук в ряд, с расстоянием между рядами 0,7 м.

Для определения функциональных возможностей различных видов крепи проведены сравнительные исследования для установления характера проявления горного давления при анкерной, комбинированной и рамной крепях горных выработок и выявления работоспособности анкерной крепи.

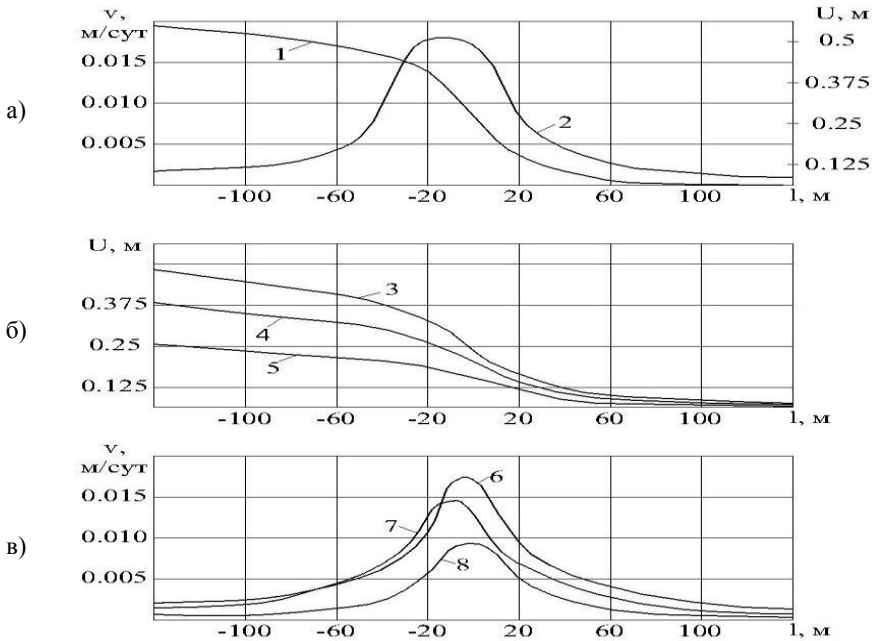


Рис. 1. Деформация контуров подготовительной выработки в зависимости от расстояния до очистного забоя

- а) – 1 и 2 – сближение (U) и интенсивность деформации (V) пород кровли и почвы; б) – 3, 4 и 5 – опускание кровли, сближение боков и пучение почвы; в) – 6, 7 и 8 – скорость деформации кровли, боков и почвы**

Проведенные сравнительные исследования проявлений горного давления в выемочных выработках с различными видами крепления позволили установить характер их эксплуатационной работоспособности. При этом деформации выработок, комбинированной анкерно-рамной крепью, меньше в 4-5 раз, чем при металлорамной крепи.

Список литературы

1. Мартыненко И.И., Солуянов Н.О., Верещагин В.С. Аналитическое представление напряженного состояния массива в окрестности горной выработки с учетом срезающих усилий в анкерах// Перспективы развития Восточного Донбасса. Часть 1: сб. научных трудов /Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ – Новочеркасск, 2007. – С. 44–48.
2. Парчевский Л.Я., Шашенко А.Н. «О размерах области пластических деформаций вокруг выработок // Изв. ВУЗов. Горный журнал. №3, 1998.– С. 39-42.
3. Цай Б.Н., Бондаренко Т.Т., Бахтыбаев Н.Б. О дилатансии горных пород, Вестник КазНТУ, № 5.2008. – С. 45–50.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ С ВЫСОКОЙ СМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Демин В.Ф., Алиев С.Б., Баймульдин М.М., Танекеева Г.Д.,
Демина Т.В., Никонова Т.Ю.

*Карагандинский технический университет
имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан*

Развитие угольной промышленности за последние годы характеризуется значительным ростом эффективности производства, сопровождающимся существенным усложнением условий труда и повышением уровня техники безопасности горных работ. Совершенствование технологии производственных процессов позволили во многих экстремальных случаях вывести людей из опасных мест и тем самым снизить производственный травматизм. Предупреждение травматизма и создание комфортных условий труда заняли определяющее положение в технологии добычи угля.

Несмотря на значительный рост уровня механизации производственных процессов, угольная промышленность остается одной из наиболее трудоемких отраслей.

Несоответствие технологических параметров применяемого оборудования условиям эксплуатации и труда по санитарно – гигиеническим нормативам предопределяет еще достаточно высокий уровень травмоопасности и профессиональной заболеваемости на горных работах. Выемка угля в очистных забоях характеризуется непрерывным перемещением фронта работ, чем в значительной степени предопределяется сложность в обеспечении безопасности занятых на производстве рабочих. Поэтому для создания безопасных условий труда необходимо учитывать все опасные и вредные производственные факторы, присущие очистной выемке угля.

Достаточно высокий уровень производственного травматизма и имеющих место аварий обусловлен отсутствием эффективно действующей системы обеспечения безопасности процессов очистной выемки и комплексного анализа факторов и причин, приводящих к созданию травмоопасных ситуаций и аварий, параметров оценки уровня безопасности, а также - прогрессивных технологических мер по обеспечению эффективности функционирования подсистемы «очистные работы».

Таким образом, проведение исследований по установлению основных влияющих факторов, разработке комплексных параметров оценки и совершенствованию технологических решений по обеспечению безопасности разработки угольных пластов является актуальной задачей повышения безопасности и эффективности очистных работ.

Основными требованиями, предъявляемыми к технологии выемки угольных пластов, являются концентрация и интенсификация горных работ,

обеспечение наиболее благоприятных условий для максимального использования возможностей современных средств комплексной механизации с повышением уровня безопасности работ и условий труда работающих.

На шахтах Карагандинского угольного бассейна взят курс на техническое перевооружение основных технологических процессов: добычи угля, проведения горных выработок, шахтного транспорта и мониторинг основных параметров безопасности работы шахт.

С целью повышения нагрузки на очистной забой, коэффициента использования машинного времени планируется довести длину лав до 250-270 м. Частый переход из одной лавы в другую резко снижает эффективность работы шахты в целом. Кроме того, монтаж - демонтаж механизированных комплексов и прочего оборудования требует больших материальных и трудовых затрат.

Условия ведения горных работ на шахтах отрабатывающих угольные пласты Карагандинского бассейна, являются одними из самых сложных среди угольных предприятий, ведущих добычу подземным способом на территории стран СНГ, из – за увеличения глубины разработки, величины горного давления, газоносности и выбросоопасности пластов, повышенной изменчивости угла падения и мощности пласта, интенсивной тектонической нарушенности, слабых пород почвы, наличия неустойчивых и трудноуправляемых пород кровли, роста уровня механизации основных производственных процессов и т.д.

Значительного увеличения производства по добыче угля и резкого повышения производительности труда можно достичь, как показывает мировой опыт, только за счет создания высокопроизводительных очистных забоев, совершенствования технологических схем и применения оптимальных параметров выемочных и шахтных полей [1, 2]. Проблеме травматизма также всегда уделялось должное внимание.

Безопасность технологических процессов при ведении очистных работ. Очистные работы представляют собой комплекс процессов и операций, происходящих в лаве и на прилегающих выработках: основных: выемка полезного ископаемого, дробление его, погрузка и транспортировка его, передвижка забойного конвейера, крепление очистного забоя, управление горным давлением, устройство ниш, мероприятий по снижению пылеобразования и газовыделения; вспомогательных: доставка материалов и оборудования, ремонтные работы.

В Карагандинском бассейне применяются столбовые системы разработки с предварительным проведением подготовительных выработок со следующими схемами проветривания выемочных участков:

- прямая с подачей подсвежающей струи и выдачей исходящей струи воздуха по поддерживаемой части конвейерной выработки;
- возвраточная схема проветривания с полевыми и пластовыми дренажными штреками с интенсивным газоотсосом продуктов метановыделения.

На шахтах Карагандинского угольного бассейна в очистных забоях для выемки угля применяются узкозахватные комбайны: SL-300 и SL-500 (фирмы «Eickhoff», Германия), а также струг скользящего типа «Гляйтхобель» фирмы DBT (Германия). Для выполнения процессов крепления и управления кровлей применяются гидрофицированные механизированные крепи «Глиник». Для доставки отбитого угля вдоль очистного забоя используются изгибающиеся забойные скребковые конвейеры, скребковые надвижные перегружатели с дробилками.

Угольные пласты характеризуются высокой метанообильностью (в среднем 20-25 м³/т), многие из них склонны к самовозгоранию (55% шахтопластов). Шахты опасны по взрывам угольной пыли и газа метана, а также по внезапным выбросам угля и газа (65% шахтопластов).

Основными неблагоприятными факторами при очистных работах являются: повышенный уровень шума и вибраций, запыленность воздушной среды.

Исследование уровня безопасности производственных процессов на шахтах Карагандинского угольного бассейна. Причины производственного травматизма достаточно многочисленны. Для их сравнительной оценки их можно сгруппировать их по следующим факторам: организационные, технологические и причины горно - геологического характера.

Наибольшее число несчастных случаев происходит по организационным причинам – 70,5%. Значительный удельный вес среди причин организационного характера и по личностным причинам: нарушение пострадавшими правил безопасности ведения работ – 45,2%, нарушение установленного порядка ведения работ – 15,2%, неудовлетворительная организация технологического процесса – 10,1% (таблица 1).

Таблица 1

Факторы, влияющие на производственный травматизм

Факторы	Степень влияния причин, %
1. Организационные причины, всего	70,5
в том числе:	
- нарушение пострадавшими правил безопасности ведения работ	45,2
- нарушение установленного порядка ведения работ	15,2
- неудовлетворительная организация технологического процесса	10,1
2. Технологические причины, всего	25,4
в том числе:	
- низкий уровень механизации на сопряжениях лавы	7,4
- несовершенство технологии	15,1
- неисправность оборудования	2,9
3. Причины горно-геологического характера	4,1
Всего несчастных случаев	100

Второе место среди факторов производственного травматизма занимают технологические причины – 25,4%. Среди них особо выделяется: несовершенство технологии – 15,1%, а также нарушения при эксплуатации крепи – 7,4%. Неисправность оборудования влияет в меньшей степени.

На третьем месте причины горно-геологического характера – 4,1% и влияние их на производственный травматизм не столь существенно.

Наиболее травмоопасные места в очистных забоях являются: конвейерная выработка – 30 случаев (24,8%), вентиляционная выработка – 27 случаев (22,3%) и непосредственно лава - 61 случай (50,4%), то есть половина несчастных случаев из общего числа в очистном забое приходится на собственно лаву.

Наиболее травмоопасными частями лавы являются: ее верхняя часть включая 20 м от вентиляционного штрека – 27 случаев (22,3% от всех травм, произошедших в лаве); средняя часть лавы – 23 случая (19%); сопряжение лавы с конвейерной примыкающей выработкой– 6 случаев (4,96%). На остальные части лавы приходится незначительная часть от всех несчастных случаев – 5,8%.

Наиболее травмоопасными работами в лаве являются: управление механизированной крепью и ее ремонт - 18,6%; управление угольным комбайном и подготовка его к работе - 10,4%; передвижение по лаве - 6,1%.

«Деревья событий», приводящих к созданию травмоопасных ситуаций в лавах и на их сопряжениях, представлены в таблицах 2 и 3.

До настоящего времени не производилось определение влияния горно-геологических, горно-технических, технологических и экономических факторов на безопасность ведения горных работ, особенно при высокопроизводительной отработке угольных пластов [1-3].

Установлены влияние горно-геологических, горно-технических, организационных и организационных факторов на безопасность разработки угольных пластов является повышение безопасности очистных работ в лавах с высокой сменной нагрузкой на основе оптимизации параметров их эксплуатации с учетом комплекса значимых влияющих факторов на базе имитационного моделирования производственных процессов в подсистеме «очистной забой».

Таблица 2

Возможные осложнения горных работ в лаве

Наименование причины неэффективного управления кровлей	Частота упоминания
А. Несоблюдение технологии выемки угля или управления крепью (отжим угля)	58,3
Присутствие слоя угольной мелочи под основанием секции крепи	17,0
Фактический начальный распор крепи значительно ниже паспортного	13,0
Большое отставание секций крепи от забоя после передвижки крепи	10,0

Продолжение табл. 2

Наименование причины неэффективного управления кровлей	Частота упоминания
Сползание верхняков крепи по падению пласта	6,9
Секции крепи не зачищены от угольной и породной мелочи	4,6
Неправильная выемка угля комбайном	3,8
Недопустимое снижение скорости подвигания лавы	2,3
Сверхнормативное отставание передвижки крепи от комбайна	0,7
Б. Неудовлетворительное техническое состояние крепи	24,4
Выход из строя разных узлов механизированной крепи	10,7
Негерметичность большого числа гидростоек или гидрозамков	9,2
Неисправность домкратов козырьков	3,8
Заниженное рабочее давление в гидромагистрали	0,7
В. Несоответствие горногеологических условий технической характеристике крепи	10,6
Низкая прочность пород почвы на вдавливание	5,3
Динамическое воздействие кровли на крепь при обрушении	5,3
Г. Конструктивные недостатки крепи	4,5
Недостатки механизированной крепи	3,8
Недостатки гидросистемы	0,7
Д. Недостаточная квалификация персонала или организационные причины	1,4
Е. Несоблюдение паспорта зарубки комбайном	2,0
К. Отсутствие предварительных работ по креплению кровли в местах её ослабления («подножный»)	1,5

Таблица 3

Осложнения на сопряжениях лавы с примыкающими выработками

Наименование процесса	Количество
А. За лавой	30
не просажен куток	7
некачественно закреплена каретка скребкового перегружателя	7
не передвинут наперед став перегружателя	3
не установлена крепь усиления	7
не затянуты хомуты на рамах арочной крепи	3
не восстановлена арочная ножка	5
Б. Впереди лавы:	70
не установлена по паспорту крепь усиления	15
не произведена перетяжка и оборка кровли в нише	10
не установлены металлические прогоны	15
некачественная пересыпка с лавного конвейера на перегружатель	20
нет отхода по перекреплению (на вентиляционном штреке)	
не произведена подрывка выработки на необходимую высоту и отход	5
не заменена сломанная затяжка арочной крепи	5

Список литературы

1. Analysis of roof bolt systems Christopher Mark, Chief, Rock Mechanics Section Gregory M. Molinda, Research Geologist Dennis R. Dolinar, Mining Engineer NIOSH, Pittsburgh Research Laboratory Pittsburgh, Pennsylvania USA. 2007. – С. 34-56.
2. T. Sasaoka, K. Matsui & H. Shimada, Kyushu University, J H. Furukawa & M. Uehara, Japan Coal Center, J S. Kramadibrata, B. Sulistianto & R.K. Watinena, Institute of Technology, Bandung, ID «Roof Support Systems at a New Underground Mine Developed from Open-Cut Highwall in Indonesia». 1997. - С. 119– 240.
3. Brady B.H.G., Brown E.T. Rock Mechanics for underground mining. Springer Science + Business Media, Inc. - 628 p.

УДК 622.281 (574.32)

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ВОКРУГ ВЫРАБОТОК

Демин В.Ф., Алиев С.Б., Танкееева Г.Д., Баймульдин М.М.,
Демина Т.В.

*Карагандинский технический университет
имени Абылкаса Сагинова, Казахстан*

Для аналитического моделирования (определения) смещений вмещающих пород вокруг подготовительных горных выработок выполняются следующие действия: определяются геологические условия проведения выработки, для чего составляется геологический разрез с указанием пород почвы и кровли; производится анализ механических характеристик слоев пород; выполняется построение изолиний и эпюр напряжений в окрестности очистной выработки – впереди забоя, в зоне подработки и в зоне остаточного опорного давления; производится расчет зоны неупругих деформаций пород вокруг выработки вне влияния очистной выработки и построение эпюры скоростей смещений на основе экспериментальных данных наблюдений в аналогичных условиях в предшествующее время и построение эпюр скоростей смещений на весь период службы данной горной выработки с учетом установленных смещений путем обобщения имеющихся опытных данных для аналогичных условий; определение смещений контура на различных участках выработки в зависимости от времени (скорости подвигания очистного забоя).

При проведении выработки по углю с устойчивой кровлей и почвой смещения боков выработки значительно превосходят смещения почвы и кровли, которые зависят только от упругих деформаций пород почвы и кровли, а также общего сдвижения без разрушения. Смещения боков выработки складываются из следующих составляющих изменения объема пород в боках выработки: за счет изменения объема конвергенции почвы и кровли в зоне, где действующие напряжения меньше природных; обусловленной разрыхлением пород в зоне неупругих деформаций.

Для системы разработки, когда выработка с одной стороны граничит с массивом, а с другой – с выработанным пространством, смещения со стороны

почвы и кровли определяются на границе выработанного пространства. Величина зоны неупругих деформаций с соблюдением баланса сил в зоне остаточного опорного давления и в зоне разгрузки.

Смещения горных пород в приконтурной части выработок могут быть обусловлены следующими причинами: разрыхлением и увеличением объема пород при их разрушении, расслоением по напластованию, прогибом сформировавшихся консолей пород.

Уменьшение или исключение конвергенции пород в кровле выработки по двум последним причинам может быть достигнуто выбором средств и параметров крепления. Более сложным является определение и снижение смещения пород вблизи выработки, связанным с дилатансией горных пород.

Деформация при ползучести включает два этапа. Первый (подготовительный) этап характеризуется коллективными и дислокационными явлениями, определяющими трансляционную (предварительную) деформацию, изменяющую структуру материала. Она определяет условия зарождения микротрещин, их кластеризацию до трещин критических размеров.

По этой причине наиболее вероятным является подрастание трещин в результате втекания в нее дислокаций с плоскостей скольжения соседних зерен, хотя не исключается возможность реализации механизма удлинения трещин.

Математический аппарат, созданный на основе обработки статистической информации по параметрам устойчивости горных выработок Карагандинского угольного бассейна (Республика Казахстан) [1-4] по прогнозированию ожидаемых смещений, положен в основу компьютерной программы «KMS-Ш» (комплекс моделирования смещений для шахт) [2].

В качестве исходных данных в программу «KMS-Ш» заносятся следующие показатели: глубина разработки, м; объемный вес пород, кН/м^3 ; геологический разрез проводимой выработки с указанием мощности слоев и физико-механических свойств соответствующего слоя (прочности на сжатие и растяжение, коэффициент сцепления и т.д.) угол наклона слоев пород, град; форма поперечного сечения выработки и ее геометрические размеры, м.

Панель специальных инструментов программы «KMS-Ш» содержит кнопки вызова окон ввода исходной информации, выполнения расчетов и вывода отчета по результатам расчетов.

Результаты аналитического моделирования смещений вмещающих пород вокруг подготовительных горных выработок с использованием инструментов программы «KMS-Ш» рассмотрен на примере восточного вентиляционного уклона 50к₁₀-1в шахты «Саранская» Карагандинского угольного бассейна.

Порядок моделирования ожидаемых смещений. Выработка проходит на глубине 428-554 м, под углом 10°. Протяженность выработки составляет 630 м. Общая мощность пласта в месте проведения составляет 4,65 м. Пласт к₁₀ имеет сложное строение и состоит из девяти угольных пачек мощностью 0,05-1,17 м, разделенных прослойками углистого аргиллита и аргиллита мощностью 0,01-0,04 м. Пласт к₁₀ отнесен к категории пластов, опасных по внезапным выбросам угля и газа, с глубины 300 м, опасен по газу и пыли, склонен к самовозгоранию.

В основной кровле пласта залегают песчаники ($m=23,7-29,56$ м, $f=60$ МПа). Непосредственная кровля представлена аргиллитами мощностью 1,24-2,09 м ($f=25$ МПа). Ложная кровля сложена углистым аргиллитом, аргиллитом, мощностью 0,45 м ($f=15$ МПа). В почве пласта залегают аргиллиты мощностью 5,25-6,35 м ($f=20-25$ МПа), неустойчивые, склонные к пучению. Ожидаемый приток воды составит до 5 м³/ч. Для крепления выработки используют анкерную крепь шагом 0,8 м. Количество анкеров на 1 м выработки: в кровле – 12, в боках - 6.

В результате расчетов с помощью компьютерной программы «KMS-III» были получены следующие ожидаемые смещения контуров выработки: в кровле– 200–300 мм; в почве – 500–650 мм; в боках – 150–200 мм.

Для сравнения результатов моделирования и фактических смещений были установлены наблюдательные станции на пикетах ПК10, 18, 21, 32, 52, 59 по мере продвижения забоя.

Анализ смещений происходивших со стороны правого бока показывает, что интенсивная стадия деформирования приходится на первый месяц с момента установки наблюдательных реперов. Величина смещений за первый месяц составила 7 мм. В последующие месяцы смещений не наблюдалось.

В правом боку выработки интенсивные смещения пород приконтурного массива наблюдались в течение первого месяца. Максимальные значения смещений составили 3 мм. В следующие месяцы смещений не наблюдалось.

Максимальные значения смещений не превысили 3 мм, что свидетельствует об эффективности выбранных параметров крепи.

Анализ пучения почвы показал, что максимальные значения смещений за первый месяц не превысили 10 мм. В следующий месяц наблюдался снижение интенсивности и максимальные смещения не превысили 4 мм.

Моделирование деформированного состояния горных пород в неоднородном массиве на реологической модели с установлением параметров крепи в очистных, подготовительных, капитальных и др. возможно лишь с учетом геомеханических условий проведения и поддержания выработки при влиянии горно-геологических, горно-технических и технологических условий эксплуатации, схем ведения горных работ.

Список литературы

1. Цай Б.Н. Термоактивационная природа прочности горных пород. // Караганда, КарГТУ, 2007. - 204 с.
2. Демин В.Ф., Бахтыбаев Н.Б., Демина Т.В. и др. Компьютерная программа для ЭВМ («KMS-III» комплекс моделирования смещений - шахтный). Объект интеллектуальной собственности РК № 516 от 04.05.2013г.
3. Губер О. Разработка и поставка инструментов цифрового моделирования. Коммерческое предложение. – Караганда, 2013. – 10 с.
4. Кацага Т.Я. Моделирование состояния выработок в проходке и в зоне влияния очистных работ FLAC 3D. Коммерческое предложение (США). – Караганда, 2014. – 10 с.

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ЗАПАСОВ РУД ВОСТОЧНОГО УЧАСТКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ «АКЖАЛ» В СООТВЕТСТВИИ С РЕКОМЕНДУЕМОЙ СИСТЕМОЙ РАЗРАБОТКИ

Джангулова Г.К.¹, Бекбергенов Д.К.², Бектур Б.К.³,
Касымканова Х.М.³

¹КазНУ им. аль-Фараби, ²ИГД им. Д.А.Кунаева,
³Satbayev University, г. Алматы, Казахстан

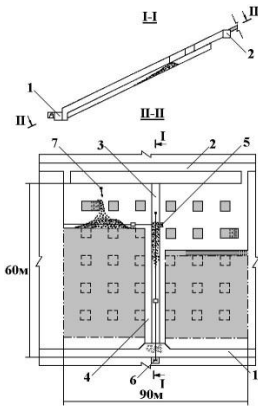
Многообразие применяемых систем разработки для подземной добычи руды является следствием различных горно-геологических, горнотехнических и геомеханических свойств рудных и породных массивов.

Геомеханическое обеспечение отработки залежей при выборе систем разработки включает комплекс мер, обоснований и определений параметров конструктивных элементов системы и направленных на соблюдение безопасных условий при эксплуатации залежей, предусмотренных «Правилами промышленной безопасности при ведении работ подземным способом» (Приказ Министра по ЧС РК от 25.07.2008 г., №132. Астана), для предупреждения негативных проявлений горного давления и возможных массовых обрушений.

Учитывая геомеханические и геотехнические особенности отработки рудных залежей месторождения «Акжал», нами предложены системы разработки для отработки различных мощностей с описанием достоинств и недостатков, в таблице 1, отражены предлагаемые системы.

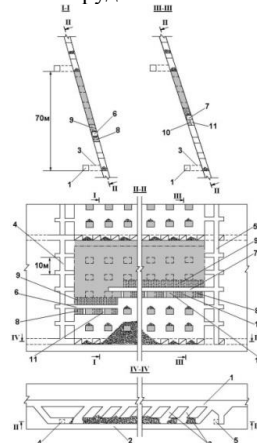
Для отработки рудных тел мощностью 1,0÷1,5м предлагается вариант камерно-столбовой системы разработки	
Вариант камерно-столбовой системы разработки с селективной выемкой руды: а) Стадия отработки камерных запасов: 1 и 2 – вентиляционно-транспортные штореки; 3 – заезды	Вариант камерно-столбовой системы разработки с селективной выемкой руды: б) Стадия прорезки барьерного целика: 1 и 2 – вентиляционно-транспортные штореки; 3 – заезды; 4 – вентиляционно-доставочные выработки

Системы разработки наклонных рудных тел



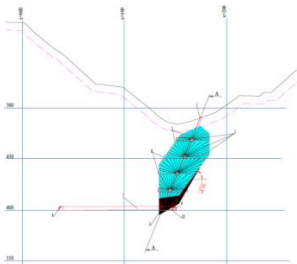
Вариант камерно-столбовой системы разработки с расположением камер по простиранию и двухзабойной схемой отработки: 1 – транспортный штрек; 2 – вентиляционный штрек; 3 – доставочная восстающая выработка; 4 – ходки; 5 – скрепирование отбитой руды; 6 – скреперная лебедка; 7 – низконапорные брансбойты

Системы разработки крутопадающих рудных тел



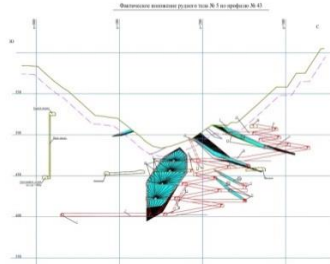
Вариант системы разработки с проведением подэтажных буровых выработок и формированием междукамерных столчатых целиков: 1 – полевой транспортный штрек; 2 – траншейный штрек; 3 – погрузочные заезды; 4 и 5 – вентиляционно-ходовые восстающие; 6 и 7 – буровые выработки; 8 – нисходящие шпурь; 9 – восходящие шпурь; 10 – ленточные целики; 11 – отрезные щели

Система разработки подэтажными штреками с применением скреперных лебедок

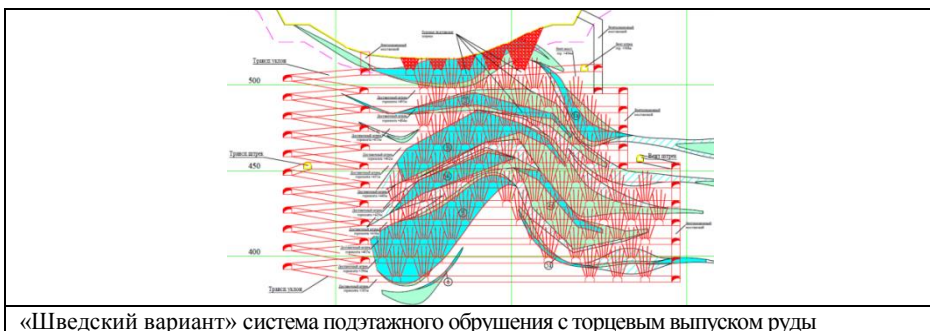


Общий вид применения системы разработки подэтажными штреками с применением скреперных лебедок на рудном теле 5 Восточного участка «Акжал»

Система разработки подэтажными штреками с применением самоходного оборудования



Система разработки подэтажными штреками с применением самоходного оборудования



«Шведский вариант» система подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды

К настоящему времени достаточно разработана научно-методическая база и накоплен опыт по геомеханическому обоснованию применяемых систем разработки [1-3].

В результате подземной отработки месторождений полезных ископаемых коренным образом могут измениться горно-геологические условия его эксплуатации: оставшиеся запасы в основном концентрируются на участках наклонных и крутопадающих залежей. Изменение морфологии залежей и появление наклонных участков обусловили пересмотр и модернизацию проверенной многолетним опытом камерно-столбовой системы и дифференцированных подходов к порядку отработки с целью учета нового фактора – угла наклона залежей.

Например, в предложенных вариантах камерно-столбовой системе разработки, управление горным давлением осуществляется при помощи целиков, оставляемых в выработанном пространстве, а принятая сетка расположения столбчатых междуканальных целиков должна обеспечивать устойчивость кровли очистных камер.

При расчете МКЦ используется принцип их работы в режиме заданной нагрузки, т.е. при расчете МКЦ принимается, что нагрузка на них определяется весом столба пород по приходящейся грузовой площади, при этом высота столба принимается равной высоте свода естественного равновесия, но в действительности, как показали исследования К.В. Руппенейта [4], В. Рахимова [5], Ю.М. Либермана, Ц. Гомеса [6] и других исследователей [7] междуканальные целики работают в режиме заданной деформации при совместном деформировании МКЦ и налегающей толщи пород и нагрузка на МКЦ формируется в зависимости от соотношения жесткости плиты пород налегающей толщи и жесткости МКЦ, что и явилось причиной разрушения МКЦ.

Для отработки небольших по площади маломощных наклонных рудных тел мощностью 2÷3м предлагается вариант камерно-столбовой системы разработки с расположением камер по простиранию и двухзайной схемой отработки.

Порядок отработки наклонных залежей обусловлен литологическими и морфологическими особенностями строения массива пород.

Для разработки наклонных участков залежей предусмотрен вариант камерно-столбовой системы маломощной наклонной залежи с разбивкой на блоки, состоящие из двух смежных панелей (участков), которые в свою очередь разбивают на выемочные камеры по простиранию рудной залежи на всю ширину смежных панелей. В отличие от применяемой схемы камеры обрабатывают не одним, а двумя забоями одного направления в каждой камере, это позволит уменьшить объемы прихвата породы из почвы залежей [7].

Для примера приведены расчёты высоты междукамерного целика при системе разработки этажно-камерной с отбойкой руды из подэтажных штреков для наклонных рудных тел.

1) Расчет диаметра междукамерных целиков при квадратном сечении МКЦ:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4K_n \gamma H S_{on} n_{MKЦ}}{\pi \sigma_{\lambda} \cdot K}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 0,5 \cdot 2,6 \cdot 10 \cdot 400 \cdot 496 \cdot 1}{3,14 \cdot 22300 \cdot 0,2268}} = \sqrt[3]{649,46} = 8,66 \text{ м}$$

2) Вертикальная нагрузка на целик

$$P_{\text{в}} = \left(\frac{\gamma \cdot H \cdot h_{\text{экв}}}{\text{tg} \alpha} \right) \cdot \left(a + \frac{h \cdot L_{\text{кам}}}{h + L_{\text{кам}} \cdot \text{tg} \alpha} \right) =$$

$$\left(\frac{0,027 \cdot 430 \cdot 8}{\text{tg} 75} \right) \cdot \left(6,6 + \frac{60 \cdot 50}{60 + 50 \cdot \text{tg} 75} \right) = 908,28 \text{ МН}$$

3) Горизонтальные нагрузки, действующие на целик со стороны массива вмещающих пород

$$P_{\text{г}} = 0,32 \cdot 0,027 \cdot 430 \cdot 8 \cdot \left(\frac{60 \cdot 50}{60 + 50 \cdot \text{tg} 75} \right) = 444,81 \text{ МН}$$

4) Коэффициент ослабления целика учитывающий уменьшение его рабочей площади при проведении в целике горных выработок

$$K_{\text{осл}} = \frac{(6,6 - 2 - 0,4) \cdot \left(60 - \frac{2,5 \cdot 52}{13} - 0,4 \right)}{6,6 \cdot 13} = 0,16$$

Для геомеханического обоснования всех предложенных систем можно интерпретировать исходя из условий залегания и порядка проведения горно-подготовительных и нарезных работ с применением различных технологий по данным таблицы 1.

Приведенные формулы расчетов могут быть скорректированы для конкретных принятых систем разработки в пологих и наклонных залежах малой и средней мощности при среднеустойчивых рудах и вмещающих породах с естественным или искусственным поддержанием очистного пространства и по типу блока.

Список литературы

1. Временная инструкция по расчету целиков при камерно-столбовой системе разработки с барьерными целиками для пологопадающих и наклонных залежей Джезказганского месторождения //Алма-Ата, ИГД АН КазССР. -1984. -77 с.
2. Методические указания по установлению размеров камер и целиков при камерных системах разработки руд цветных металлов. Л.-ВНИМИ. -1972. -82 с.
3. Чабдарова Ю.И., Жужгов Ю.В., Букин А.Н. Горное давление в антиклинальных структурах Джезказгана. Алма-Ата, «Наука» Казахской ССР. – 1980, 195 с.
4. Руппенейт К.В. Деформируемость массива трещиноватых горных пород. М.: «Недра», 1975. – 220 с.
5. Рахимов В. Определение давления на междукамерные и барьерные целики, образующие периодическую последовательность. // Физико-механические свойства, давление и разрушение горных пород. Выпуск 1, М.: Изд. АН СССР. 1962. – С. 123 – 132.
6. Либерман Ю. М., Гомес Ц. Метод определения давлений на целики при разработке изолированными панелями. // Физико-механические свойства, давление и разрушение горных пород, Выпуск 1. М.: Изд. АН СССР, 1962. – С. 133 – 140
7. Методы определения размеров опорных целиков и потолочин. М.: Изд. АН СССР, 1962. – 199 с.

О ВОЗМОЖНЫХ ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

Добрынин А.А.

Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Современная научно-технологическая академия» (АНО ДПО «СНТА»)

Среди большого ассортимента известных и применяемых сегодня в горной промышленности взрывчатых веществ (ВВ), на взгляд автора, наиболее технологичны жидкие ВВ, в составе которых особо следует отметить жидкие взрывчатые растворы (ЖВР), способные практически самотёком заполнять зарядные полости, обеспечивая, при этом, без каких-либо дополнительных усилий, например, без применения специальных насосов и др., достаточно высокую плотность ВВ в заряде, что в совокупности можно рассматривать как возможную идею создания роботизированной технологии взрывных работ.

Взрывчатые составы с преимущественным содержанием жидких компонентов, приготовляемые непосредственно на месте употребления, были предложены и запатентованы немецким физиком и химиком Германом Шпренгелем ещё в 1871 г. и данный тип ВВ вошёл в историю под названием «Взрывчатые вещества Шпренгеля». Эти ВВ представляли собою смеси окислителя и горючего и могли быть инициированы капсюлем-детонатором. Данные ВВ успешно применялись в горном деле и строительстве в конце XIX – начале XX веков. Компоненты ВВ Шпренгеля являются опасными веществами, но по отдельности не взрываются, благодаря чему их можно безопасно транспортировать и смешивать

непосредственно в местах применения, особенно, если это происходит без участия человека, чему будет способствовать развитие, на первом этапе, беспилотной техники, а в дальнейшем роботизированной.

Во времена Первой и Второй мировых войн из-за острой нехватки штатных ВВ французами, итальянцами и англичанами применялись ЖВР, в основном, в авиабомбах.

После Второй мировой войны исследования жидких ВВ в мире продолжались, в т.ч. в нашей стране [1-6], при этом результаты некоторых из них были внедрены в промышленность. Например, ООО ПКФ «Стимул» в 2017 г. успешно завершил промышленные испытания ЖВР в результате чего Ростехнадзор выдал разрешение на их постоянное применение № РВВ-0411. В процессе испытаний ЖВР применяли при обрушении ж/б трубы высотой 100 м и дроблении ж/б фундаментов на территории бывшей ТЭЦ-3 в г. Грозном в 2014 г., а также при реконструкции автодороги «Цуриб-Арчиб» в Дагестане в 2016 г. и др. объектах [5].

Компания «Уралхим» проводила научные исследования с ЖВР «Экслипд» на основе кислоты азотной концентрированной по ГОСТ 701-89 [6]. Кроме определения взрывчатых свойств ЖВР проводились эксперименты с пластиками с целью выбора стойких к действию кислоты, в результате чего было установлено, что некоторые сорта недорогих пластиков могут быть пригодны не только для изготовления оболочек под заряды ЖВР, но и для изготовления узлов зарядного оборудования вместо дорогостоящих спецсталей и фторопластов, используемых сегодня при работе с азотной кислотой. Однако работы с ЖВР «Экслипд» пока, что не завершены, т.к. их результаты не были внедрены в промышленность.

Из зарубежных учёных, изучавших жидкие ВВ следует отметить профессора школы материаловедения и инженерии Пекинского Технологического института Лю Цзипина. В его книге «Liquid explosive» упоминается, что жидкие взрывчатые смеси являются одними из самых важных жидких ВВ, разработанных до сих пор. В настоящее время они широко используются в различных областях, включая производство, добывающую промышленность, сельское хозяйство и использование в военных целях [7].

По сравнению с использованием традиционных промышленных ВВ, изготовление ЖВР из невзрывчатых компонентов в местах ведения взрывных работ позволяет получить существенные преимущества начиная с отсутствия необходимости в каком-либо обращении ВМ, что небезопасно. Например, нет необходимости содержать склады ВМ, грузить, перевозить ВМ и пр. Очередная авария с грузовиком компании «Махам», который перевозил 10 т ВВ на золотодобывающий рудник в Гане, произошла 20 января 2022 г. в результате чего по разным данным погибло от 13 до 20 человек, пострадало более 200 человек, при этом в зоне взрыва оказались около 500 жилищ, большая часть из которых разрушена полностью. Также повреждения получили около 100 транспортных средств.

Кроме того, благодаря стехиометрическому соотношению окислителя и горючего, что легко можно обеспечить в составе ЖВР, в районе производства взрывных работ и вокруг получим более чистую атмосферу за счёт снижения токсичных продуктов взрыва.

Заряжание шпуров, скважин или других зарядных выработок и ведение взрывных работ в перспективе возможно по разным технологическим вариантам, которые уже сегодня достаточно чётко просматриваются благодаря внедрению в разные области промышленности и сельского хозяйства беспилотных и роботизированных технологий.

Самопроизвольное растворение, смешение компонентов, как показала практика обращения с «Анилитами», может происходить в ограниченное время. В случае необходимости в смесительно-зарядной машине (СЗМ) можно предусмотреть статический или динамический смеситель не сложной конструкции.

Используя сильные окислители, растворители, например, используя концентрированную азотную кислоту по ГОСТ 701-89, как это было в экспериментах, организованных компанией «Уралхим», горючие и др. компоненты могут применяться в твёрдом виде. В этом случае можно получать жидкое ВВ в необходимое время, например, уже после заряжания всех скважин на взрываемом блоке.

Доставка компонентов на заряжаемый блок происходит только по территории горного предприятия, а не по автодорогам общего пользования, что кроме повышения безопасности нашего общества, позволит обеспечить требуемую управляемость и точность движения беспилотного автомобиля за счёт установки в требуемых местах современных навигационных станций и др. необходимого оборудования.

Слив компонентов в скважины в требуемых количествах уже давно отработан в мире и, в т.ч. в России, при использовании эмульсионных ВВ и ANFO, при этом в составе оборудования автомобиля не требуется насос для подачи ВВ в скважину, т.к. ЖВР обладают хорошей текучестью в отличие от вязких эмульсионных ВВ, что значительно упрощает конструкцию СЗМ. Суть выполнения данной операции сводится к простому действию - открытию и закрытию крана, расположенного под ёмкостью, в которой находится невзрывчатый компонент.

Анализируя указанные операции отметим, что загрузка автомобиля или СЗМ компонентами может осуществляться в местах их хранения или «с колёс», например, из оборотных железнодорожных или других цистерн, при участии оператора-водителя и т.к. ВВ здесь нет, то требуется выполнять известные требования правил безопасности, которые должны соблюдаться на любом химическом или др. предприятии при работе с жидкими химическими веществами (окислителями и горючими).

Расстояние от беспилотного, контролируемого или дистанционно управляемого автомобиля или СЗМ ориентировочно составляет 1,5-2,0 км, однако

должно быть не менее расчётного безопасного расстояния для случая детонации заряда ВВ, сформированного в конкретной скважине. В ёмкостях автомобиля и СЗМ находятся только невзрывчатые компоненты, т.е. предполагать, что случится их детонация или взрыв заряженного блока целиком, в принципе, не следует.

Автоматическое опускание и подъём зарядного шланга для слива заданного количества ВВ в скважину давно уже отработано при использовании эмульсионных ВВ.

Получается, что все описанные операции, которые необходимо выполнить для подготовки и проведения взрывных работ сегодня хорошо известны и выполнимы.

При работе на заряжаемом блоке большого количества различной техники случаются наезды на волноводы, детонирующий шнур и др. элементы взрывной сети, не исключая её повреждения, поэтому в перспективе следует стремиться к созданию беспроводных систем инициирования, например, аналогичных той, которую разработала компания «Ogisa».

Сегодня актуальным вопросом в горной и др. отраслях промышленности является вопрос снабжения предприятий шашками-детонаторами и др. специальными зарядами, в т.ч. по причине резкого подорожания подобной продукции на рынке. Автором, на проходившей 6-7 сентября 2022 г. в г. Брянске и на территории Брянского химического завода Первой научно-практической конференции «Новые технологии и перспективы развития во взрывной отрасли» было озвучено предложение о создании оборудования для наполнения пластиковых оболочек небольшого объёма ЖВР с целью создания шашек детонаторов вблизи мест ведения взрывных работ. В качестве аналога подобного оборудования можно принять автомат по розливу газированной воды, известный всем ещё с советских времён. При использовании подобных автоматов на горных предприятиях проблема шашек-детонаторов может быть решена.

В ближайшей перспективе ВВ, в основном, будут изготавливаться вблизи мест их применения из невзрывчатых компонентов, а к таким ВВ относятся изобретённые ещё в XIX веке жидкие ВВ, причём достаточно мощные, чтобы их не рассматривать как возможную перспективу для горного производства и других видов взрывных работ, поэтому учёным и специалистам следует внимательнее отнестись к изучению класса ЖВР, которые обладая хорошими энергетическими характеристиками и текучестью, могут оказаться востребованными в беспилотных взрывных технологиях.

Список литературы

1. Курбангалина Р.Х. О детонационной способности жидких взрывчатых смесей на основе азотной кислоты // Журнал прикладной химии. 1959. Т. XXXII. Вып. 7. с. 14.

2. Бендерский Л.Ф., Аджемян В.Я., Пономарёв В.А. Исследование параметров детонации жидких взрывчатых смесей, применяемых во взрывогенераторных установках. В сб. трудов Механизация горнопроходческих работ, выпуск 12, М.: ЦНИИПОДЗЕМАШ, 1976, с. 104-111.

3. Козак Г.Д., Потапов В.В., Райкова В.М. Измерение критической толщины детонации взрывчатого раствора в тонком слое // Физика горения и взрыва. 1999. Т. 35, № 1, с. 113.

4. Зотов Е.В. Электроискровое инициирование жидких взрывчатых веществ. – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2004. – 295 с.

5. Добрынин А.А., Абдулгаджиев А.М., Добрынин И.А. Анилиты: результаты промышленных испытаний // Горение и взрыв. 2017. Т. 10. № 4. С. 92–95.

6. Генкин М.В., Розаренова Т.В., Добрынин А.А., Лавров В.В., Савченко А.В. Жидкое взрывчатое вещество «Экслид». Горение и взрыв, 2018. Том. 11. № 4. С. 125-129.

7 Liu, J. Liquid explosives. – Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2015. – 344 p.

УДК 662.612.12

АНАЛИЗ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ БОРТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ КАРЬЕРА «КАЛЬМАКЫР» (УЗБЕКИСТАН)

Есина Е.Н., Доскалов А.И.

Российский университет дружбы народов

Общей тенденцией развития горной промышленности является переход к отработке глубоких запасов месторождений полезных ископаемых, при этом увеличивается степень напряженности массивов пород, и изменяются их деформационно-прочностные характеристики [1-3]. Для крупных рудных карьеров увеличение глубины разработки приводит сначала к увеличению объемов вскрышных работ, а затем – к необходимости перехода на подземный способ добычи, что требует заблаговременного принятия проектных решений, обоснования условий безопасного перехода, внедрения ресурсосберегающих, роботизированных и интеллектуальных геотехнологий [4-5].

Кальмакыр – уникальное месторождением, которое является одним из крупнейшим поставщиком медно-молибденовой руды для цветной металлургии Средней Азии, и, в связи с этим, занимает стратегически важное значение [6]. Для оценки геомеханического состояния бортов карьера на верхних горизонтах при отработке месторождения проанализированы результаты геомониторинга за последние два года. Наблюдательная станция карьера «Кальмакыр» в настоящее время включает три профиля реперов по участкам бортов с подготовленными 25 реперами (рисунок 1).

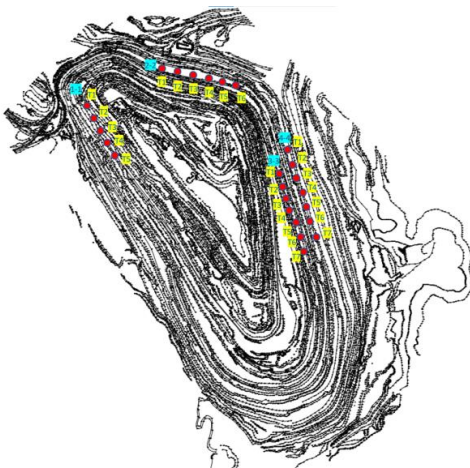


Рис. 1. Совмещённый план карьера и наблюдательной станции карьера «Кальмакыр»

Для анализа обстановки использованы данные маркшейдерских наблюдений, выполненных маркшейдерской службой карьера Кальмакыр. Определение плановых координат реперов и вертикальных смещений осуществляется с использованием GNSS приемник LEICA GS15 с контроллером CS10 [7].

С учётом сезонной цикличности деформаций, проблемными реперами считаются реперы, имеющие направление плановых смещений в выработанное пространство, у которых средняя скорость полного вектора смещений за два предшествующие цикла превышают 0,1 мм/сут, и обладают тенденцией роста или скорости в цикле выше 0,2 мм/сут. Значимая скорость вектора смещений учитывает скорость смещений в вертикальной плоскости v_z , но с исключением радиальной составляющей ненаправленной в карьер и вертикальной составляющей при поднятии репера.

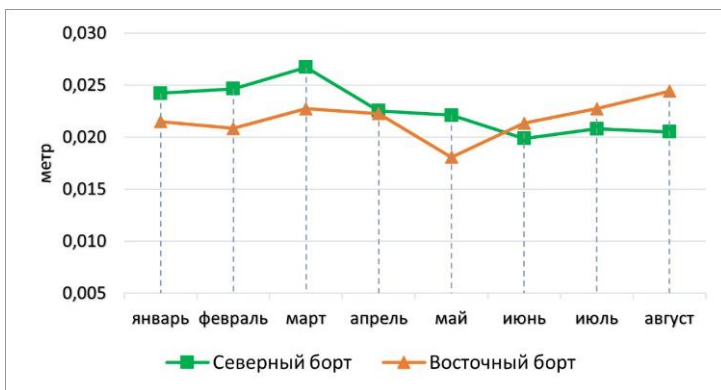


Рис. 2. Средняя скорость сдвижения вертикальной составляющей, м/мес

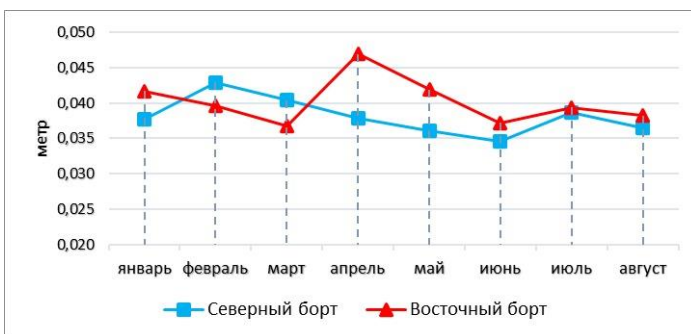


Рис. 3. Средняя скорость сдвижения горизонтальной составляющей

Анализ результатов наблюдений за сдвигами и деформациями массива борта карьера показывает, что скорости в центральной части восточного борта выше скоростей сдвижения северного участка (рис. 2,3). Для оценки и прогноза устойчивости бортов карьера требуется изучение прочностных и деформационных свойств перекрывающих горных пород в районе его центральной части. Ситуация деформирования отдельных участков горизонтов карьера обусловлена также природной трещиноватостью пород, наличием грунтовых вод.

Основные выводы и рекомендации по результатам анализа инструментальных наблюдений деформирования бортов карьера «Кальмакыр» следующие. Общие показатели смещений реперов на участках: средняя скорость радиальных смещений $V_r > 1,3$ мм/сут и среднее значения скорости полного вектора смещений $V_s > 1,7$ мм/сут. Значения средних радиальных и полных скоростей по бортам карьера уменьшились на восточном борту и увеличились на северном. Однако, одновременно в текущем цикле отмечено оседание реперов со средней скоростью $V_z = 1,35$ мм/сут, при показателях предыдущего цикла по профильным линиям от 0,5 до 0,9 мм/сут.

Для своевременного обнаружения признаков развития опасных геомеханических процессов необходимо проведение комплексных наблюдений за деформациями уступов и бортов карьера, а также прибортового массива [8,9]. Для обеспечения геомеханической безопасности ведения открытых горных работ необходимо разработать систему противодеформационных мероприятий по обеспечению устойчивости откосов уступов карьера в перекрывающих породах, который должен включать создание современной системы мониторинга, позволяющей фиксировать с высокой точностью деформирование массива горных пород, разработку методики наблюдений системы раннего оповещения; разработку технологий по укреплению уступов в перекрывающих породах и т.д. Для системы раннего оповещения рекомендуется использовать лазерные сканеры и георадары на потенциально опасных участках, где прогнозируется рост скоростей сдвижения.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н. Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых. М.: ИПКОН РАН, 2014. 196 с.
2. Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. Проектирование карьеров. М.: Изд. НПК «ГЕМОС Лимитед», 2003. 176 с.
3. Пыталев И.А. Тенденции развития научно-методических основ определения параметров открытых горных работ при комплексном освоении недр Земли // Горн. Инф.-Аналит. Бюлл. (науч.-тех. журн.) 2015. № S4-2. С. 29–38.
4. Рыльникова М. В., Владимиров Д. Я., Федотенко В. С., Есина Е. Н. Применение интеллектуальных систем и технологий при открытой разработке угольных месторождений с высокими вскрышными уступами // Горн. ж-л. 2018. № 1. С. 32–36. DOI 10.17580/gzh.2018.01.05.
5. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В., Владимиров Д.Я., Пыталев И.А. Условия и перспективы внедрения роботизированных геотехнологий при открытой разработке месторождений // Горн. ж-л. 2017. № 11. С. 60–64.
6. Рудоуправление «Кальмакыр»
<http://www.agmk.uz/index.php/ru/proizvodstvo/gornyj-peredel/3-rudoupravlenie-kalmakyr>
7. Esina E.N., Doskalov A.I., Kirkov A.E. Analysis of the geomechanical conditions at the Kalmakir porphyry copper ore deposit (Uzbekistan) // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. «International Science and Technology Conference «Earth Science», ISTC EarthScience 2022 - Chapter 3.» 2022. С. 042025.
8. Иофис М.А., Негурица Д.Л., Есина Е.Н. Сдвигение горных пород при освоении недр Земли. М.: РУДН, 2020. 287 с.
9. Рыбин В.В., Константинов К.Н., Каган М.М., Панасенко И.Г. Принципы организации комплексной системы мониторинга устойчивости объектов горнодобывающего предприятия // Горн. ж-л. 2020. № 1. С. 53–57.

УДК622.235.2

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЯМЫХ ЭМУЛЬСИЙ И КОМБИНИРОВАННЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ. СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

Ефремовцев Н.Н.

ИПКОН РАН

Вопросы управления иерархической нано-микро дисперсной структурой энергонасыщенных материалов промышленных взрывчатых веществ (ПВВ) с применением акустических и других методов обработки, систематизации синергетических эффектов на различных масштабных уровнях для повышения эффективности действия взрыва рассмотрены мною в опубликованных ранее работах [1].

Разработан состав пропитывающей нано и микро дисперсной эмульсии, технология комбинированного физико-химического воздействия, обеспечивающие увеличение предела прочности образцов карбонатных пород на 10-15%. Испытания проводились на образцах размером от 4 мм до 50 мм как при одноосном диаметральном сжатии (бразильский тест), так и при одноосном сжатии. Проведены экспериментальные работы по оценке увеличения скорости резания образцов гранита после физико-химического воздействия с применением эмульсий, содержащих ПАВ.

Одним из способов повышения энергетической эффективности производства и применения ПВВ является использование топливных смесей с использованием прямых эмульсий. Технология производства гранулированных ПВВ на основе прямых поризующих эмульсий (Гранулита ЕФ-П) позволяет осуществлять работы в неотапливаемом помещении и в несколько раз сократить потребление энергии при их изготовлении по сравнению с ЭВВ, изготавливаемыми на основе обратных эмульсий.

Проведена оценка изменения во времени впитывающей и удерживающей способности плотной аммиачной селитры при применении акустического воздействия.

В результате проведения испытаний на полигоне с применением композиционных имитационных моделей и в производственных условиях установлен значительный положительный синергетический эффект совместного участия в процессе передачи детонации полидисперстных твердых энергетических добавок и эмульсии, содержащей ПАВ, который обеспечил увеличение скорости детонации на 500 м/сек. С применением магнитоэлектрического произведены замеры изменения во времени массовой скорости и рассчитаны показатели давления продуктов детонации Грануцлита ЕФ-М с применением топливных смеси используемой при отрицательной температуре окружающей среды для дробления прочных горных пород, и состава Гранулита ЕФ-П используемого для шадящего дробления карбонатных пород. Скорость детонации в пластиковой трубе диаметром 66 мм составила соответственно 3600 м/сек и – 3150 м/сек. Для добычи ценного кристаллосырья разработан и испытан в условиях полигона состав АС-ПС на основе аммиачной селитры с плотностью 0,5, инициируемый капсюлем при диаметре заряда 28 мм.

С применением разработанной в ИПКОН РАН методологии исследований, предусматривающей проведение физических экспериментов на полигоне с использованием композиционных имитационных моделей и компьютерного моделирования напряженно-деформируемого состояния и фрагментации взрываемых сред методом сглаженных частиц проведена численная оценка синергетических эффектов взаимодействия прямых волн, инициируемых зарядом ВВ и отраженных от плоской преграды подпорной стенки. Обработка результатов физических экспериментов показала, что прирост выхода мелких фракций составил при использовании разуплотненного аммиачно-селитренного заряда шадящего действия и заряда высокоэнергетического ВВ составил

соответственно 28,5% и 116,2% по сравнению с показателями фрагментации модели с открытой плоской поверхностью. Выход мелких фракций возрос соответственно в 1,28 и 2,1 раза. Установлено, что изменение фрагментации геосреды в наибольшей степени зависят от скорости выделения энергии и ее прочностных характеристик. Столь существенное отличие выхода мелких фракций обусловлено увеличением в 2-2,5 раза давления в полости зарядной камеры и массиве геосреды при применении ВВ на основе гексогена. При этом наблюдается значительная неравномерность выхода мелких фракций между зарядом и границей геосреды любой формы независимо от энергетической насыщенности заряда. Что свидетельствует о положительном синергетическом эффекте совместного влияния прямых и отраженных волн на интенсивность ее разрушения.

Изучено влияние формы границы разрушаемой геосреды на интенсивность фрагментации, средний кусок и выход мелких фракций в различных зонах действия взрыва. Установлено, что независимо от энергетической насыщенности применяемых зарядов и их плотности, параметров прочности геосреды на выход мелких и крупных фракций оказывает влияние форма внешней свободной поверхности взрываемого блока (композиционной модели). Средний размер куска – зарядом и свободной поверхностью, имеющей цилиндрическую форму. Данный вывод подтверждают результаты анализа физических экспериментов. Установлены закономерности изменения во времени интегрального импульса давления в полости зарядной камеры и окружающей ее геосреде от скорости выделения энергии и расстояния до заряда.

Проведенные исследования позволяют обоснованно включить в классификацию синергетических эффектов влияющих на повышение энергетической эффективности разрушения горных пород способы управления взрывом путем изменения:

- параметров совместного воздействия прямых и отраженных волн;
- формы свободной поверхности разрушаемого блока;

Список литературы

1. Ефремовцев Н.Н. К вопросу управления структурой компонентов энергоемких материалов с применением акустических и других методов обработки. Синергетический эффект комбинированных воздействий. Техническая акустика: разработки, проблемы, перспективы: материалы международной научной конференции, Витебск, 25-28 мая 2021 г. - Витебск: УО «ВГТУ», 2021. - 146 с.

2. Ефремовцев Н.Н. Новые промышленные взрывчатые вещества и технологии их производства на основе поризующих эмульсий для горной промышленности. Труды международного научного симпозиума «неделя горняка-2018». Горный информационно-аналитический бюллетень .- 2018. - №1 (специальный выпуск 1). С. 178-191.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Жариков И.Ф., Докутович М.И.

ИПКОН РАН

В настоящее время горнодобывающая промышленность получила значительное развитие благодаря широкому применению достижений как фундаментальных, так и прикладных наук. Но при этом методики расчетов параметров буровзрывных работ обязательно должны быть скорректированы по результатам проведения опытно-промышленных серий взрывов в конкретных горно-геологических условиях. То есть, каждая из известных методик расчетов параметров буровзрывных работ уже имеет достаточно большую научную базу, но требуется корректировка параметров буровзрывных работ, а совместное их использование и обобщенный анализ полученных результатов позволяет получить новые зависимости и критерии для качественной оценки.

Тем не менее, существующее большое количество современных промышленных взрывчатых веществ по своим энергетическим характеристикам пригодны для решения любых геотехнологических задач, но реальные возможности управления энергией этих веществ существенно отстают от быстро растущих требований к результатам взрыва. При этом коэффициенты полезного использования энергии зарядов остаются достаточно низкими [1]. В конце XX и в начале XXI веков достигнут значительный прогресс в области повышения эффективности взрывных работ за счет создания и применения новых типов взрывчатых веществ с широким энергетическим диапазоном, а также средств заряжания и средств высокоточного инициирования. Большой шаг в своем развитии сделали в эти годы буровая техника и буровой инструмент. Но все эти достижения обусловлены все более усложняющимися требованиями горных технологий и стремительно растущими экологическими ограничениями [1].

Одновременно установлено, что с ростом глубины карьеров непрерывно усложняется технология вскрытия нижележащих горизонтов, сопровождаемая возрастанием объемов горных работ и увеличением числа транспортных горизонтов вместе с ростом протяженности автомобильных трасс, однако технический прогресс возможен путем внедрения новых решений при использовании циклично-поточной и поточной технологий. При этом интенсификация и повышение эффективности открытых горных работ наиболее логично связывать с расширением применения конвейерного транспорта и реализацией на его базе циклично-поточной технологии [2, 3].

Также, теоретическими соотношениями установлены закономерности формирования гранулометрического состава взорванной горной массы, то есть степень её разрушения в зоне регулируемого дробления при взрывах зарядов промышленных взрывчатых веществ на любых расстояниях от зарядной полости [3, 4]. Другими словами размеры трёх разных зон разрушения горных пород около взорванного заряда промышленного взрывчатого вещества: b_* - мелкодисперсного дробления, м; $b_{0,\tau}$ - интенсивного трещинообразования (дезинтеграции клиновидных секторов), м; и b_0 - радиального трещинообразования (регулируемого дробления), м, равны:

$$b_* = a_0 \cdot \sqrt{P_{жс} / \sigma_{мд}}; \quad b_{0,\tau} = a_0 \cdot \sqrt{P_{жс} / 2 \cdot \tau_{сдв}}; \quad b_0 = a_0 \cdot \sqrt{P_{жс} / \sigma_{рас}}. \quad (1)$$

где a_0 - радиус зарядной полости, м; $P_{жс}$ - давление продуктов детонации в Химпике, Па; $\sigma_{мд}$ - напряжение интенсивного дробления пород, Па; $\tau_{сдв}$ - предел прочности пород на сдвиг, Па; $\sigma_{рас}$ - предел прочности пород на одноосное растяжение, Па [4].

Следовательно, в рассматриваемой модели приведено математическое описание процессов деформирования породы взрывной волной, формирование в породе квазистатических полей напряжений и развитие разных видов разрушения породы при достижении напряжениями критических значений $\sigma_{сжс}$, $\sigma_{рас}$, $\tau_{сдв}$. Одновременно сформулированы начальные и граничные условия для определения радиуса полости a_0 , т.е. дано квазистатическое, волновое описание процессов деформирования породы взрывной волной с использованием феноменологических критериев σ_* , $\sigma_{рас}$, $\tau_{сдв}$ для определения радиусов соответствующих зон разрушения [4, 5].

Таким образом, предлагается теоретическая модель формирования кусков породы в зоне её регулируемого дробления взрывом зарядов промышленных взрывчатых веществ, позволяющая рассчитывать гранулометрический состав взорванной горной массы. То есть, разрабатываемый новый способ и подход к добыче твердых полезных ископаемых для решения задач по обеспечению высокого качества дробления горных пород позволяет при увеличении глубины карьеров и усложняющейся технологии вскрытия нижележащих горизонтов, для повышения эффективности открытых горных работ, применять конвейерный транспорт и реализацией на его базе циклично-поточной технологии.

На основании вышеизложенного в докладе показано, что решение поставленной задачи дает возможность эффективно и безопасно, по разработанной методике, проводить буровзрывные работы на карьерах при разработке горных пород, которая в значительной степени определяет рациональную степень дробления пород при циклично-поточной технологии.

Выводы:

1. Повышение эффективности работы комплексов при циклично-поточной технологии возможно при создании новых подходов к оценке и расчету параметров производства буровзрывных работ;

2. Решение задач по обеспечению высокого качества дробления горных пород возможно прежде всего при скорректированной технологии буровзрывных работ, учитывающей реальный механизм разрушения горной породы под действием динамических нагрузок.

Список литературы

1. Викторов С.Д., Галченко Ю.П., Закалинский В.М., Рубцов С.К. Разрушение горных пород сближенными зарядами. – М.: Научтехлитиздат, 2006. – 276 с.

2. Жариков И.Ф. Проблемы подготовки взорванной горной массы на глубоких горизонтах. // Взрывное дело. Выпуск №120/77. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2018. – С. 109-121.

3. Айнбиндер И.И., Жариков И.Ф., Докутович М.И. К вопросу оценки главных критериев взрывного рыхления вскрышных пород на карьерах применительно к требованиям эффективной работы комплексов циклично-поточной технологии при ведении буровзрывных работ на больших глубинах. // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. / Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – М.: ИПКОН РАН, 2019. – С. 57-60.

4. Докутович М.И. Теоретическое обоснование регулирования гранулометрического состава взорванной горной массы при ведении буровзрывных работ. // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Под редакцией академика К.Н. Трубецкого. / Материалы 3-й Конференции Международной научной школы академика К.Н. Трубецкого. – М.: ИПКОН РАН, 2018. – С. 117-119.

5. Докутович М.И. Результаты практического применения теории разрушения горных пород взрывом. // 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. 122-124.

РАЙОНИРОВАНИЕ КАРЬЕРНЫХ И ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ ПО КАТЕГОРИЯМ БУРИМОСТИ И ВЗРЫВАЕМОСТИ, С ЦЕЛЬЮ СОКРАЩЕНИЯ ЗАТРАТ НА БВР В РАЗМЕРЕ 20% И ВЫШЕ

Игизбаев Р.К., Игизбаев М.К., Игизбаев К.Б., Магер А.Н.

*Филиал РГП на ПХВ «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» Комитета индустриального развития Министерства Индустрии и Инфраструктурного Развития,
ИГД им. Д.А. Кунаева, Алматы, Казахстан*

Постановка проблемы. В данной статье рассматриваются вопросы решения проблем снижения себестоимости проведения буровзрывных работ (БВР) на основе районирования карьерных и шахтных полей по категориям облегченных буримости и взрываемости и разработки проектов ведения БВР.

Цель. Внедрение в производство предлагаемого способа по сокращению затрат на проведение буровзрывных работ в размере 20% и выше, с получением качественного дробления обеспечивающего высокую производительность последующих технологических процессов.

Методы исследований: методы математической теории топоповерхности; методы математической геотектоники [1]; разработанная авторами на основе сочетания научных подходов перечисленных выше, а также методов и средств теории Механики деформируемых сред – методов новой ветви науки Механики месторождений полезных ископаемых; теория и способы проведения БВР [2]. Основой для проведения данных исследований является разработанная к.т.н., проф. К.Б. Игизбаевым: «*Геоструктурная теория прочности и их хрупко, а также псевдопластического разрушений конструкций систем подземной и открытой эксплуатации месторождений полезных ископаемых, сложенных множествами криволинейно-анизотропных геологических тел полезных ископаемых и вмещающих пород*» [3]. А также разработанных на основе вышеуказанной теории способов:

- районирования карьерных и шахтных полей по категориям облегченной буримости и облегченной взрываемости руд и вмещающих пород;
- ведения БВР с применением их индивидуального паспорта для каждой категории с целью сокращения затрат на их отбойку в размере 20% и выше.

Идея Проекта. Предлагаемый способ отбойки основан на идее максимальной эксплуатации *эффекта наименьшей сопротивляемости разрушению буровзрывным способом*, материалов (руд и пород) геологических тел рудных месторождений по их поверхностям, облегченной буримости и облегченной взрываемости или же *в эксплуатации свойств массивов горных пород - анизотропии массивов горных пород – различии свойств массивов горных пород по разным направлениям*. Авторами разработана совершенно новая концепция проектирования параметров буровзрывных работ, учитывающая направление действия взрывного разрушения горных пород и применения в расчетах свойств горных пород по направлению действия взрыва в горизонтальном направлении, в отличие от измеренных при бурении в вертикальном направлении. (Рис. 1 и Рис. 2).

Обсуждение результатов. 1. Разработана математическая модель поверхностей наименьших значений критериев буримости и взрываемости руд и пород трещиноватых, криволинейно-анизотропных скальных массивов рудных месторождений.

2. Разработан способ оперативного и перспективного районирования карьерных и шахтных полей по категориям облегченной буримости и облегченной взрываемости руд и пород трещиноватых, криволинейно-анизотропных скальных массивов рудных месторождений,

3. Разработан инновационный способ скважинной отбойки руд и пород трещиноватых, криволинейно-анизотропных скальных массивов рудных месторождений, включающий: новые схемы бурения взрывных блоков, отличающихся от

применяемых классических схем; новые схемы взрывания, соответствующие применяемым на каждом блоке схемам бурения, с определением направления отбойки горной массы, и позволяющей обеспечивать перемещение последующих взрывааемых скважин в образуемое свободное пространство; применение на каждом взрывном блоке, расчетных параметров БВР, соответствующих крепостям пород по взрываемости тектонических структурных форм слагающих данный взрывной блок.

4. Разработанный нами способ позволяет сокращение затрат на проведение БВР в размерах 20% и выше, с улучшением качества дробления.

На рисунках 1 и 2 показаны результаты районирования карьерного или шахтного поля по категориям буримости и взрываемости, позволяющая сокращения затрат на проведение БВР в размере 20% и выше. Погрешности вычислений крепости пород варьируют в пределах – (0,95-0,975)%.

Уникальность данного способа заключается, что ее применением достигаются: наибольшая степень устойчивости откосов, открытых и подземных горных выработок, образуемых после отбойки; повышение безопасности управления деформированиями и сдвигами литологических массивов в карьерах, а также управления горным давлением в очистных пространствах шахт, и др.

Практическая применимость. Апробация предлагаемого способа успешно проводилась в условиях открытой разработки месторождений.

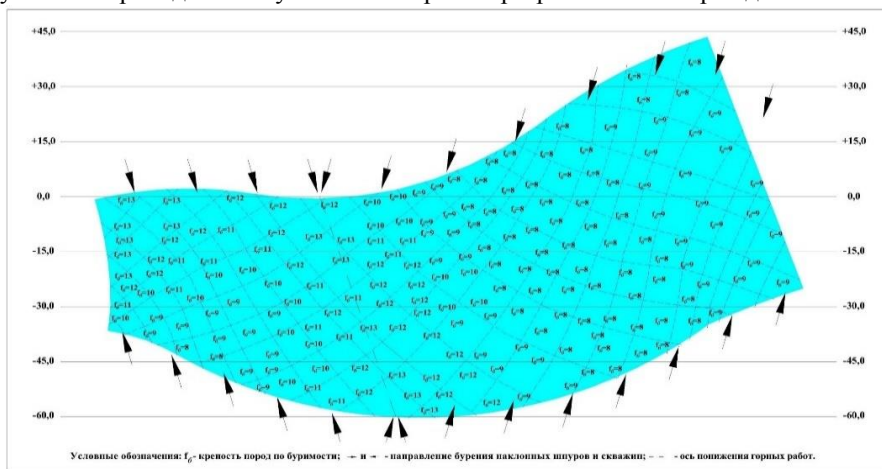
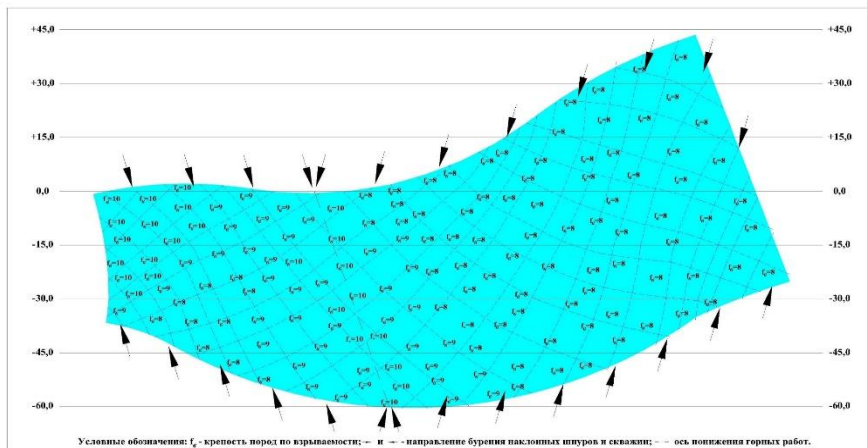


Рис. 1. Районирование карьерного или шахтного поля по категориям буримости f_b при бурении наклонных взрывных скважин и шпуров, (с отклонением 15° от вертикали) обеспечивающими условие $(8 \leq f_{b,i} \leq 13) < 15$, при $1 \leq i \leq (n=7)$, где n - число блоков карьера. Примечание. Согласно типовому проекту для всех блоков карьерного или шахтного полей паспорта БВР принимаются для $f_{b,i} = 15$, при $1 \leq i \leq (n=7)$



**Рис. 2. Районирование карьерного поля по категориям взрываемости f_{bl} с наклонными расположениями взрывных скважин и шпуров, (с отклонением 15 градусов от вертикали) обеспечивающими условие $(8 \leq f_{bl,i} \leq 10) < 15$, при $1 \leq i \leq (n=7)$, где n - число блоков карьера.
Примечание. Согласно типовому проекту для всех блоков карьера паспорта БВР принимаются для $f_{bl,i} = 15$, при $1 \leq i \leq (n=7)$**

Список литературы

1. Гзовский М.В. Математика в геотектонике. – М: Недра, 1971. – 240 с.
2. Кутузов Б.Н. Взрывные работы: учебное пособие для вузов / под ред. Б.Н. Кутузова. – 2-е издание, перер.и доп.– М: Недра, 1980. – 392 с.
3. Игизбаев Р.К., Игизбаев М.К., Игизбаев К.Б. Ограничение на теорию Мора при моделировании криволинейной прочностной анизотропии скальных горных массивов рудных месторождений // Комплексное использование минерального сырья – 2011. - №1. – С. 16-29.

УДК 528.3

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Кайратов Д., Нурпеисова М.Б.

Satbaev University, г. Алматы, Казахстан

Метро является самым быстрым, комфортным и экологичным из всех видов общественного транспорта. Он заметно разгружает наземный транспорт, уменьшая тем самым количество пробок и заторов на дорогах. Мы так привыкли к метро, что перестали замечать эти удобства.

Сегодня порядка ста городов мира имеют подземную железную дорогу. Самый короткий метрополитен - Стамбульский: 610 метров и две станции.

Самый длинный - 410 километров, 40 линий и 490 станций - Нью-йоркский. Метро в Алматы начали строить в сентябре 1988 года.

Оно создано на базе предприятий транспортного и шахтного строительства, участвующих в возведении железнодорожных тоннелей Байкало-Амурской магистрали, метрополитенов городов Новосибирска, Москвы, Ташкента и горнорудных предприятий Республики Казахстан. Но распад СССР в 1991 году и последовавший за этим разрыв хозяйственных и экономических связей не позволили в полной мере осуществить строительство Алматинского метрополитена, многие вопросы остались нерешенными из-за ликвидации ряда министерств и ведомств. И это стало причиной значительного отставания в сроках строительства метро. К тому же территорию города пересекают тектонические разломы во всех направлениях. Несмотря на все эти трудности, первая линия алматинского метро (первые семь станций) была сдана в эксплуатацию в 2011 году. В этих условиях остро встает проблема прогнозирования технического состояния строящихся и эксплуатируемых сооружений. Ее решение обеспечивается геодезическим мониторингом.

Основная цель мониторинга деформаций – оценка перспективы состояния сооружения с точки зрения надежности, долговечности и безопасности его эксплуатации. Кроме того, систематический мониторинг и прогноз позволяет обеспечить рациональное планирование различных ремонтных и реставрационных работ. С точки зрения геодезических задач, прогноз позволяет рассчитывать точность и периодичность наблюдений за деформациями. По мере возрастания точности и оперативности геодезических измерений расширяется круг проблем, в решение которых существенный вклад может внести современная геодезия. Одной из таких проблем является мониторинг сооружений с использованием приборов нового поколения.

Часто возникает необходимость проведения немедленного анализа измененных данных и принятия решения, особенно, когда превышены предельно допустимые значения смещений. Контрольные точки заложены вдоль улицы на фундаментах зданий и сооружений (рис.1).



**Рис. 1. а - станция метро «Москва»;
б - здания на земной поверхности станции**

Современные темпы строительства и эксплуатации инженерных сооружений, а также внедряемые новые методы трехмерного проектирования требуют внедрения новейших технологий и методик выполнения инженерно-геодезических работ, отвечающих концепции определения достоверной и оперативной трехмерной геометрической информации. Использование цифровых трехмерных моделей объектов значительно увеличивает степень автоматизации процесса проектирования или перепроектирования и актуально в решении различных инженеринговых задач. Модели реальных объектов местности и рельефа могут быть созданы различными методами, в том числе и с помощью лазерных сканирующих систем, которые на сегодняшний день являются одним из последних достижений в области сбора метрической информации об объектах местности.

Использование данной инструментальной системы, за счет высокой степени автоматизации и бесконтактного неразрушающего метода измерений дает возможность поднятия решения инженерно-геодезических задач на качественно новый уровень, значительно снизить влияние человеческого фактора и повысить безопасность при выполнении работ. С целью автоматизации геодезических съемок и обеспечения безопасности их проведения мониторинговых наблюдений за деформациями инженерных сооружений нами проведено лазерное сканирование наземных и подземных сооружений (рис.2). Это построение трехмерных моделей любого объекта со сложными конструктивными элементами или недоступные подземные выработки [1].



Рис. 2. Автоматизированная система наблюдения за деформациями инженерных сооружений

Исследование лазерной сканирующей системы и получаемых ею результатов измерений позволит говорить о пригодности ее применении для решения инженерных геодезических задач и дальнейшего формирования методик выполнения полевых и камеральных работ. Наиболее перспективным направлением применения лазерного сканирования представляется техническая диагностика, основывающаяся на результатах определения ряда параметров, характеризующих качество сооружений и оборудования, которые кратко можно назвать эксплуатационными отклонениями геометрических

параметров. Контроль многих геометрических параметров осуществляется с привлечением геодезических методов и средств измерений.

Это дает основание называть процесс измерения кратким выражением - геодезический контроль инженерных объектов.

Таким образом, внедрение в производство и более широкое использование технологии лазерного сканирования при решении задачи геодезического контроля, а также разработка и исследование методик применения данной технологии являются актуальными.

Степень разработанности проблемы. На сегодняшний день использование наземных лазерных сканеров для решения инженерных геодезических задач сдерживается отсутствием нормативно-технической документации, регламентирующих и описывающих методики проведения полевых и камеральных работ. Отрицательное влияние также оказывает некачественная техническая документация, поставляемая производителем в комплекте с лазерным сканером, несущая, как правило, нечеткую информацию о погрешности измерений, производимых данным прибором.

Среди современных методов и средств исследования смещений и деформаций земной поверхности весьма эффективными оказались технология спутниковой системы (GPS – технология). Наряду с GPS-технологиями, ведутся систематические наблюдения за инженерными сооружениями с помощью электронных тахеометров и цифровых нивелиров [2].

Нами проведены наблюдения за состоянием ряда уникальных сооружений в г. Алматы. Обработка спутниковых наблюдений выполнялась по стандартной программе SKI (фирмы «Leica» Швейцария), входящей в комплект GPS-приемников, в результате которой получены плановые координаты всех пунктов сети в заданной локальной системе координат и высотные отметки реперов станции (рис3).

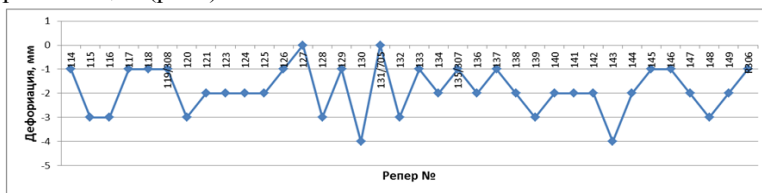


Рис. 3. График деформации реперов на территории станции метро «Драмтеатр Ауезова» за 2011-2018 гг.

Исследования деформаций поверхностей стен производятся установлением на этих поверхностях марок и определением их пространственных координат. Если применить комплект приборов фирмы Leica, то отпадает необходимость установления на стенах памятников марок и отражателей. Лазерный луч наводят по произвольным точкам и нажатием клавиши ALL, в течение короткого времени, кроме определения пространственных координат X_i , Y_i и Z_i , появляется возможность автоматически составлять на компьюте-

ре любые планы, разрезы и пространственные изображения элементов памятников архитектуры.

Выводы. Использование современных геодезических приборов, особенно технологию лазерного сканирования для решения задачи геодезического контроля позволило получить практически в реальном режиме времени геометрические параметры сканируемых объектов бесконтактным методом, а также оперативно производить мониторинг состояния этих объектов.

Основными преимуществами использования лазерного сканера являются полнота сбора информации, многоцелевое использование полученных результатов, существенное сокращение времени и объемов полевых работ, снижение влияния на результаты человеческого фактора и повышение уровня безопасности проведения полевых работ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МНВО РК (Грант №№AP14871694).

Список литературы

1. Нурпеисова М.Б., Орманбекова А., Бек А.А. Оценка технического состояния инженерных сооружений (монография). LAR LAMBERT Academic Publishing. - Германия, 2015.-117 с.

2. M. Nurpeissova, G.Kyrgyzbaeva, A.Ormanbekova. The Geodetic Monitoring of the Engineering Structures Stability Conditions. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. - P.9151-9163

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД В СВЕТЕ ОБОСНОВАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТКОСОВ КАРЬЕРОВ

Кирков А.Е.¹, Табагуа М.А.²

¹ИПКОН РАН, ²РГГРУ им. Серго Орджоникидзе

Анализ практики открытой разработки рудных месторождений свидетельствует о формировании тенденции роста глубины карьеров, что приводит к увеличению срока стояния бортов и откосов уступов [1]. Вопросы обеспечения устойчивости бортов представляют собой крайне актуальную задачу. Трещиноватость горных пород оказывает большое влияние на устойчивость откосов, поэтому её учет является наиболее актуальной темой в данном вопросе.

Для замера элементов залегания и частоты трещин, как правило, используются такие инструменты как: горный компас, солнечный компас, а также гироскопический трещиномер, угломер, линейка, рулетка [2]. Работа с данными инструментами требует непосредственного присутствия маркшейдера или геолога в месте производства замеров, в том числе в опасной зоне откоса уступа, поэтому для обеспечения безопасности выполнения замеров нарушенности и трещиноватости, требуется производство специальных мероприятий по приведению откосов и иных конструктивных элементов в безопасное состояние.

Классические методы наземной фотограмметрической съемки также предполагают необходимость присутствия исполнителей в зоне замеров для установки маркеров. Обработка данных натуральных и фотограмметрических съемок в современных условиях, как правило, производится в интерактивном режиме с использованием специализированных компьютерных программ.

Современные технологии позволяют решать вопросы устойчивости конструктивных элементов открытой разработки при возросших объемах в оперативном режиме с использованием летательных аппаратов – преимущественно квадрокоптеров с установлением на них оборудования для аэрофотосъемки.

Аэрофотосъемка, относится к дистанционным методам и позволяет при последующей компьютерной обработке с определять все необходимые характеристики структурной нарушенности по обнажениям массивов горных пород.

Обработку результатов аэрофотосъемки позволяет в достаточно оперативном режиме обеспечить программный комплекс ГИС «Геомикс», разработанный ОАО «Виогем».

Использование аэрофотосъемки позволяет исключить присутствие человека непосредственно на месте оценки обнажений, обеспечивая безопасность и рост производительности и эффективности проведения исследовательских работ.

Аэрофотосъемка позволяет обрабатывать не только сеть единичных трещин, вышедших на поверхность обнажения, но и определять плоскости, которые образованы системами трещин, оказывающие решающее влияние на устойчивость уступов и бортов карьера. Эти системы трещин заносятся в геомеханическую модель месторождения, и с учетом их действия методом итераций отстраивается устойчивый контур будущего карьера и оптимизируются технико-экономические показатели открытой разработки месторождения. Оценка устойчивости бортов производится методом конечных элементов с использованием оценок на основе выполненных испытаний физико-механических характеристик вмещающих пород с фиксацией систем трещин и характеристик их шероховатости, заполнителя, степени раскрытия. [3] Расчеты ведутся в программе MFE, разработанной Затеевым О.В., в плоской и объемной постановке упругой задачи.

Практическая реализация описанной методики будет использована применительно к открытой добыче руд Северо-Енисейских месторождений. Лицензией на разработку месторождений Высокое, Золотое, Заявка 13 и Первенец владеет ООО «Соврудник», входящее в АК «Южуралзолото группа компаний».

Месторождения расположены на удалении от 6 до 72 км от районного центра в горно-таёжной местности. На основе ТЭО на разработку месторождения предварительно оценили параметры карьеров с применением транспортной системы разработки с внешним отвалообразованием.

Выполнение геомеханических исследований, с учетом выявленных характеристик структурной нарушенности массива горных пород, позволит

уточнить и оптимизировать параметры карьеров и в целом повысит эффективность безопасность золотодобычи в регионе.

Список литературы

1. Алешин Б.Г., Анистратов Ю.И., Благов О.И., Справочник. Открытые горные работы. – М.: Горное бюро, 1994г.
2. Букринский В.А. Геометрия недр: учебник для вузов – 2-ое изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985г.
3. А.А. Григорьев, Е.В. Горбунова, А.Н. Девяткина, Оценка устойчивости бортов карьеров (разрезов) и отвалов: метод. указания. Владивосток: ДВГТУ, 2009 г.

УДК 622.831.32:004.896

ПОДГОТОВКА ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ СИСТЕМЫ PROGNOZ-ADS

Константинов А.В., Лештаев В.С.

ИГД ДВО РАН, г. Хабаровск

Разработанная в Хабаровске Институтом горного дела автоматизированная система геомеханического мониторинга Prognoz-ADS позволяет проводить анализ состояния породного массива с целью выявления опасных проявлений горного давления [1, 2].

Одним из основных направлений развития Prognoz-ADS является автоматизация процесса фильтрации сейсмоакустических событий от различных техногенных помех (бурение, взрывы и др.). В настоящее время значительная роль в классификации событий отводится операторам системы, что снижает оперативность и объективность проводимого анализа.

Разработка критериев фильтрации осложняется большой степенью неоднородности данных, значительным разбросом большинства анализируемых параметров, множеством других факторов вносящих погрешности в регистрируемые значения параметров [3]. Поэтому использования классических статистических алгоритмов не позволяет в полной мере использовать их для классификации.

В последних исследованиях разработчиками системы были выявлены характерные признаки и установлены закономерности, позволяющие с большой долей вероятности выделить часть техногенных помех и полезных сигналов. Например, по одному из объектов мониторинга за двухлетний период было автоматически идентифицировано 52% взрывных событий.

Ввиду вышеперечисленного исследователями было принято решение использовать комплексный подход, основанный на разработке фильтрационных критериев, позволяющих с высокой степенью вероятности выделить часть сигналов по каждой из классификационных групп. Далее по сформирован-

ным выборкам планируется создать математическую модель на основе методов машинного обучения, позволяющую отфильтровать большинство оставшихся «сложных» в интерпретации сигналов.

Задачу классификации можно решать множеством методов машинного обучения, включая не только нейросетевые модели [4-6], но также и классические алгоритмы, например, случайный лес или градиентный бустинг [7, 8]. Все эти подходы требуют качественной подготовки исходных данных. При подготовке признакового пространства следует учитывать возможные выбросы в данных, большой разброс значений, корреляцию параметров и наличие нулевых значений.

Для рассмотрения структуры регистрируемых системой Prognoz-ADS данных рассмотрим основные параметры сигналов Николаевского рудника предприятия АО «Дальполиметалл» за 2019 г. [9] (табл. 1).

Таблица 1

Параметры сигналов рудника Николаевский за 2019 г.

Всего – 6725 сигналов	Амплитуда, кв	Длительность, кв	Длит. фронта, кв	Порог, кв	Площадь	MARSE
Среднее значение	14496	1144	457	4966	1162867	431729
Станд. отклонение	44209	517	234	884	2577545	1262839
Мин. значение	280	370	92	3261	38825	12667
Медианное значение	2588	1001	428	4795	419840	103340
Макс. значение	524256	5561	2098	9970	67913528	30491424

Большинство представленных в таблице параметров получено из сигналограмм импульсов, пример которой представлен на рисунке 1.

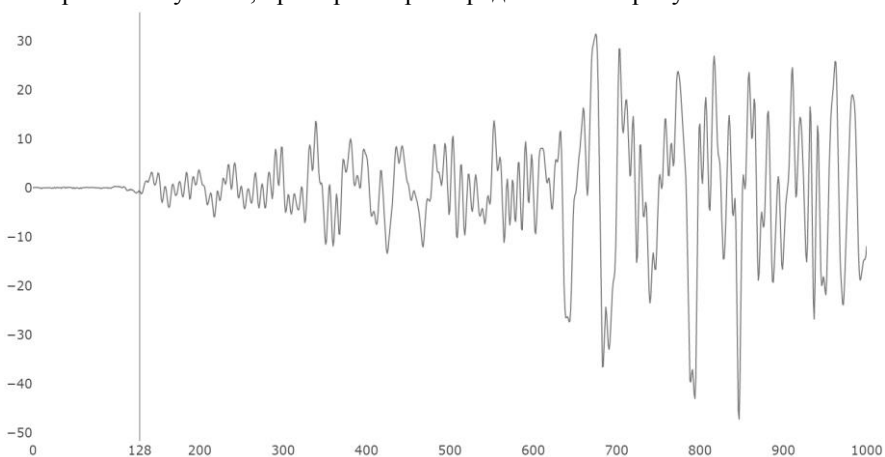


Рис. 1. Пример сигналограммы импульса

Как можно заметить из рисунка 2, у некоторых признаков сигналов наблюдаются достаточно длинные «хвосты». Эти сигналы с завышенными значениями могут в дальнейшем ухудшать качество обучаемой модели.

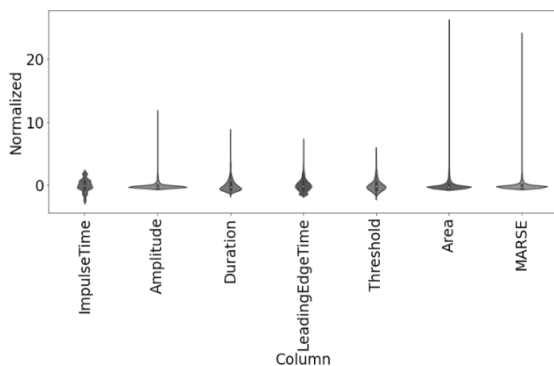


Рис. 2. Распределение параметров сигналов, нормированных по среднему значению

На рисунке 3 приведена матрица корреляции на основе метода Пирсона. Согласно приведённой матрице, сильная зависимость наблюдается лишь между параметрами MARSE и площадью.

	ImpulseTime	Amplitude	Duration	LeadingEdgeTime	Threshold	Area	MARSE
ImpulseTime	1.00	-0.01	-0.06	-0.03	0.01	-0.02	-0.01
Amplitude	-0.01	1.00	-0.12	-0.08	0.02	0.84	0.92
Duration	-0.06	-0.12	1.00	0.78	0.20	0.04	-0.10
LeadingEdgeTime	-0.03	-0.08	0.78	1.00	0.17	0.04	-0.07
Threshold	0.01	0.02	0.20	0.17	1.00	0.07	0.03
Area	-0.02	0.84	0.04	0.04	0.07	1.00	0.95
MARSE	-0.01	0.92	-0.10	-0.07	0.03	0.95	1.00

Рис. 3. Матрица корреляции основных признаков сигналов

Предварительная подготовка данных должны включать нормирование параметров; удаление «выбросов», т.е. сигналов со слишком завышенными параметрами; исключение коррелирующих признаков.

Особый интерес представляет подход к классификации сигналов, связанный с анализом временных рядов при помощи свёрточных и рекуррентных нейронных сетей. Использование таких моделей осложняется разной длиной регистрируемых сигналов, которые требуется разбивать на отдельные части при помощи скользящего окна, что приведет к разному количеству фрагментов. Для решения этой проблемы предлагается несколько подходов: ограничение количества частей, адаптивный размер окна или получение комплексного параметра, характеризующего всю сигналотрамм.

В зависимости от применяемого метода будет изменяться специфика подготовки данных. При ограничении количества фрагментов сигналотрамм, потребуется сокращать выборку данных, удаляя не удовлетворяющие по длительности сигналы. Для использования адаптивного окна дополнительной

подготовки данных не потребуется. В качестве комплексного параметра может использоваться спектральный анализ [10], что потребует разложение сигналограмм на спектры с получением множества новых признаков. Возможно также усложнить последний подход, используя дополнительно спектрально-корреляционный анализ сигнала, сопоставляя его с группой характерных сигналов. В таком случае создаваемая математическая модель будет построена по принципам рекомендательных систем.

Создание классификационной математической модели на основе методов машинного обучения это комплексный исследовательский процесс. Он включает многократное выдвижение гипотез, о том каким образом сформировать обучающую выборку или какую манипуляцию с признаком произвести в текущей итерации, чтобы повысить качество разрабатываемой модели. В каждом таком случае будет либо изменяться структура признакового пространства, либо его качественный состав.

Список литературы

1. Патент на промышленный образец № 129484 Российская Федерация. Автоматизированная система контроля горного давления «Prognoz-ADS»: № 2021500068: заявл. 02.03.2021: опубл. 25.01.2022 / И.Ю. Рассказов, Г.А. Калинин, П.А. Аникин, Д.С. Мигунов; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук. – EDN DRULDG.

2. Rasskazov I.Yu., Saksin B.G., Potapchuk M.I., Anikin P.A. The researches of burst-hazard on mines in Russian far east // *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: SET OF 2 VOLUMES*, Saint Petersburg, 22–26 мая 2018 года. – Saint Petersburg: Taylor & Francis Group, London, 2018. – P. 153-166. – EDN YBOOOO.

3. Ломов М.А., Константинов А.В. Анализ результатов сейсмического мониторинга Кукисвумчоррского месторождения // *Проблемы недропользования*. – 2022. – № 1(32). – С. 38-44. – DOI 10.25635/2313-1586.2022.01.038. – EDN OAOXAD.

4. Сергунин М.П., Еременко В.А. Обучение нейронной сети предсказывать параметры сдвижения горных пород налегающей толщи на основании данных о трещиноватости массива на примере рудника «Заполярный» // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2019. – № 10. – С. 106–116. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-106-116.

5. Hong K, Han E, Kang K. Determination of geological strength index of jointedrock mass based on image processing. // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. – 2017. doi: 10.1016/j.jrmge.2017.05.001

6. Thibaut Perola, Michael Gharbib, Marine A. Denollec. Convolutional Neural Network for Earthquake Detection and Location // *Geophysics*. – 2017. doi.org/10.48550/arXiv.1702.02073

7. Yuanyuan Pu, Derek B. Apel, Victor Liu, Hani Mitri. Machine learning methods for rockburst prediction-state-of-the-art review // *International Journal of Mining Science and Technology*. – 2019. – N29. – P. 565-570.

8. Liang WZ, Sari YA, Zhao GY, McKinnon S, Wu H. Probability Estimates of Short-Term Rockburst Risk with Ensemble Classifiers // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. – 2021. – 54. – P. 1799–1814. doi.org/10.1007/s00603-021-02369-3.

9. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021622135 Российская Федерация. База данных Nik-Dalpolimetalл системы геомеханического мониторинга Prognoz-ADS: № 2021621807: заявл. 01.09.2021: опублик. 13.10.2021 / П.А. Аникин, А.А. Терешкин, А.В. Сидляр, М.И. Рассказов, А.В. Константинов; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук. – EDN OAAOHL.

10. Розанов А.О., Цирель С.В. Разработка подхода к решению динамической задачи развития очага разрушения с использованием данных сейсмоакустического мониторинга // *Материалы VI Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых*. – 2017. – С. 74-80.

УДК 622.235

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Кочанов А.Н.

ИПКОН РАН

Изучение закономерностей действия взрыва в массиве прочных горных пород по-прежнему привлекает внимание и является актуальной задачей для совершенствования технологии буровзрывных работ в горном деле и строительстве. В исследованиях делаются попытки не только пересмотреть сложившиеся представления или дополнить их новой интерпретацией, но и дать ответ на ряд вопросов, которые до сих пор требуют ответа.

Так в ИПКОН РАН разработана новая многофазная и многозонная теория технологического дробления горных пород взрывом. Научная идея новой теории технологического дробления пород взрывом заключается в том, что горный массив, подлежащий дроблению, должен быть разделен на возможные индивидуальные зоны, в каждой зоне должны быть определены возможные фазы развития процесса [1]. В основу нового синергетического подхода в работе [2] положено «изучение взаимодействия исследований на стыке специальностей «Геомеханика» и «Разрушение горных пород», что позволяет использовать аналоги теоретического и экспериментального характера и соответствующий инструментарий одной из них в методологии эффективного применения приемов и методов другой». Авторы утверждают, что концепция синергетического взаимодействия процессов взрывного разрушения и геомеханики при разработке месторождений полезных ископаемых обеспечивает дальнейшую перспективу развития горной науки.

Эти новые результаты, а также прежде всего представления о структуре горных пород с учетом роли микротрещин в процессе предразрушения

заставляют постоянно уточнять или даже пересматривать представления о взрывном разрушении и искать новые пути прогнозирования результатов взрывного воздействия. В связи с этим становится актуальной задача построения феноменологических моделей процессов динамического разрушения, а также появляются новые аспекты и понимание значимости ранее полученных экспериментальных результатов [3-5].

Рассмотрим в дальнейшем три аспекта проблемы взрывного разрушения горных пород, а именно формирования зон нарушений, роль газового фактора и волн напряжений, а также свойства и структурные особенности горных пород, определяющие этот процесс.

Процесс динамического разрушения горной породы при взрыве одиночного заряда в бесконечном массиве горных пород достаточно изучен. На основании исследований выполненных в ИДГ РАН следует, что взрывное воздействие или механическое действие взрыва проявляется в формировании зон камуфлета, дробления и радиальных трещин [6-7]. В тоже время в целом ряде работ, в том числе и в публикациях академиков Садовского М.А., Адушкина В.В, отмечается возможность образования при взрывном воздействии зоны остаточных деформаций, предразрушения или развития микротрещиноватости [8-10].

Проведенные экспериментальные исследования в лабораторных и натуральных условиях при взрывном воздействии свидетельствуют о том, что наблюдается развитие микротрещиноватости, интенсивность которой зависит от расстояния до заряда. Развитие микротрещиноватости обуславливает снижение прочности горных пород. Интересным, на наш взгляд, является появление непосредственно перед эпицентром взрыва зоны слабой микротрещиноватости пород. Для этой зоны характерны не только незначительная микротрещиноватость пород, а также повышенное содержание зерен минералов с пластической деформацией, что позволяет отнести указанную зону к области повышенного уплотнения пород. Исследования микротрещин, их параметры при динамическом воздействии отражены в наших публикациях [3-5, 11-12], и при оценке результатов взрывного воздействия необходимо их учитывать.

Одним из наиболее важным аспектом взрывного разрушения является оценка роли газового и волнового фактора в этом процессе. Принято считать, что существуют два преобладающих механизма взрывного разрушения, связанных с распространением волн напряжений и квазистатическим расширением газовой полости, но нет единого мнения в силу сложности протекающих при взрыве явлений о степени их влияния на процесс разрушения. В тоже время на основании оценок скорости роста радиальных трещин и скорости распространения волн напряжений, а они отличаются почти на порядок, можно заключить, что волна напряжений не может рассматриваться как фактор развития трещин. Так и считают большинство современных исследователей, но в тоже время не учитывают развитие микротрещиноватости под действием волн напряжений. В рамках нашей

парадигмы волновые процессы на стадии предразрушения обуславливают дискретное развитие микротрещин и снижение упругих и прочностных свойств, что предопределяет дальнейшее развитие дезинтеграции горных пород. Реализация этого процесса зависит от структурной поврежденности, а также амплитуды действия волн напряжений.

Еще одним важным моментом является зависимость результатов взрывного воздействия от свойств горных пород. Согласно справочным данным удельный расход ВВ определяется прочностью горных пород, если исключить макротрещиноватость. Но из практики взрывных работ хорошо известно, что мрамор, менее прочная порода, чем гранит, разрушается при взрывном воздействии значительно сложнее в плане качества дробления. Объяснения этого дано в работе [13], из которой следует, что при взрывном разрушении необходимо рассматривать не только прочность, но и структурные особенности горных пород, которые определяют характер и скорость развития радиальных трещин, возможность их ветвления.

В заключении можно отметить, что результаты исследований могут быть использованы для развития фундаментальных научных представлений о процессах деформирования и разрушения горных пород при динамическом воздействии и послужить основой для совершенствования технологий ведения горных работ.

Список литературы

1. Казаков Н.Н., Викторов С.Д., Шляпин А.В., Лапиков И.Н. Дробление горных пород взрывом на карьерах. М.: РАН.2020. 520 с.
2. Викторов С.Д., Закалинский В.М., Шиповский И.Е., Мингазов Р.Я. Концепция синергетического взаимодействия процессов взрывного разрушения и геомеханики при разработке месторождений полезных ископаемых // ГИАБ. 2019. № 3. С. 113–124.
3. Викторов С.Д., Кочанов А.Н. Развитие микротрещин при динамическом разрушении горных пород // Изв. РАН. Сер. Физ. 2015. Т.79. №6. С. 829–831.
4. Шемякин Е.И., Кочанов А.Н., Деньгина Н.И. Параметры волн напряжений и предразрушение горных пород при взрыве / Разрушение взрывом и необратимые деформации горных пород. М.: ИГД им. А.А. Скочинского. 1997. С. 20-29.
5. Александров В.Е., Кочанов А.Н., Левин Б.В. О взаимосвязи акустических и прочностных свойств пород в зоне предразрушающего действия взрыва. /ФТПРПИ.1987. №4. С.45-48.
6. Адушкин В.В., Спивак А.А. Подземные взрывы. М.: Наука. 2007. 508 с.
7. Родионов В.Н., Адушкин В.В., Костюченко В.Н. и др. Механический эффект подземного взрыва. М.:1971. 256 с.
8. Садовский М.А., Адушкин В.В., Спивак А.А. О размере зон необратимого деформирования при взрыве в блочной среде.// Механическое действие взрыва. Сборник. Институт динамики геосфер РАН. М., 1994. С. 323-329.
9. Кук М. Наука о промышленных взрывчатых веществах. М.: Недра. 1980. 350 с.
10. Юревич Г.Г., Беляков В.Д., Севастьянов Б.Н. Охрана горных выработок от воздействия взрывов. М.: Недра.1972. 137 с.

11. Кочанов А.Н., Одинцев В.Н. Волновое предразрушение монолитных горных пород при взрыве. // ФТПРПИ. 2014. №6. С.38-48.

12. Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Пачежерцев А.А. Изучение микроструктурных характеристик на поверхности и в объеме гранита экспериментальными методами// Изв. РАН. Сер. Физ. 2018. т.82. №7. С.878-880.

13. Кочанов А.Н. К вопросу о механизме развития трещины в граните в условиях взрывного воздействия. // ГИАБ. 2016. №12. С.243-247.

УДК 551.2:553.4 (571.6)

РОЛЬ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

Крюков В.Г.

ХФИЦ Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск

Цель исследования – это повышение качества информации, влияющей на выбор и обоснование системы обработки месторождения и морфологию выработок.

Модель рассматривается как подобие природных объектов в измененном масштабе с отражением структурных связей элементов системы [1, 2]. В горном комплексе модели могут служить наглядным источником информации при проектировании добывающего предприятия. Сравнительный анализ различных характеристик рудного объекта позволяет вычленить те, которые наиболее существенно влияют на условия его эксплуатации. При этом по способу взаимоотношений выделяется внешние и внутренние факторы. К внешним относятся геотектоническая позиция месторождения, этапность и масштабность геологических процессов, блоковая структура объекта, морфология зон разломов. Внутренние факторы включают физико-механические свойства, трещиноватость, состав, структурно-текстурные особенности, однородность/неоднородность массива горных пород.

На практике, при геомеханических построениях специалисты по горному делу часто опираются на системы, разработанные З. Бенявски (RMR), Д. Лобшером (MRMR), Я. Якубик (RMRLJO1), Э. Хуком (GSI) и другими [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Базовым показателем является трещиноватость: интенсивность её проявления, морфология, включая протяжённость трещин, характер плоскостей трещин, пространственная ориентация. Учитываются также прочностные характеристики пород, обводнённость, качество массива по выходу керна, выветривание, техногенная трещиноватость. Дополняющее значение придается блоковому строению месторождения.

Внешние факторы, чаще всего, не учитываются или рассматриваются как дополнительные характеристики. Например, разломы сводятся к системе трещин, не принимается во внимание тектоническая позиция месторождения и другие факторы.

Геологические особенности месторождения обуславливают общее качество среды [9]. Выделяются четыре основные ситуации: 1) платформенные и субплатформенные обстановки; 2) магматогенно-тектонические структуры; 3) метаморфические купола; 4) зоны активных разломов. Интенсивность тектонических процессов нарастает от платформ к активным разломам. Прочностные характеристики пород не играют сколь-либо значимой роли. Например, вмещающие кимберлитовые трубки доломиты и другие осадочные породы отличаются хрупкостью, малыми значениями прочностных свойств, но карьерам свойственна устойчивость бортов.

Месторождениям первой группы свойственно:

- *залегание пород*: горизонтальное, пологое ($5-10^\circ$) с осложнениями в околожерловых участках, выкручивание до $30-45^\circ$;
- *разрывные нарушения*: зоны трещиноватости и развальцевания;
- *блочность*: умеренная, площадь 3-7 кв. км;
- *породы*: доломиты, известняки, мергели, аргиллиты, туфы, базальты, эруптивные брекчии, метасоматические граниты и метабазиты;
- *геологическая история*: осадконакопление, магматизм эруптивный и малых интрузивных форм, преобразование сланцев и гнейсов в метапороды;
- *физико-механические свойства*: доломиты (плотность 2.67 г/см^3 , предел прочности сжатие/растяжение 38.6/3.86), метаграниты (плотность 2.70 г/см^3 , предел прочности сжатие/растяжение 45.4/6.2), метагаббро (плотность 2.87 г/см^3 , предел прочности сжатие/растяжение 47.5/8.0), пироксениты (плотность 3.08 г/см^3 , предел прочности сжатие/растяжение 47.7/6.9);
- *примеры изученных месторождений*: Айхал, Белая Гора, Албын, Кун-Манье.

Месторождениям второй группы свойственно:

- *залегание пород*: крутое, $40-80^\circ$, с осложнениями, флексуры, скупивание;
- *разрывные нарушения*: зоны трещиноватости, смятия, развальцевания, тектонических конгломератов и глин; кольцевые и линейные;
- *блочность*: средняя, площадь 1-3 кв. км;
- *породы*: алевролиты, аргиллиты, туфы, базальты, эруптивные брекчии, габбро, диориты, гранодиориты, субщелочные граниты и монцониты, флюидолиты;
- *геологическая история*: осадконакопление, эруптивный и интрузивный магматизм, многоэтапный метасоматоз, интенсивно проявленная тектоника;
- *физико-механические свойства*: осадочные (плотность 2.89 г/см^3 , предел прочности сжатие/растяжение 92.2-2.62), интрузивные (плотность 2.75 г/см^3 , предел прочности сжатие/растяжение 125.6/7.30), роговики (плотность 2.89 г/см^3 , предел прочности сжатие/растяжение 255.0-5.92), рудно-метасоматические образования (плотность 2.73 г/см^3 , предел прочности сжатие/растяжение 139.5/6.23);
- *примеры изученных месторождений*: Делькен, Дяппе, Зимовье, Лугиинское, Пионерный узел (Бахмут, Андреевская, Николаевская).

Месторождения третьей группы имеют:

- *залегание пород*: крутое, $40-80^\circ$, с осложнениями, опрокинутое залегание осадочных пород, флексуры, брекчии нагнетания;

- *разрывные нарушения*: зоны кливажа течения, трещиноватости, смятия, тектонических конгломератов и глин; кольцевые и линейные;
- *блочность*: существенная, площадь 0.5-1 кв. км;
- *породы*: сланцы, гнейсы, субщелочные граниты и монзониты, флюидолиты;
- *геологическая история*: эдакнакопление, эруптивный и интрузивный магматизм, дислокационный метаморфизм, существенный метасоматоз, интенсивно проявленная тектоника;

- *физико-механические свойства*: флюидолиты (плотность 2.65 г/см³, предел прочности сжатие-растяжение 83.5/ 3.40), апоспессартиты (плотность 2.82 г/см³, предел прочности сжатие 114.2), рудно-метасоматические образования (плотность 2.70 г/см³, предел прочности сжатие/растяжение 103.6/5.5)

- *примеры изученных месторождений*: Маломырское, Харгинское.

Месторождения четвертой группы характеризуются своим набором свойств:

- *залегание пород*: широкое разнообразие морфологии геологических тел, флексуры, скучивание;

- *разрывные нарушения*: кливаж разлома, зоны трещиноватости, смятия, тектонических конгломератов и глин, линейные;

- *блочность*: высокая, площадь 0.1-0.5 кв. км;

- *породы*: алевролиты, аргиллиты, туфы, андезиты, базальты, эруптивные брекчии, габбро, диориты, гранодиориты, субщелочные граниты и монзониты;

- *геологическая история*: осадконакопление, эруптивный и интрузивный магматизм, интенсивно проявленная тектоника;

- *физико-механические свойства*: роговики (плотность 2.67 г/см³, предел прочности сжатие/растяжение 176.9/5.80), аргиллиты (плотность 2.50 г/см³, предел прочности сжатие/растяжение 100.3/5.50), рудно-метасоматические образования (плотность 2.80 г/см³, предел прочности сжатие/растяжение 122.6/6.15);

- *примеры месторождений*: Николаевское.

Таким образом, моделирование рудных месторождений является необходимым элементом при исследовании устойчивости массива горных пород при освоении месторождений. Теория формирования моделей опирается на геологические и геомеханические свойства объекта. Геологические факторы включают геотектоническую позицию объекта, этапность и масштабность тектонических процессов, блоковое строение массива, морфологию зон деструкции. Эти особенности относятся к категории внешних факторов. Геологическим особенностям принадлежит главенствующая роль в создании объемных слабоустойчивых и неустойчивых блоков массива горных пород. Геомеханические факторы представлены трещиноватостью, физико-механическими свойствами пород, их составом, строением и однородностью/неоднородностью самого массива. Участки максимальной концентрации геомеханических неоднородностей могут создать предпосылки умеренной и слабой устойчивости массива горных пород.

Исследования проводились с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения

научных данных Дальневосточного отделения Российской академии наук», финансируемого Российской Федерацией в лице Министерства науки и высшего образования РФ по проекту № 075-15-2021-663.

Список литературы

1. Гуреев А.М. 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. Коробейников А.Ф. Теоретические основы моделирования месторождений полезных ископаемых. Учебник для ВУЗов. Изд. 2-ое, доп.-ое. Томск: Изд-во ТПУ. 2009. 183 с.
3. Bieniawski Z.T. (1989) Engineering Rock Mass Classifications: a complete Manual for engineers and geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering. – John Wiley & Sons.
4. Hoek E., Carter T.G., Diederichs, M.S. (2013). Quantification of the Geological Strength Index chart. – ARMA 13-672.
5. Hoek E., Brown E.T. 1997. Practical Estimates of Rock Mass Strengths. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 34. № 8. pp 1165-1186.
6. Hudson J.A., Harrison J.P. (2000). Engineering Rock Mechanics: an introduction to the principles. - Pergamon Press.
7. Laubscher D. H. 1990. A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design. J S Afr Inst Min Metall, 90(10): 257-273.
8. Laubscher D. H. and Jakubec J. 2001. 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), pp. 475 – 481, Society of Mining Metallurgy and Exploration, SME.
9. Rasskazov I. Structural and geomechanical models of gold deposits in the Amur region / I. Rasskazov, V. Kriukov, M. Potapchuk // E3S Web of Conferences : VIII International Scientific Conference «Problems of Complex Development of Georesources» (PCDG 2020), Khabarovsk, Russian Federation, September 8-10, 2020. - 2020. - Vol. 192. - Ст. 01001. - DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019201001>. - eISSN: 2267-1242.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТА ПОЛНОЙ ПОДРАБОТКИ НАД ОЧИСТНОЙ ВЫРАБОТКОЙ

Кулибаба С.Б., Есина Е.Н.

ИПКОН РАН

Важнейшим параметром процесса сдвижения является степень подработанности земной поверхности, определяемая соотношением размера выработанного пространства в разрабатываемом пласте и средней глубины разработки, которая, в том числе, устанавливает факт наличия полной подработки. В научной и нормативно-методической литературе существует два способа определения глубины H_0 горизонта, разделяющего области полной и неполной подработки массива, в одном из которых используют коэффициент подработанности – отношение фактического размера выработанного

пространства к минимальному его размеру, при котором наступает полная подработка земной поверхности (способ *I*); во втором – углы полных сдвижений (способ *II*). Условимся обозначать величину H_0 , рассчитанную первым и вторым способами, соответственно $H_{0(I)}$ и $H_{0(II)}$.

В действующих Правилах охраны [1] степень подработанности характеризуется коэффициентом N , который зависит от отношения размера выработанного пространства D в каждом из двух главных сечений мульды сдвижения к средней глубине разработки H :

$$N = f\left(\frac{D}{H}\right) \quad (1)$$

При уменьшении глубины H до критического значения H_0 при заданном размере очистной выработки D коэффициент N принимает значение, равное единице, что и является признаком полной подработки земной поверхности. Значение отношения $K_0=D/H_0$ в документе [1] определено для каждого угледобывающего региона России. Так, для Кузбасса значение K_0 равно 1,6; для Донбасса 1,2; для Челябинского бассейна 1,1; для Воркутинского месторождения 1,4; и т.д. Зная значение этого коэффициента, величину $H_{0(I)}$ способом *I* вычисляют по формуле

$$H_{0(I)} = \frac{D}{K_0} \quad (2)$$

Во способе *II* для определения полной подработки используются углы полных сдвижений ψ_1, ψ_2 и ψ_3 , с помощью которых устанавливают выход на земную поверхность зоны полных сдвижений с образованием плоского дна мульды в каждом из главных ее сечений [0]. Величину $H_{0(II)}$ в этом случае можно определить по формуле:

$$H_{0(II)} = D \left[\frac{\sin(\psi_1) \cdot \sin(\psi_2 - \alpha)}{\sin(\psi_1 + \psi_2)} + 0,5 \sin(\alpha) \right], \quad (3)$$

где ψ_1, ψ_2, ψ_3 – углы полных сдвижений соответственно со стороны падения, восстания и простирания пласта, градус; α – угол падения пласта, градус.

Проблема заключается в том, что на практике эти два способа определения одной и той же критической глубины H_0 , дают отличающиеся друг от друга результаты. На вертикальном разрезе вкрест простирания пласта (рис. 1) показана схема определения H_0 этими способами.

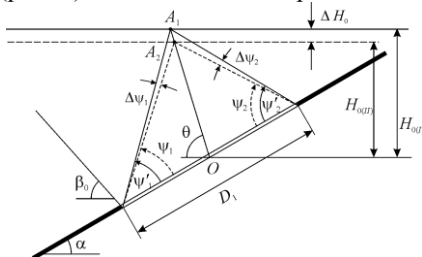


Рис. 1. Схема определения величины H_0 (*I, II*) двумя способами

Иными словами, в подрабатываемом горном массиве вместо одного появляются два расчетных горизонта полной подработки, между которыми существует некий фиктивный слой толщиной ΔH_0 , внутри которого степень подработанности однозначно не определена.

Выходом из сложившейся ситуации может быть приведение расчетных параметров, участвующих в определении положения горизонта полной подработки, в состояние, при котором описанная неоднозначность исчезнет, т.е., будет иметь место равенство $H_{0(I)}=H_{0(II)}$. Такое приведение можно осуществить двумя способами – либо изменением значения коэффициента K_0 в формуле (1), либо изменением значений углов полных сдвижений ψ_1, ψ_2, ψ_3 в формуле (3), введя в них соответствующие поправки $\Delta\psi$ (см. рис. 1).

Анализ точности определения положения горизонта полной подработки показал, что погрешность определения глубины $H_{0(II)}$ в разы превышает погрешность определения $H_{0(I)}$. Так, если при способе I среднеквадратическая погрешность в определении глубины $H_{0(I)}$ в области наибольших оседаний земной поверхности при ее подработке составляет 7,7 м, то при способе II эта погрешность может достигать десятков метров из-за неточности определения углов полных сдвижений. Помимо ошибок измерения это объясняется еще и тем, что границы зоны полных сдвижений в массиве над выработанным пространством имеют криволинейную форму [0], в связи с чем при разной удаленности от плоскости пласта значения углов ψ_1, ψ_2, ψ_3 неодинаковы.

Исходя из этого можно заключить, что неоднозначность в определении положения горизонта полной подработки возникает, в основном, по причине неточности ее расчета способом II, т.е. с помощью углов полных сдвижений по формуле (3). Поэтому наиболее эффективным с нашей точки зрения методом устранения этой неоднозначности является корректировка нормативных значений углов ψ_1, ψ_2', ψ_3' таким образом, чтобы вершина зоны полных сдвижений переместилась из точки A_2 , определенной способом II, в точку A_1 на горизонте полной подработки, вычисленной способом I (см. рис. 1). Тогда скорректированные значения этих углов $\psi_1', \psi_2', \psi_3'$ определяются по формулам:

$$\begin{aligned}\psi_1' &= \arctg \left[\frac{2K_0^{-1} + \sin(\alpha)}{\cos(\alpha) - 2K_0^{-1} \operatorname{ctg}(\theta)} \right] - \alpha; \\ \psi_2' &= \arctg \left[\frac{2K_0^{-1} - \sin(\alpha)}{\cos(\alpha) + 2K_0^{-1} \operatorname{ctg}(\theta)} \right] + \alpha; \\ \psi_3' &= \arctg(2K_0^{-1}).\end{aligned}\tag{4}$$

Сопоставление измененных углов $\psi_1', \psi_2', \psi_3'$ с табличными [1], проведенное для условий Донбасса и Кузбасса, показывает, что их разность $\Delta\psi$ составляет в среднем 1-3°, что не превышает величины стандартного отклонения при измерении углов полных сдвижений в натуральных условиях.

Таким образом, на основе оценки точности существующих способов расчета положения горизонта полной подработки над очистной выработкой обоснован метод устранения выявленной неоднозначности в его определении посредством корректировки углов полных сдвижений, а также предложены формулы для их вычисления.

Список литератур

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

2. Механика сдвижения и разрушения горных пород / Викторов С.Д., Гончаров С.А., Иофис М.А., Закалинский В. М. – М.: РАН. – 2019.– 360 с.

3. Кулибаба С.Б. Положение границ зоны полных сдвижений в массиве над выработанным пространством // Маркшейдерия и недропользование. – 2018. – № 4 (96). – С. 31-33.

УДК 622.1

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА MICROMINE

Лапиков И.Н., Трофимов В.А., Филиппов Ю.А.

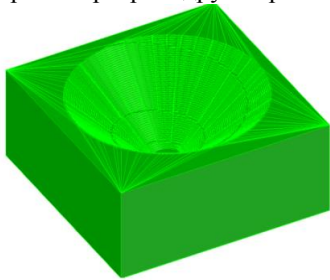
ИПКОН РАН

Статья посвящена визуализации в программном комплексе Micromine данных геомеханических расчётов, полученных с помощью программного комплекса ANSYS. Разработан алгоритм, импорта геомеханических данных напряженно-деформированного состояния из ANSYS в Micromine.

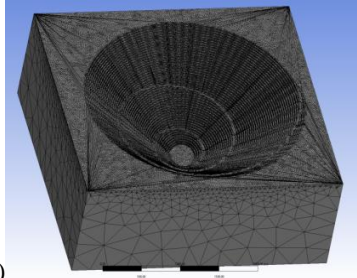
За последние годы в горнодобывающей промышленности произошел прорыв в области цифровизации. Развитие программных средств для горной отрасли, достиг высокого уровня. Практически на каждом горном предприятии горные инженеры, применяют специализированное программное обеспечение (ПО) [1-5] для совместного использования цифровых данных. В цифровой модели горного предприятия содержится разнообразная геoinформация, которая должна постоянно обновляться и пополняться.

В качестве примера в статье рассмотрен регламент, который позволяет быстро и эффективно планировать будущий карьер в ПО Micromines учётом геомеханических расчётов, выполненных с использованием специализированного ПО. На рисунке 1а представлена каркасная модель предполагаемого карьера, сформированная в Micromine, а на рисунке 1б приведена, созданная на основе каркасной модели, конечно-элементная модель для дальнейших

расчётов напряженно-деформированного состояния, определения устойчивости бортов карьера и других расчётных параметровв ПО ANSYS.



а)



б)

Рис. 1 (а, б). Пример планируемого карьера

Для визуализации в ГИС Micromine данных, получаемых при расчете в ANSYS, разработан регламент, в соответствии с которым необходимо:

1. Добавить файл с геомеханическими данными (из ANSYS) в MicrosoftExcel (рис.2).

	A	B	C	D	E
1	Node Num	X Location (mm)	Y Location (mm)	Z Location (mm)	Total Deformation (mm)
2	1	1,01E+05	3,46E+06	1,40E+06	678,13
3	2	1,01E+05	58600	1,40E+06	674,89
4	3	1,01E+05	3,22E+06	1,40E+06	675,98
5	4	1,01E+05	2,97E+06	1,40E+06	670,46
6	5	1,01E+05	2,73E+06	1,40E+06	661,71
7	6	1,01E+05	2,49E+06	1,40E+06	650,81
8	7	1,01E+05	2,25E+06	1,40E+06	639,3
9	8	1,01E+05	2,00E+06	1,40E+06	630,38
10	9	1,01E+05	1,76E+06	1,40E+06	626,59
11	10	1,01E+05	1,52E+06	1,40E+06	628,06
12	11	1,01E+05	1,27E+06	1,40E+06	635,25

Рис. 2. Таблица геомеханических данных

2. Импортировать файл MicrosoftExcel в Micromine, для этого использовать инструмент **Файл/Импорт/Excel**, выбирать все поля и присвоить имя файлу вывода (рис.3)

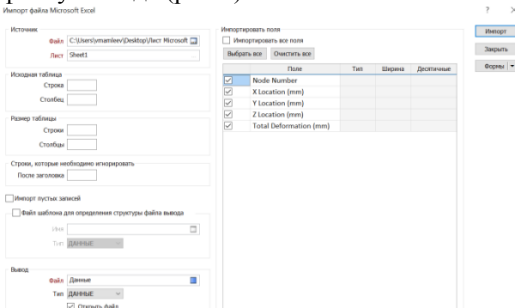


Рис. 3. Импорт файла MicrosoftExcel

3. Для визуализации файла данных в виде точек, используется инструмент **Формы визекса/Точки**.

4. В диалоговом окне **Точки** на вкладке данные ввода выбрать импортированный файл и поля координат (рис.4).

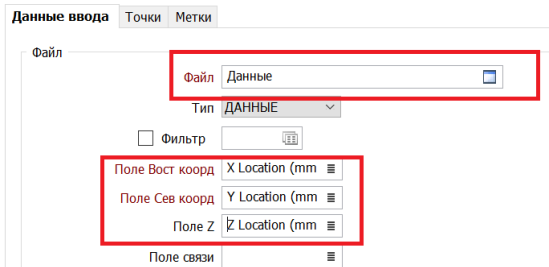


Рис. 4. Настройка окна Точек

5. На вкладке **Точки** включить **Показывать метки** и **Использовать символы**, выбрать символ, а также настроить цветовую кодировку по полю **Total Deformation**.

После всех проделанных действий расчетные данные будут визуализированы в Micromine как показано на рисунке 5.

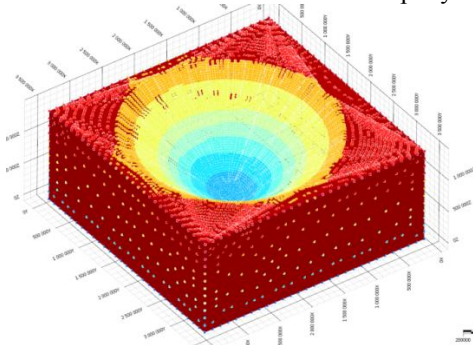


Рис. 5. Трёхмерная модель распределения смещений в Micromine

Разработанная методика позволяет визуализировать геомеханические расчёты в программном комплексе Micromine.

Список литературы:

1. Басаргин А.А. Моделирование месторождений рудных полезных ископаемых с использованием геоинформационной системы micromine// Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. Т. 1. № 2. С. 151-155.
2. Соннов М.А., Трофимов А.В., Румянцев А.Е., Шпилев С.В. Применение численного и блочного геомеханического моделирования для определения параметров крепления камерных выработок большого сечения // Горная промышленность. 2021. № 2. С. 127-131
3. Васильева М.А., Катков С.М. Прогнозирование зон возможной тектонической нарушенности по прочностным показателям пород на базе программного обеспечения micromine // Горный журнал. 2017. № 7. С. 88-91.
4. Creus P.K., Basson I.J., Koegelenberg C.K., Ekkerd J., de Graaf P.J.H., Mokele T., Bester M.3d fabric analysis of venetia mine, south africa: using structural measurements and implicitly-modelled surfaces for improved pit slope design and risk management // Journal of African Earth Sciences. 2019. Т. 155. С. 137-150.

5. Федотов Г.С., Пастихин Д.В. Методика оптимизации положения вскрывающих выработок при проектировании конечных контуров карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 8. С. 3-13.

УДК 622.831

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НИКОЛАЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗА 2021 ГОД

Ломов М.А., Федотова Ю.В., Константинов А.В.

ИГД ДВО РАН, г. Хабаровск

Расположенное в Восточном Приморье Николаевское полиметаллическое месторождение уже длительное время эксплуатируется в удароопасных условиях. Геомеханическое состояние массива в районе обрабатываемых в настоящее время рудных залежей («Восток-1» и «Харьковская») определяется приуроченностью к зоне меридионального тектонического нарушения ТН 3 и системе трещиноватости и нарушений северо-западного и субширотного направлений. В пределах данного участка рудничного поля происходит интенсивная структурная перестройка природно-технической системы, сопровождающаяся проявлениями техногенной сейсмичности, в том числе с разрушительными последствиями [1, 2].

В 2021 г. на Николаевском месторождении было зарегистрировано 8325 сейсмических события с различной энергетикой (рисунок 1). Для выделения потенциальных очагов крупных динамических проявлений горного давления использовалась методика, в основу которой положено предположение, что вся совокупность регистрируемых в массиве горных пород сейсмических событий представляет собой облако точек, среди которых есть фоновые (случайные) события, связанные между собой. Концентрация последних (кластер) в пределах ограниченного участка массива может служить признаком формирования очаговой зоны [3].

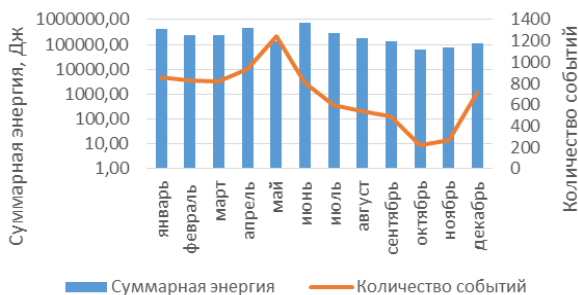


Рис. 1. Изменение суммарной энергии и количества сейсмических событий во времени Николаевского месторождения, по результатам мониторинга в 2021 г.

По результатам проведенного анализа массива данных выявлен ряд долгоживущих сейсмически активных зон и построена 3D модель акустической активности месторождения (рисунок 2) [4].

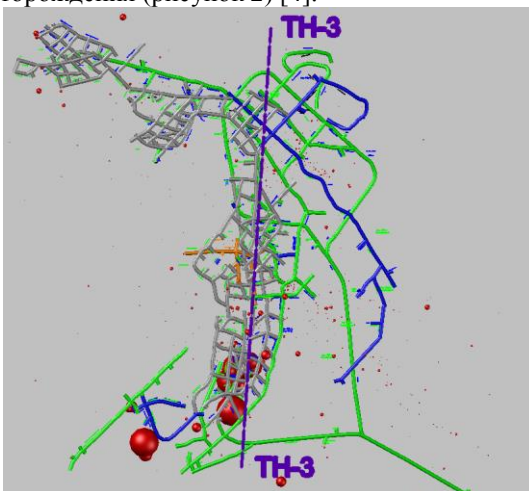


Рис. 2. 3D модель акустической активности Николаевского месторождения, построенная на основе данных геомеханического мониторинга за 2021 год (радиус сферы соответствует значению энергии сейсмического события)

Результаты сейсмоакустического мониторинга на глубоких горизонтах Николаевского месторождения свидетельствуют об усложнении геомеханической обстановки. Акустическая активность наблюдалась преимущественно в зонах ведения горных работ, а основная часть наиболее крупных геодинамических явлений была зарегистрирована на пересечении с тектонически активным разломом ТН-3 [5-7].

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведения дальнейших более углубленных комплексных исследований с использованием сейсмических, деформационных и иных методов с целью получения важной информации о напряженно-деформированном состоянии и закономерностях взаимодействия тектонических блоков в структурно-неоднородном массиве, позволяющих обосновать региональные предвестники и эффективные меры для предотвращения опасных динамических проявлений и снижения геодинамического риска.

Расчеты и анализ были выполнены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных Дальневосточного отделения Российской академии наук», финансируемого Российской Федерацией в лице Министерства науки и высшего образования РФ по проекту № 075-15-2021-663.

Список литературы

1. Рассказов И.Ю. Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона / И.Ю. Рассказов. – Москва: Закрытое акционерное общество «Горная книга», 2008. – 325 с. – ISBN 9785986721033.
2. Rasskazov I.Yu., Fedotova Yu.V., Sydlyar A.V., Potapchuk M.I. Analysis of induced seismic events in rockburst-hazardous Nikolaevsk deposit. MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2020;(11):46-56. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-46-56.
3. The researches of burst-hazard on mines in Russian Far East / I.Ju. Rasskazov, B.G. Saksin, M.I. Potapchuk & P.A. Anikin // Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: Proceedings of the 2018 european rock mechanics symposium. – 2018. – Vol. 1. – PP. 153-166.
4. Прохоров К.В., Гладырь А.В., Рассказов М.И. Центр коллективного пользования «Центр исследования минерального сырья» // Горная промышленность. – 2020. - № 4. - С. 120–124. - DOI: <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2020-4-120-124>. - ISSN: 1609-9192.
5. Ломов М.А. Разработка цифровых моделей природно-технических систем для контроля удароопасности глубокозалегающих месторождений России / М.А. Ломов // Молодые ученые - Хабаровскому краю: Материалы XXIV краевого конкурса молодых ученых, Хабаровск, 12–18 января 2022 года. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2022. – С. 103-108. – EDN DTRDOC.
6. Оценка факторов удароопасности Николаевского месторождения с помощью системы 3d моделирования результатов сейсмоакустического мониторинга / Ломов М.А., Сидляр А.В. // Проблемы недропользования. 2021. № 1 (28). С. 64-72. eISSN: 2313-1586 DOI: 10.25635/2313-1586.2021.01.064
7. Lomov M. 3D modeling system of seismoacoustic monitoring results at the Nikolaevskoye field / M. Lomov // E3S Web of Conferences : 8, Khabarovsk, 08–10 сентября 2020 года. – Khabarovsk, 2020. – P. 04008. – DOI 10.1051/e3sconf/202019204008.

УДК 624.1

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА

Медведев Е.А.¹, Негурица Д.Л.²

¹НИУ МГСУ, ²МГРИ

Современной тенденцией развития городских территорий является комплексное освоение подземного пространства. Это позволяет максимально эффективно использовать относительно небольшие доступные территории с наиболее востребованными сегодня объектами коммерческой недвижимости, а также решить транспортную проблему, обеспечив парковочными местами в подземном пространстве [1-3]. Наиболее влияющим фактором, который осложняют освоение этих территорий, является попадание в зону влияния строительства инфраструктурных объектов, которые подлежат охране [5-7].

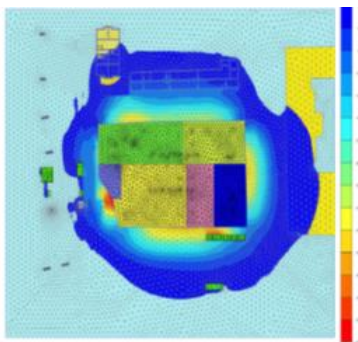
В качестве примера рассматривается строительство многофункционального комплекса (далее МФК) – сложного архитектурно-планировочного и инженерно-технический объект с высотной 36-этажной гостиницей, офисным восьмизэтажным зданием и подземными автостоянками глубиной до 15 метров. Анализ гидрогеологических условий, геомеханического состояния грунтового-породного массива и принятых технологических решений строительства многофункционального комплекса показал, что основными факторами, определяющими влияние от нового строительства на окружающую застройку, являются изменение напряженно-деформированного состояния грунта основания, вызванное устройством вблизи них котлована, вызванное дополнительной нагрузкой от высотной части, изменение гидрогеологических условий, технологические факторы, влияние специальных видов работ.

Для организации геомеханического мониторинга на начальном этапе проводится математическое моделирование методом конечных элементов с использованием программного комплекса Plaxis 3D в пространственной постановке изменение напряженно-деформированного состояния грунтового массива, конструкций сооружения и окружающей застройки.

Разработанная комплексная геомеханическая модель грунтового-породного массива и окружающей застройки, предусматривает поэтапную разработку котлована, создание стены в грунте, свайного основания, временных опор для раскрепления распорной системы, устройства трех ярусов распорной системы, поэтапное устройство фундаментных плит зданий, поэтапный демонтаж распорной системы, устройство вертикальных конструкций подземной части и перекрытий.

Анализ результатов моделирования развития деформационных процессов для зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства (рис. 1) показывает динамику изменения степени влияния устройства котлована на окружающую застройку. Определены границы расчетной зоны влияния (42-47 м) и объекты геотехнического мониторинга.

а)



б)

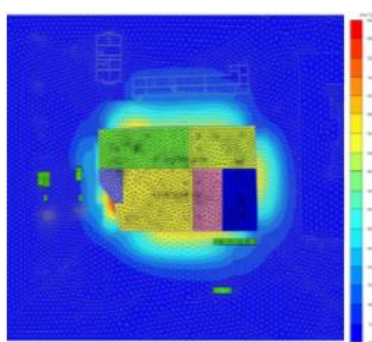


Рис. 1. Осадки (а) и деформации (б) грунтового-породного массива на момент окончания строительства

Для контроля протекания процессов сдвижения и деформирования от влияния строительства МФК был организован геомониторинг на наблюдательной станции как в грунтово-породном массиве, ограждающих конструкциях, зданиях и сооружениях, попадающих в зону влияния (рис. 6).

Цикл наблюдений за зданиями и сооружениями окружающей застройки производится с периодичностью не реже 2 раз в месяц в течение всего срока строительства и не менее 12 месяцев после завершения строительства [9]. Наблюдения за массивом грунта и подземными коммуникациями выполняется с периодичностью не реже 2 раз в месяц в течение строительства подземной части объекта. Контроль за конструкциями строящегося здания производится с периодичностью не реже 2 раз в месяц в течение всего срока строительства и не менее 12 месяцев после завершения строительства. Измерения проводились путем геометрического нивелирования по программе II класса с использованием инварных реек и тахеометрическая съемка. [10]. При фиксации значительных перемещений конструкций или при тенденции активизации деформационных процессов целесообразно применение лазерного сканирования для оценки и фиксации перемещения конструкций.

Анализ динамики изменений полученных значений перемещений ограждения котлована «стена в грунте» показывает, что прирост перемещений в каждом конкретном месте, в основном, происходит после установки визирной марки участка ограждения котлована в недавно открытых местах ограждения котлована. После монтажа элементов распорной системы происходит стабилизация горизонтальных перемещений.

Установлено, что контролируемые при геотехническом мониторинге параметры – горизонтальные перемещения плано-высотных деформационных знаков, установленных на конструкции стены в грунте, не превышают прогнозируемые расчетами значения.

Список литературы

1. Меркин В.Е., Конюхов Д.С. Основные проблемы, задачи и перспективы освоения подземного пространства Москвы // Метро и тоннели. 2017. № 1-2. С. 18–23.
2. Трубецкой К.Н., Иофис М.А. Состояние и проблемы освоения подземного пространства города Москвы // Маркшейдерский вестник. 2007. № 4 (62). С. 27–30.
3. Каргозия Б.А. Освоение подземного пространства крупных городов. Новые тенденции // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S1. С. 615–630.
4. Kulikova E.Y. Defects of urban underground structure and their prediction // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 012108 (2018). DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012108.
5. Глозман О.С. Подземное планирование Москвы // Жилищное строительство. 2016. №11. С. 14–19.
6. Neguritsa D. The problems of monitoring the deformation processes in the integrated development of the underground space of metropolitan cities // E3S Web of Conf. 56, 02027 (2018). DOI: 10.1051/e3sconf/20185602027.
7. Broere W. Urban problems – Underground solutions // Proc. 13th World Conf. of ACUUS: Advances in Underground Space Development. 2012 (2013). pp. 1528–1539.

8. Негурица Д.Л., Алексеев Г.В., Медведев Е.А., Терешин А.А., Слободин К.М. Оценка влияния строительства многофункционального центра на окружающую застройку в условиях мегаполиса // Процессы в геосредах. 2021. № 2 (28). С. 1112-1117.

9. Lehmann R., Neitzel F. Testing the compatibility of constraints for parameters of a geodetic adjustment model // J. Geodesy. 2013. V. 87 (6). pp. 555–566.

10. СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.

УДК 624.1

О ГЕОМОНИТОРИНГЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В МОСКВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Медведев Е.А.¹, Негурица Д.Л.², Терешин И.А.²

¹НИУ МГСУ, ²МГРИ

Развитие транспортной инфраструктуры современных мегаполисов осуществляется в сложных инженерно-геологических условиях и стесненных условиях городской застройки. Применяемое высокотехнологичное оборудование, реализующее беспосадочные технологии, реализуемые с применением специальных способов строительства, не исключают развития деформационных процессов в грунтово-породном массиве с вовлечением в процесс деформирования зданий, сооружений и коммуникаций, попадающих в зону влияния строительства [1-2].

Строительство транспортных объектов и подземных сооружений в Москве осуществляется в районах с разной степенью освоенности, что определяет взаимное влияние существующей застройки и возводимых сооружений метрополитена [3].

При проектировании линий метрополитена, зачастую пересекающих диагонально город и выходящих далеко в пригород, при организации маркшейдерско-геодезического мониторинга необходимо ориентироваться по следующим линиям градостроительного регулирования: границы территории улично-дорожной сети, озелененной территории, водной поверхности, линий регулирования застройки, технические границы полосы отвода железных дорог, границы территории промышленных зон, коммунальных зон, территории памятников истории и культуры, историко-культурных заповедных территорий, охранной зоны Московского Кремля, особо охраняемых природных территорий, границы территорий природных комплексов, памятников природы, зон охраняемого ландшафта, границы береговых полос, прибрежных полос, водоохраных зон, зон санитарной охраны, жестких форм санитарной охраны, санитарно-защитных зон, особо охраняемых зеленых территорий.

Отдельное внимание уделяется объектам, принадлежащим и эксплуатирующимся разными организациями и ведомствами, включая магистральные

трубопроводы и продуктопроводы различного назначения, имеющим значительные ограничения по режимам эксплуатации, подработка которых и мониторинг требуют разработки и согласования отдельных проектов.

При проектировании мониторинга целесообразно трассу разбивать на отдельные участки, в пределах которых будут производиться наблюдения. Это позволит унифицировать наблюдения по точности, периодичности, отчетности и согласованию проектов мониторинга. Это связано с проведением наблюдений на различных по своей ведомственной принадлежности объектах, что потребовало бы у исполнителей множества разрешений и допусков и может к значительному удорожанию работ, увеличению сроки выполнения ввиду необходимости согласования проекта у всех заинтересованных организаций.

Конечно, при организации мониторинга в виде локальных проектов, а не единого для всей очереди строительства, есть и некоторые отрицательные моменты: не комплексность, отсутствие единой методики и исполнителя.

Особое внимание при строительстве в центральной части города Москвы должно уделяться оценке и контролю геомеханического состояния исторических объектов, подлежащих охране ввиду их культурной ценности.

Мониторинг развития деформационных процессов необходимо производить по всей зоне влияния строительных работ на окружающие здания, сооружения, подземные коммуникации и подземные и наземные транспортные сооружения. Мониторинг развития деформационных процессов в исторических объектах необходимо производить в процессе научно-технического сопровождения строительно-монтажных работ на объекте. Это связано с тем, что для проведения этих работ требуется научно-методическое сопровождение и наличие специальных компетенций у исполнителя. При проектировании объекта следует производить комплексные инженерные изыскания и выполнять оценку реального состояния сохраняемых объектов, а также допустимые и предельные их деформации, что необходимо учитывать при проектировании объекта строительства [4,5].

Цикл наблюдений за зданиями и сооружениями окружающей застройки производится с периодичностью не реже 2 раз в месяц в течение всего срока строительства и не менее 12 месяцев после завершения строительства. Наблюдения за массивом грунта и подземными коммуникациями выполняется с периодичностью не реже 2 раз в месяц в течение строительства подземной части объекта. Контроль за конструкциями строящегося сооружения производится с периодичностью не реже 2 раз в месяц в течение всего срока строительства и не менее 12 месяцев после завершения строительства. Измерения проводились путем геометрического нивелирования по программе II класса с использованием инварных реек и тахеометрическая съемка [2]. При фиксации значительных перемещений конструкций или при тенденции активизации деформационных процессов целесообразно применение лазерного сканирования для оценки и фиксации перемещения конструкций.

Контроль при геотехническом мониторинге за перемещениями планово-высотных деформационных знаков, сопоставление контролируемых параметров с прогнозируемыми допустимыми значениями этих величин обеспечивают своевременное обнаружение признаков развития опасных деформаций и принятие превентивных мероприятий по управлению геомеханическими процессами.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Иофис М.А. Состояние и проблемы освоения подземного пространства города Москвы // Маркшейдерский вестник. 2007. № 4 (62). С. 27–30.
2. Картозия Б.А. Освоение подземного пространства крупных городов. Новые тенденции // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S1. С. 615–630.
3. Neguritsa D. The problems of monitoring the deformation processes in the integrated development of the underground space of metropolitan cities // E3S Web of Conf. 56, 02027 (2018). DOI: 10.1051/e3sconf/20185602027.
4. Терешин А.А., Алексеев Г.В., Негурица Д.Л. Геодезический мониторинг деформаций каркасного здания в период работ по укреплению грунтов в основании фундаментов // Маркшейдерский вестник. 2016. № 6 (115). С. 30-33.
5. СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.

ОБЩИЕ ЧЕРТЫ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И БИОМИНЕРАЛОВ

Меженев М.Е.^{1,2}, Зайцев Д.В.^{1,2}, Кочанов А.Н.³, Панфилов П.Е.^{1,2}

¹ Уральский Государственный Горный Университет, г. Екатеринбург;

² Уральский Федеральный Университет, г. Екатеринбург;

³ ИПКОН РАН, г. Москва

Введение

Важным аспектом в области горного дела является изучение прочностных свойств горных пород (ГП) в результате взаимодействия с внешней средой, например, с водой. Влияние воды на механические свойства ГП можно отчасти объяснить в рамках эффекта Ребиндера [1]. Описание деформационного поведения ГП удастся получить на основании данных испытаний малогабаритных лабораторных образцов [2,3]. Целью работы является изучение прочностных свойств ГП с поверхностью, не измененной в процессе приготовления образцов. В качестве модельных биоминералов была выбрана скорлупа яиц курицы и серой цапли, а в качестве ГП для сравнения – песчаник и антрацит. Выбор скорлупы яиц обусловлен тем, что она более чем на 90% состоит из карбоната кальция, что позволяет, по мнению академика С.Л. Вотякова, рассматривать ее как биоминерал [4].

Методика эксперимента

Средняя длина образцов приготовленных из скорлупы была около 50 мм, ширина 3 мм, а толщина варьировалась от 0,3 мм до 0,5 мм. Образцы

песчаника и антрацита для испытаний на диаметральное сжатие в форме таблеток диаметром 6 мм и высотой 3 мм.

Механические испытания образцов из скорлупы птичьих яиц по схемам 3-х точечного изгиба и сдвига / среза на воздухе и в воде проводили на испытательной машине SHIMADZU™ AG – X 50 kN. Образцы модельных горных пород испытывали по схеме диаметрального сжатия. Эксперименты проводили как на воздухе, так и в водной среде. Деформационное поведение образцов из скорлупы на микромасштабе аттестовали, следя за развитием трещин в образцах при *in situ* изгибе на предметном столике металлографического микроскопа МИМ-8М.

Результаты экспериментов

Типичные деформационные кривые образцов из скорлупы яиц курицы при изгибе и срезе приведены на рисунке 1. При изгибе поведение куриной скорлупы можно аттестовать как хрупкое. Тогда как при срезе поведение можно оценить, как вязкоупругое. На это указывает значительная деформация до разрушения и низкие значения упругих модулей и предела прочности. Деформационное поведение образцов, вырезанных из яиц серой цапли, не отличается от описанного выше. Поведение модельных ГП при сжатии (одноосное сжатие) и растяжении (бразильский тест) качественно подобно описанному выше поведению образцов из скорлупы яиц птицы [2].

По полученным результатам можно оценить влияние воды на деформационное поведение. Первое, под влиянием воды изменения типа деформационного поведения скорлупы не происходит. Второе, при изгибе в воде наблюдается снижение предела прочности и деформации до разрушения. Напротив, при срезе предел прочности практически не зависит от среды испытания, тогда как упругий модуль при испытании в воде в несколько раз выше, чем на воздухе.

Результаты исследования развития трещин в образцах, вырезанных из скорлупы куриных яиц, при изгибе на воздухе и в воде приведены на рисунке 2. Ширину трещины можно было увеличить примерно в два раза путем увеличения стрелы прогиба. Данные особенности характерны в вязкоупругих материалах.

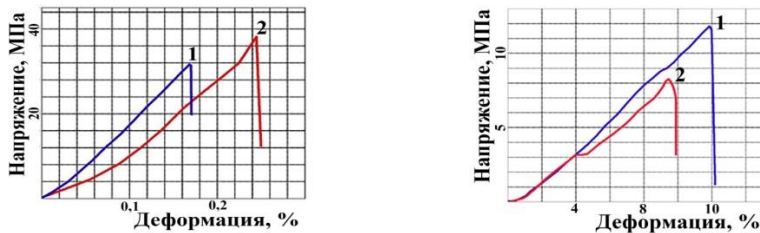


Рис. 1. Кривые деформационного поведения лабораторных образцов из скорлупы яйца курицы, при испытаниях на воздухе (кривая 1) и в воде (кривая 2): а. 3-х точечный изгиб; б. сдвиг / срез

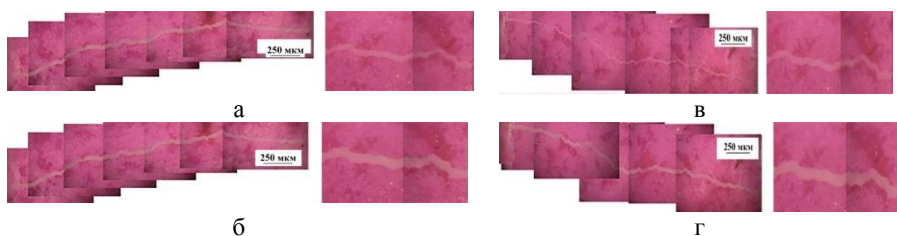


Рис. 2. Развитие трещин в лабораторных образцах скорлупы яйца курицы, при изгибе на воздухе (а, б) и вымоченных в воде (в, г): а – изгиб 1; б – изгиб 2 – подрастание трещины (стрела прогиба 0,1 мм на базе 10 мм); в – изгиб 1; г – изгиб 2 – подрастание трещины (стрела прогиба 0,05 мм на базе 10 мм)

В работе [3] были изучены трещины, возникающие в образцах при испытании по схеме диаметального сжатия на воздухе и в воде, в песчанике и других ГП. Во всех случаях трещины имели ломаный профиль и состояли из слившихся и почти слившихся порообразных трещин. При оценке ширины трещин было отмечено, что ширина трещин при испытании в воде была в два раза меньше, чем при испытании на воздухе. Эффект пластификации ГП в воде подтверждается данными по испытаниям на диаметральное сжатие образцов антрацита [3]. При испытании на воздухе антрацит ведет себя хрупко, распадаясь на части при приложении нагрузки. Из-за этого наблюдать опасную трещину в образцах после диаметального сжатия не удастся. Однако при испытании в воде, скорость роста трещины снижается и ее можно наблюдать в образцах после испытаний. По морфологии трещины в антраците близки к трещинам в других ГП, включая биоминералы (скорлупа птичьих яиц) и эмаль зубов человека [5].

Обсуждение результатов

Представленные экспериментальные данные показывают, что обработка поверхности при приготовлении образцов не приводит к изменению типа деформационного поведения. На тип деформационного поведения ГП и образцов из скорлупы птичьих яиц напрямую влияет доля растягивающих напряжений в схеме деформирования. Так, при преобладании в деформационной схеме растягивающих напряжений образцы демонстрируют хрупкое поведение на макроуровне. Однако если уровень растягивающих напряжений становится много ниже, как это имеет место при срезе и сжатии, макроскопическое поведение ГП независимо от их генезиса становится вязкоупругим. Также показано, что тип поведения ГП и биоминералов на макроуровне не зависит от среды испытания (воздуха или воды).

Показано, что на микроскопическом масштабе поведение ГП и биоминералов может быть охарактеризовано как вязкоупругое. Количественное влияние на параметры трещин в ГП и в образцах из скорлупы птичьих яиц оказывает и водная среда. Происходит пластификация неорганического материала в области трещины, где под влиянием внешней среды протекает

процессов релаксации напряжений существенно облегчается, но смены типа деформационного поведения не наблюдается [1].

Благодарности

Авторы выражают признательность С.Г. Мещерягиной из Института экологии растений и животных УрО РАН (Екатеринбург) за предоставление экспериментального материала и обсуждение результатов. Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ-СО № 20-48-660017.

Список литературы

1 Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. М.: Наука, 1979. С. 203.

2 Зайцев Д.В., Кочанов А.Н., Пантелеев И.А., Панфилов П.Е. О влиянии масштабного фактора при испытаниях на прочность образцов горных пород, Известия РАН. Серия физическая, 2017, том 81, № 3, с. 367–370.

3 Калачев В.А., Зайцев Д.В., Кочанов А.Н., Костандов Ю.А., Панфилов П.Е. О влиянии воды на характер растрескивания горных пород при диаметральном сжатии, Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук, 2017, Том 4, № 2, с. 53-57.

4 Вотяков С.Л. и др. «Минералогическая стоматология как междисциплинарная область исследований: некоторые итоги и перспективы развития» Проблемы стоматологии, 2017, Т. 13, № 1. С. 3-16

5 Зайцев Д.В. Природа прочности дентина и эмали зубов человека / Григорьев С.С., Панфилов П.Е. // Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. – 173 с.

УДК 622.831

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ЮЖНО-ХИНГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ РУД

**Рассказов М. И., Сидляр А.В., Крюков В.Г.,
Терёшкин А.А., Цой Д.И.**

ИГД ДВО РАН, г. Хабаровск

Объектом исследований является Южно-Хинганское месторождение марганцевых руд, расположенное на территории Октябрьского района Еврейской автономной области [1-2]. Его геодинамическая позиция и приуроченность к тектонически активным структурам в южной части Буреинского срединного массива на стыке крупных современных морфологических элементов региона: Средне-Амурской рифтогенной впадины и Буреинского хребта. Для обоснования проектных решений по вскрытию и подземной отработке участков месторождения необходима объективная информация о свойствах и состоянии массива горных пород, которая может быть получена в результате специальных геомеханических исследований. Часть из них заключена в проведении экспериментальных лабораторных исследований включая определения различных параметров физико-механических свойств горных пород [3-8].

Месторождение сложено известняками, карбонатными породами доломитового состава и сланцами верхнепротерозойской хинганской толщи, а также нижнекембрийскими известняками лондоковской свиты, прорванными дайками основных пород [9-11]. Осадочные породы собраны в изоклинальную складку, опрокинутую на восток. К востоку от месторождения Поперечного, на правобережье р. Самары картируется массив, сложенный гранитоидами биробиджанского комплекса. Пегматоиды и гранит-порфиры в истоках р. Столбухи, левый берег, в пределах рудного поля, актинолитизированы и березитизированы. Основным породам восточного фланга участка Поперечного характерен кайнотипный облик, мелкозернистое строение. Они относятся к габбро, габбро-диоритам. Габбро-диориты слагают довольно протяженные дайкообразные тела субмеридиональной ориентировки, отстоящие от рудного тела, северное на 50 м, южное – на 100-150 метров.

Месторождение Южно-Хинганское сформировано в условиях мелководного морского бассейна в депрессиях дорудного карстового рельефа и изначально представляло из себя единый стратифицированный рудоносный объект. В настоящее время на уровне современного эрозионного среза оно имеет вид разобщенных тектоническими подвижками фрагментов, которые представлены тремя вытянутыми в меридиональном направлении полосами, отстоящими друг от друга на 2–5 км. Каждая полоса в свою очередь расчленяется на несколько рудных участков. Анализ региональных материалов показал, что на блоковую и разломную структуру Южно-Хинганского месторождения решающее влияние оказали процессы мезо-кайнозойской активизации региона, которые охватили его территорию при формировании Хингано-Яуринской вулканической зоны и Средне-Амурской рифтогенной впадины.

По характеру поведения рудного горизонта в описываемом объеме, можно выделить 3 блока, которые разделены переходными областями, где, если рассматривать позицию рудного пласта в вертикальной плоскости относительно горизонта +220 м, происходит общее понижение его оруденелой части. Наиболее протяженный Центральный блок характеризуется устойчивым падением рудного горизонта на восток. Северное окончание блока интенсивно нарушено поперечными северо-западными разломами. Южный блок отличается наибольшей тектонической нарушенностью вмещающих пород и рудного горизонта и также устойчивым падением оруденелого пласта на восток. Северный блок характеризуется неустойчивым в плане положением рудного горизонта на разных глубинах [12-13]. Центральный блок отделяют от соседей переходные (можно интерпретировать как слабонарушенные) зоны мощностью около 300 м, где положение рудного горизонта устойчиво в плане, а ширина вовлекаемого в отработку блока становится минимальной. Если с этих же позиций рассмотреть изменение падения швов разломов, то обнаружим, что в пределах Северного блока они в большинстве своем падают на восток, в пределах Центрального преобладают очень крутые разломы, либо разломы, падающие как на восток, так и на запад. В Южном блоке (и в

пределах переходных и нарушенных зон) у этих структурных элементов не наблюдается устойчивости падения в одном или ограниченном количестве направлений. В целом Центральный блок в современном рельефе пространственно совпадает с наиболее возвышенной (приводораздельной) частью участка «Поперечный», а два других блока – со склоновыми частями рельефа, имеющими среднюю высотную отметку на 30-40 м ниже.

Блоковая делимость, возникшая на последнем этапе развития территории участка, а также активные разломы и блоки разной мобильности современного этапа. Как видно, структура линейного рудоносного блока в новейшее время практически сохраняет свою конфигурацию (кроме самого юга), однако деление его северо-западными разломами на блоки существенно изменилось, в связи с изменением общего плана тектонических деформаций в регионе. При этом Южный блок и на этом этапе остается наиболее геодинамически активным, поскольку пространственно совпадает с узлом сочленения крупных систем линеаментов меридионального, северо-западного и широтного направлений. Второй по активности Северный блок совпадает с узлом сочленения линеаментов таких же направлений, но имеющих меньший ранг. Описанные подвижные блоки имеют сдвиговую кинематику, интенсивность которой нарастает на юг, что хорошо увязывается с общим направлением дрейфа тектонического потока, а также с характером современного поля напряжений, зафиксированным на соседних объектах (рис. 1.).

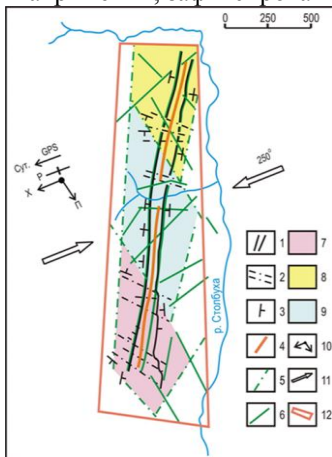


Рис. 1. Блоковая делимость участка «Поперечный» Южно-Хинганского месторождения на последнем этапе развития территории

Описанные подвижные блоки имеют сдвиговую кинематику, интенсивность которой нарастает на юг, что хорошо увязывается с общим направлением дрейфа тектонического потока, а также с характером современного поля напряжений, зафиксированным на соседних объектах.

Расчеты и анализ были выполнены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных Дальневосточного отделения Российской академии

наук», финансируемого Российской Федерацией в лице Министерства науки и высшего образования РФ по проекту № 075-15-2021-663.

Список литературы

1. Архипов Г.И. Дальневосточная черная металлургия: железорудносырьевая база и возможности развития. – Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2005.
2. Rasskazov M. I., Potapchuk M. I., Kursakin G.A., Tsoi D.I. Geomechanical justification of security measures in the development of the South-Khingana deposit of manganese ore. // E3S Web of Conferences, 2018, Vol 56, 02014.
3. Рассказов И.Ю., Курсакин Г.А., Потапчук М.И., Рассказов М.И. Геомеханическая оценка технологических решений при проектировании горных работ в удароопасных условиях // Записки Горного института. – 2012. – Т 198. – С. 80-85.
4. Рассказов М.И., Потапчук М.И., Цой Д.И., Терешкин А.А., Гладырь А.В. Изучение горно-геологических особенностей и определение физико-механических свойств горных пород золоторудного месторождения Делькен // Проблемы недропользования. – 2020. – № 2 (25). – С. 116-126.
5. Рассказов М. И., Цой Д.И., Крюков В.Г., Потапчук М.И., Федотова Ю.В. / Изучение горно-геологических особенностей и определение физико-механических свойств горных пород золоторудного Албынского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. - № 5-2. -С. 146 - 161. 45.
6. Саксин Б.Г., Рассказов И.Ю., Шевченко Б.Ф. Принципы комплексного изучения современного напряженно-деформированного состояния верхних уровней земной коры Амурской литосферной плиты // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015. – № 2. – С. 53-65.
7. Потапчук М.И., Курсакин Г.А., Сидляр А.В., Терешкин А.А., Рассказов М.И. / Повышение безопасности подземной отработки месторождений сложной тектонической структуры // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. - № S21. - С. 120 - 131.
8. Прохоров К.В., Гладырь А.В., Рассказов М.И. / Центр коллективного пользования «Центр исследования минерального сырья» // Горная промышленность. – 2020. — №4. – С.120 – 126.
9. Чеботарев М.В. Геологическое строение Южно-Хинганского марганцевого месторождения и вещественный состав его руд // Советская геология. 1958. № 8. С. 114-136.
10. Крюков В.Г. Генетические особенности древних месторождений Малого Хингана / Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: Третья Всерос. научн. конф.: сб. докладов в 2-х томах. – Благовещенск: ИГиП ДВО РАН. 2014. Т.1. С. 111-115.
11. Запорожцев В.М., Пустовойтова И.В. Современные представления о стратиграфии Кимканского рудного района и геологическое строение Сутарского месторождения железистых кварцитов // Разведка и охрана недр. 2013. № 11. С. 69-76.
12. Рассказов И.Ю., Саксин Б.Г., Потапчук М.И., Усиков В.И. Геомеханическая оценка условий разработки Южно-Хинганского месторождения марганцевых руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 1. – С. 13-22.

13. Усиков В.И. Динамика и строение тектонических потоков. Анализ 3D – моделей рельефа / Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии: VII Косыгинские чтения: Материалы всероссийской конференции. – Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А.Косыгина, 2011. – С. 328-331.

УДК 69.035.4, 550.83.045

ДОЛГОСРОЧНЫЙ МОНИТОРИНГ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ЕЭМИ (ЕИЭМПЗ)

Романевич К.В.

ОАО «Научно-исследовательский, проектно-изыскательский институт «Ленметрогипротранс»

В настоящее время оценка технического состояния транспортных тоннелей осуществляется на основании инструкций и методических рекомендаций. Состав работ по надзору включает визуальные осмотры и геодезическо-маркшейдерские наблюдения состояния конструкций тоннелей с заданной периодичностью, не позволяющие ответить на вопрос о причинно-следственной связи выявленных нарушений с происходящими процессами в работе системы «обделка – вмещающий массив», вызванных техногенными или природными процессами. Такую информацию можно получить только при наличии контрольно-измерительной аппаратуры в теле самой обделки. Опыт строительства транспортных тоннелей показывает, что идеальной схемой для контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) обделки, является оснащение обделки контрольно-измерительной аппаратуры (рис.1) в составе горно-экологического мониторинга (ГТМ) при строительстве тоннелей [1].

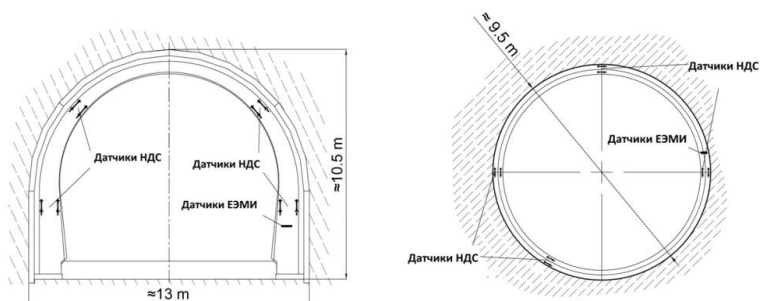


Рис. 1. Примеры оснащения контрольно-измерительной аппаратурой постоянной обделки железнодорожных тоннелей в составе горно-экологического мониторинга для контроля напряженно-деформированного состояния конструкций (датчики НДС) и вмещающего массива (датчики регистрации естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ))

Реализация ГТМ при строительстве транспортных тоннелей трассы Адлер – Красная Поляна являлась сложной и уникальной задачей, по результатам которой осуществлялась корректировка проектных решений. Основной объем работ приходился на выполнение инструментальных геомеханических, геофизических, сейсмологических, гидрогеологических, геодезическо-маркшейдерских и экологических наблюдений. Исследования велись как по временным профилям и точкам наблюдений в горных выработках и на поверхности, так и по системе устанавливаемых по мере проходки тоннелей постоянных датчиков разного типа, которые монтировались с учетом геологических особенностей трассы (литологические разности, тектонические нарушения, разломы). Наиболее сложные участки, выявленные по трассе тоннелей при строительстве, являются потенциально опасными и при эксплуатации. Но как контролировать такие участки при эксплуатации, можно ли полагаться только на визуальные осмотры? Ведь и практики передачи информации от строительной организации в эксплуатирующую организацию о «сложных» участках строительства нет [1].

Для обеспечения безопасной эксплуатации тоннелей специалистами ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» была разработана и внедрена система ГТМ на основе непрерывного контроля важных параметров системы «обделка – вмещающий массив». Сбор информации происходит в режиме реального времени с возможностью прогнозирования технического состояния основных конструкций тоннелей, что подразумевает оперативный контроль за негативными (техногенными и природными) воздействиями на сооружения и определение качественных и количественных показателей их влияния на конструкции, а также онлайн оценку геодинамической активности системы «обделка – вмещающий массив» для прогнозирования изменений НДС пород вблизи подземных выработок на всем их протяжении. Для этого к моменту окончания строительства была установлена и запущена в эксплуатацию вся контрольно-измерительная аппаратура, выполнена синхронизация всех установленных в конструкции датчиков, налажена регистрация измеряемых параметров в автоматическом режиме и разработан программный комплекс способный решать поставленные задачи с дальнейшей передачей информации диспетчеру на пульт управления [2, 3].

Система ГТМ на всех тоннельных участках трассы Адлер – Красная Поляна входит в состав АСУ ТП и состоит из:

- контроля НДС обделок с помощью тензометров;
- контроля состояния системы «обделка – вмещающий массив» по данным регистрации сейсмических колебаний с помощью сети сейсмостанций;
- оценки устойчивости системы «обделка – вмещающий массив» методом регистрации естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ), или по-другому естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ).

Большинство работ в рамках тематики взаимосвязи ЕЭМИ и изменений НДС (геодинамики) в подземных выработках посвящено измерениям ЕЭМИ в угольных шахтах, выработках рудников и на карьерах. Основа этих работ – контроль и прогноз горных ударов, катастрофических сдвижений массивов. Работ по регистрации ЕЭМИ в транспортных тоннелях сравнительно мало, но они звучат достаточно убедительно и позволяют полагаться на результаты регистрации ЕЭМИ при оценке изменения НДС системы «обделка тоннеля – вмещающий горный массив» при высоком уровне техногенных помех, и даже создавать системы непрерывного контроля ЕЭМИ – по аналогии с системами ЕЭМИ-мониторинга в угольных шахтах [4, 5].

После предварительного анализа данных комплексного долгосрочного мониторинга шести железнодорожных тоннелей были выявлены некоторые общие закономерности. Вместе с тем, также были отмечены и различия в характере долгосрочных изменений параметров ЕЭМИ и НДС в различных геологических условиях и для различных типов и форм тоннельной обделки. По двум характерным сечениям по тоннелям №5 и №6 в данной работе приведены некоторые обобщенные выводы.

Результаты долгосрочной регистрации ЕЭМИ по системе ГТМ в железнодорожных тоннелях отражают циклические изменения свойств прилегающего к тоннелям горного массива в тесной взаимосвязи с температурным режимом [6]. На двух различных участках показано, что связь эта не прямая и не постоянная – она может зависеть от структурного состава вмещающих горных пород, материалов и конструкций обделок железнодорожных тоннелей, различных механизмов смыкания и размыкания микродефектов для конкретного вмещающего массива и др.

Мониторинг ЕЭМИ ведется по осредненным по специальному алгоритму данным, в то время как спектрограммы сигналов ЕЭМИ предоставляют более полную информацию по каждому измерению, ярко отражающую структуру излучения, а, следовательно, и динамику геомеханического процесса в массиве. Сейчас данные спектрограмм используются нами при изучении процессов деформации образцов различных материалов и при однократных измерениях в тоннелях, но не в режиме полноценного непрерывного мониторинга.

Эти работы продолжаются, и в дальнейшем будет оцениваться ЕЭМИ, возникающее на последующих этапах жизни опытных подземных сооружений в рамках долгосрочного мониторинга.

Список литературы

1. Лебедев М.О., Безродный К.П., Шляев С.А. Геотехнический мониторинг как основа прогнозирования технического состояния обделки при эксплуатации транспортных тоннелей. Путь и путевое хозяйство. 2019. №7, 20-25.
2. Безродный К.П., Культин И.В., Лебедев М.О. Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) в железнодорожных тоннелях Олимпийской трассы. Наука и транспорт, 2009. № 1, 24-26.

3. Безродный К.П., Лебедев М.О., Горно-экологический мониторинг при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей Северного Кавказа. 2014. Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». Выпуск 5 (24).

4. Wang, Enyuan, Xue-qiu He, Xiaofei Liu and Wenquan Xu. Comprehensive monitoring technique based on electromagnetic radiation and its applications to mine pressure. Safety Science 50 (2012). Pp. 885-893.

5. Xuelong L., Enyuan W., Zhonghui L., Zhentang L., Dazhao S., Liming Q. Rock Burst Monitoring by Integrated Microseismic and Electromagnetic Radiation Methods. Rock Mechanics and Rock Engineering, November 2016, Volume 49, Issue 11, pp. 4393–4406.

6. Romanevich, K.V., Lebedev, M.O., Andrianov, S.V., Mulev, S.N. Integrated Interpretation of the Results of Long-Term Geotechnical Monitoring in Underground Tunnels Using the Electromagnetic Radiation Method. Foundations 2022, 2, pp. 561–580. <https://doi.org/10.3390/foundations2030038>

УДК 528.3

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПО РАЗВИТИЮ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗА СОСТОЯНИЕМ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Сайлыгараева М.А., Солтабаева С.Т., Байгурын Ж.Д.

КазННТУ им. К.И.Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

Изученность технического состояния наземных (уникальных зданий и сооружений) и подземных (шахты, рудники, тоннели, метрополитены т.д.) объектов постоянно находится под специальными наблюдениями, направленными на точность измерений и полноту информации для принятия управленческих решений, обеспечивающих безопасность и надежность от влияния негативных воздействий и факторов в процессе эксплуатации. В настоящее время существует достаточное количество нормативно-методических документов и материалов, где предусмотрен ряд технических рекомендаций по созданию и проведению системы мониторинга за техническим состоянием высотных зданий и уникальных сооружений и, соответственно, соблюдение технических регламентов по обеспечению их безопасности при эксплуатации [1,2,3].

Однако проблемы мониторинга технического состояния высотных и большепролетных зданий и сооружений остаются актуальными, и в связи с этим вопросы устойчивости строительных объектов требуют дальнейшего проведения научно-исследовательских работ. Это связано с тем, что в последние годы происходят аварии, связанные с разрушением строительных конструкций отдельных объектов: на спортивном стадионе «Астана-Арена», (г. Нур-Султан), 9 февраля 2020 г. под тяжестью снега рухнула крыша. Перед началом тренировки раздался ужасный грохот и треск в результате падения кусков крыши в виде стекла и металла (рисунок 1) [4].



Рис. 1. Обрушение крыши на спортивном стадионе «Астана-Арена»

В Шымкенте на центральном стадионе во время матча «Ордабасы» – «Аксу» 21 мая 2022 г. обрушилась крыша кровли основного здания Центрального стадиона им. Кажымукана (рисунок 2) [5].



Рис. 2. Обрушение крыши здания Центрального стадиона, г. Шымкент

Еще одним примером являются оседания многоэтажных домов в г. Алматы, произошедшие по причине увлажнения грунтов оснований в результате накопления влаги от поверхностных вод [6].

Подобные аварии и разрушения строительных объектов: аквапарк «Трансвааль» 14 февраля 2014 г. (г. Москва), обрушение кровли плавательного бассейна «Дельфин» (г. Чусовой Пермского края) 4 декабря 2005 г., обрушение Бауманского рынка (г. Москва) 23 февраля 2006 г., авария на крытом конькобежном центре в Крылатском (г. Москва) 22 ноября 2007 г., обрушение перекрытий здания при выполнении строительно-монтажных работ на Староконошном пер. (г. Москва) 10 декабря 2008 г., обрушение здания на Садовнической набережной (г. Москва) 17 июня 2009 г. и др.

Важную роль в развитии системы мониторинга несущих конструкций уникальных зданий и сооружений, определении горизонтальных и вертикальных смещений, осадок и крена играют автоматизированные системы мониторинга [7].

Одним из эффективных методов наблюдений за напряженно-деформированным состоянием зданий и сооружений предлагается автоматизированная система мониторинга, состоящая из серии датчиков КИП для измерения различных параметров отклонения конструкций от проектных

значений. При помощи датчиков (рисунок 3) регистрируем значения параметров (осадки, крен, давление, частоты и колебания и т.д.)



Рис. 3. Двухканальный регистратор данных для тензометрических датчиков нагрузки

На основании применения автоматизированной системы мониторинга возможно не только оценить текущее состояние строительных конструкций объекта, но и спрогнозировать его будущее состояние.

Список литературы:

1. Фельдман В.Д., Мережко Л.М. Методика геодезического мониторинга технического состояния высотных и уникальных зданий и сооружений. - М.: ООО «Тектоплан», 2009, 80 с.
2. Шахраманьян А.М. Методические основы создания систем мониторинга несущих конструкций уникальных объектов. Вестник МГСУ. 1/2011.
3. Z. Zhantayev, A.S. Nurakynov, A Kaldybayev «GPS-Derived Velocity Fields of Northern Tien Shan from Permanent Stations in Kazakhstan,» IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Valencia, 2018, pp. 3189-3191. doi: 10.1109/IGARSS.2018.8518103 (IF= 0.32)
4. <https://ru.sputnik.kz/20200211/prichiny-obrushenie-krysha-astana-arena-12803141.html>
5. <https://informburo.kz/novosti/v-shymkente-vo-vremya-futbolnogo-matcha-na-stadione-obrushilas-krysha>
6. Сайлыгараева М.А. Мониторинг смещений высотных зданий на урбанизированных территориях. Материалы 15 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 25-28 октября 2021 г. – М: ИПКОН РАН, 2021 - 352 с.

УДК 622,831.537.86

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА РЕБИНДЕРА НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Стариков Г.П., Борисенко Э.В., Шатохин С.В., Корвякова Н.П.

ГБУ «ИФГП», г. Донецк, ДНР

Горные породы в абсолютном большинстве представляют собой поликристаллические или гетерогенные природные минеральные системы, состоящие из совокупности отдельных элементов - зерен различных минералов, имеющих, как правило, различные упругие и прочностные характеристики.

Структурные особенности горных пород как совокупности различных минералов определяют изменчивость их прочностных и упругих свойств, которая проявляется по-разному в зависимости от масштабного уровня. Каждому типу породы соответствует определенный диапазон изменения свойств.

Горные породы всегда имеют множество изъянов, дефектов, слабых мест в своей структуре. Эти изъяны в структуре тела выражаются в том, что примерно через каждые сто атомов или молекул с малыми, почти одинаковыми расстояниями между ними возникает заметно большее расстояние между ближайшими соседями. Так как силы сцепления частиц резко падают с увеличением расстояния, такой изъян подобен тому, как если бы в цепи через сто прочных стальных звеньев включилось бы одно бумажное звено. Ясно, что именно такое слабое звено и определило бы низкую прочность всей цепи. Поэтому-то прочность любого реального твердого тела в сотни и даже тысячи раз меньше, чем прочность «идеального» – бездефектного твердого тела того же самого состава и структуры» [1].

Сущность эффекта Ребиндера состоит в облегчении деформирования и разрушения твердых тел и самопроизвольном протекании в них структурных изменений в результате понижения их свободной поверхностной энергии при контакте со средой, содержащей вещества, способные к адсорбции на межфазной поверхности. Проявляется лишь при совместном действии среды и механических напряжений. Суть эффекта состоит в снижении прочности и возникновении хрупкости, уменьшении долговечности, облегчения диспергирования.

Характерная форма проявления эффекта Ребиндера - многократное падение прочности, повышение хрупкости твердого тела, снижение его долговечности. Так, смоченная ртутью цинковая пластина под нагрузкой не гнётся, а хрупко разрушается [2].

Другая форма проявления Эффекта Ребиндера - пластифицирующее действие среды на твердые материалы, например воды на глину и гипс, органических поверхностно-активных веществ на металлы и др.

Молекулярная природа эффекта состоит в облегчении разрыва и перестройки межмолекулярных (межатомных, ионных) связей в твердом теле в присутствии адсорбционно-активных и вместе с тем достаточно подвижных инородных молекул.

Горная порода изначально имеет некоторую степень естественной микротрещиноватости. Если порода гидрофильная или нагнетаемая в нее жидкость является химически активной при взаимодействии с поверхностью горной породы, то происходит очень быстрое насыщение микротрещин данной жидкостью, и она адсорбируется на ее поверхности. Такой эффект приводит к появлению сил, расклинивающих микротрещины под воздействием давления жидкости (рис. 1), в результате чего появляются новые микротрещины и происходит рост существующих.

Таким образом, уменьшается прочность породы и повышается ее пластичность, что вызвано увеличением количества микротрещин. Чем более активно жидкость адсорбируется на поверхности твердого тела, тем более ярко проявляется эффект Ребиндера.

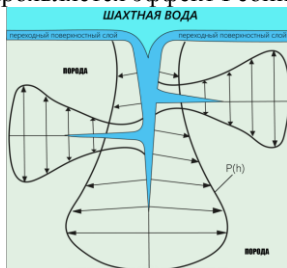


Рис. 1. Схема развития микротрещин и распределение расклинивающего давления при возникновении эффекта Ребиндера

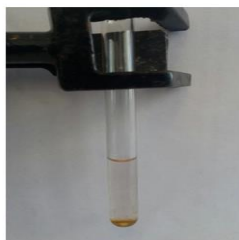
Одной из главных особенностей эффекта Ребиндера является его избирательность. Она состоит в том, что требуемое изменение свойств твердого тела может обеспечить только родственное данному телу поверхностно-активное вещество [3].

В настоящее время известно достаточно большое число различных классификаций поверхностно-активных веществ. По механизму их действия, характеру диссоциации, токсичности и другим свойствам разделяют четыре основных класса: анионоактивные (АПАВ), катионоактивные (КПАВ), неионогенные (НПАВ) и амфотерные (АмПАВ) поверхностно-активные вещества. Помимо органических ПАВ с асимметричной молекулярной структурой на практике широко используют растворы солей, расплавы и прочие электролиты.

Водная среда способна существенным образом влиять на механические свойства горных пород. Так проникновение жидкости в материал приводит к изменению его упругих и прочностных свойств [4]. Эти изменения необходимо учитывать при геомеханическом обеспечении горных работ, например, при расчетах на устойчивость горных выработок и подземных сооружений.



Анализ воды ш. «им. А. Ф. Засядько»:
 Кислотность (общая) – 1,8мэкв/л
 Щелочность (общая) – 12 мэкв/л
 рН – 7,9
 Содержание сульфатов – 268,8 мг/л



жесткость:
 общая – 6,14 мэкв/л
 кальция Ca^{2+} - 4,36мэкв/л
 магниева Mg^{2+} - 1.78мэкв/л

Рис. 2. Характеристика шахтной воды использованной для эксперимента

Для каждой горной породы были построены кривые «деформация-напряжение». Характер хода деформационных кривых образцов, как выдержанных в воде (в течении 2 месяцев), так и в исходном состоянии, был одинаков для всех горных пород.

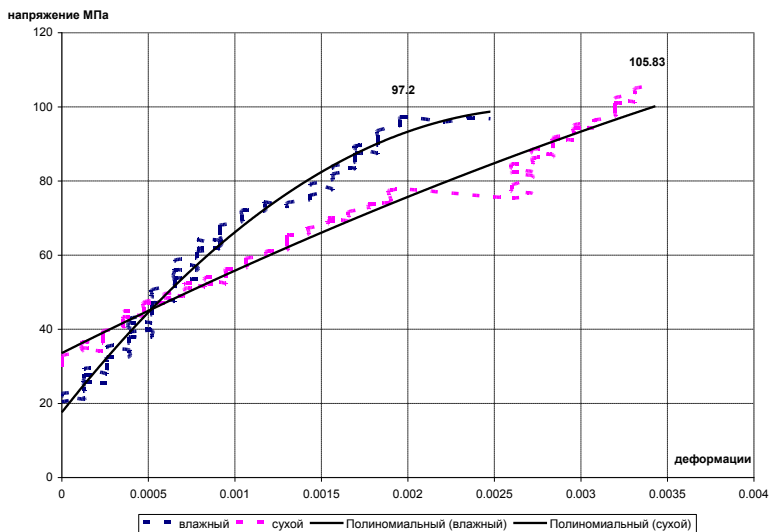


Рис. 3. Песчаный сланец исходный сухой и выдержанный в воде

Испытания показали, что образцы песчаного сланца в исходном состоянии сохраняли свою целостность, тогда как образцы, которые были выдержаны в воде распадаются на части, причем в некоторых случаях наблюдалось хрупкое разрушение (рис. 3).

Трещины в материале, нагруженном до критической плотности упругой энергии, приводит к потере устойчивости и в случаях образцов, выдержанных в шахтной воде, к «мгновенному» высвобождению запасенной упругой энергии, распространяющейся в виде волны разгрузки хрупкого разрушения.

Роль спускового механизма в образце играет трещина, возникающая под проявлением ПАВ (в данном случае шахтной воды), т.е. наблюдаем проявление эффекта Ребиндера. Накопленная в объеме потенциальная упругая энергия (компенсируемая до этого момента сжимающими напряжениями оболочки) взрывообразно трансформируется в работу разрушения с образованием большого числа фрагментов, как правило, микронных размеров.

Выводы

Показано, что образцы изученных горных пород, выдержанные в воде при приложении нагрузки демонстрируют хрупкое поведение, а сухие (исходные) – вязкоупругое. Влияние воды на деформационное поведение образцов может быть объяснено эффектом Ребиндера. Механизм влияния жидкости на прочность требует дальнейшего изучения.

Список литературы

1. Чекмарев А.А. Адсорбционное понижение прочности твердых тел // Главная страница журнала «Химия» - № 32-2003: <https://him.1sept.ru/article.php?ID=200303202>
2. Хопунов Э.А. Роль поверхностно-активных веществ в разрушении руд при объемном деформировании // «Известия вузов. Горный журнал»-№2 – 2017 – С. 93-99.
3. Михайлов Н.Н., Попов С.Н. Экспериментальные и теоретические исследования влияния механохимических эффектов на фильтрационно-емкостные, упругие и прочностные свойства пород-коллекторов // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика - №2 – 2015 – Точка доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-i-teoreticheskie-issledovaniya-vliyaniya-mehanohimicheskikh-effektov-na-filtratsionno-emkostnye-uprugie-i>.
4. Калачев В.А., Зайцев Д.В., Кочанов А.Н., Костандов Ю.А., Панфилов П.Е. О влиянии воды на характер растрескивания горных пород при диаметральном сжатии // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук - Том 4 - №2 - 2017 – С. 53-57.

УДК 622.831

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ЛОКАЛЬНОГО ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Терешкин А.А., Аникин П.А., Рассказов М.И., Цой Д.И.

ИГД ДВО РАН, г. Хабаровск

Важное значение для прогноза и предупреждения опасных проявлений горного давления имеет достоверная и оперативная информация о геомеханическом состоянии массива горных пород. В данной статье рассматривается методика локального контроля массива горных пород, методом анализа значений параметров акустической эмиссии. Основным инструментом для оценки состояния краевых частей массива является прибор локального контроля «Prognoz- L» [1,2].

Для оценки состояния горного массива прибором локального контроля используются методики, в которых в качестве критериев выступают: интенсивность АЭ без видимого влияния технологических процессов $N_{AЭ}$ и показатель амплитудного распределения b [3,4,5]. Показатель интенсивности $N_{AЭ}$ позволяет судить о достижении предельных нагрузок в горных породах краевой части массива. Показатель амплитудного распределения b характеризует неустойчивость процесса деформирования, нарастание количества импульсов высокой энергии.

Многостадийность процесса хрупкого разрушения горных пород во многих случаях не позволяет достоверно оценивать степень удароопасности при помощи критериев учитывающих только количественную оценку и соотношения импульсов АЭ различной энергии. В случае перехода из стадии относительно стабильного накопления энергии в стадию прорастания

«магистральной» трещины между микроразрывами [6, 7, 8], вероятность повышения степени удароопасности увеличивается даже при низком значении количественного показателя. Таким образом при измерении категории удароопасности приконтурной части массива следует учитывать суммарный энергетический коэффициент зафиксированных импульсов АЭ в единицу времени.

Для обнаружения импульсов АЭ в приборе в качестве идентификационного критерия используется параметр MARSE (измеренная площадь под эпюрой сигнала), представляющая собой отдалённый аналог энергии импульса акустической эмиссии. Параметр MARSE одновременно чувствителен как к амплитуде, так и к длительности сигнала, что повышает надёжность идентификации акустических импульсов.

Согласно (1) суммирование производится по значению параметра MARSE каждого зафиксированного импульса АЭ в пределах одного измерения локальным прибором.

Суммарный энергетический коэффициент можно выразить формулой:

$$S_{eng} = \sum_{j=1}^k S_j, \quad (1)$$

где S_{eng} - Суммарный энергетический коэффициент;

S_j - расчетная область сигнала в текущем временном окне MARSE;

Таким образом в роли дополнительного критерия геомеханического состояния массива может служить параметр MARSE.

Оперативность оценки категории удароопасности выработок при помощи локального прибора, ограничивает возможность локации импульсов естественной АЭ, и значений их энергии, по причине использования только одного первичного преобразователя.

Для расчета энергетической составляющей импульса АЭ требуется подход для расчета удаленности события до первичного преобразователя прибора [9].

Так на руднике «Николаевский», (АО «ГМК Дальполиметалл»), горизонт -420 был проведен эксперимент, который предполагал имитацию эталонного импульса с заданными параметрами с целью выявления зависимости изменения формы сигнала при его затухании.

На расстоянии до 5,5 метров с шагом 50-60 сантиметров от датчика генерировался эталонный импульс с заданными параметрами имитирующий импульс естественной акустической эмиссии.

Объектом исследования стал расчет параметров фронта импульса, а в частности отношение его максимальной амплитуды к длительности фронта, т.е. его TG угла наклона, рис. 1 [9].



Рис. 1. Расчет тангенса угла наклона фронта импульса

С увеличением расстояния наблюдалось снижение значения амплитуды и одновременное увеличение значения длительности фронта. На рисунке 4 построена зависимость $\text{tg}\alpha$ фронта имитационного импульса от его удаления относительно приемника.

По результатам проведенных исследований был рассчитан TG импульсов зарегистрированных на расстоянии до 5,5 метров, произведена аппроксимация значений и получена степенная функция расчета расстояния до зарегистрированного импульса АЭ (2).

$$y=3,3037x^{-1,856} \quad (2)$$

Таким образом данная зависимость может помочь при расчете энергетической составляющей АЭ событий.

Внедрение дополнительных критериев локального мониторинга краевых частей выработок, позволит более достоверно оценивать степень удароопасности массива горных пород посредством прибора локального контроля «Prognoz-L».

Расчеты и анализ были выполнены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных Дальневосточного отделения Российской академии наук», финансируемого Российской Федерацией в лице Министерства науки и высшего образования РФ по проекту № 075-15-2021-663.

Список литературы

1. New-generation portable geoaoustic instrument for rockburst hazard assessment / I.Y. Rasskazov, D.S. Migunov, P.A. Anikin, A.V. Gladyr, A.A. Tereshkin, D.O. Zhelnin // Journal of Mining Science. - 2015. - Vol. 51, № 3. - P. 614-623.

2. Assessment of burst-hazard rock massif by geoaoustic method Tereshkin A.A., Rasskazov M.I. В сборнике: Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses. SET OF 2 VOLUMES. 2018. С. 1627-1632.

3. Guidelines for seismic-acoustic and electromagnetic methods for obtaining criteria for the degree of impact hazard. - L.: VNIMI, 1986. [Методические указания по сейсмоакустическим и электромагнитным методам получения критериев степени удароопасности. – Л.: ВНИМИ, 1986.]

4. Acoustic emission precursor criteria of rock damage Rozanov A.O., Petrov D.N., Rozenbaum A.M., Pinov M.D., Tereshkin A.A. В сборнике: Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses. SET OF 2 VOLUMES. 2018. С. 669-672.

5. Перспективные методы оценки и контроля геомеханического состояния массивов пород Ломов М.А., Константинов А.В., Терешкин А.А. Проблемы недропользования. 2019. № 4 (23). С. 83-90.

6. Использование данных сейсмоакустических наблюдений для определения характера развития очага разрушения породного массива Рассказов И.Ю., Цирель С.В., Розанов А.О., Терешкин А.А., Гладырь А.В. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 2. С. 29-37.

7. Опытное исследование точности локации автоматизированной системы геомеханического мониторинга в условиях анизотропии горных пород Гладырь А.В., Рассказов М.И., Терешкин А.А., Константинов А.В. Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2019. Т. 6. № 1. С. 78-83.

УДК 622.33

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ АНКЕРНОЙ КРЕПИ С НЕОДНОРОДНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПРОЧНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ВДОЛЬ ИХ ДЛИНЫ

Трофимов В.А., Филиппов Ю.А., Закоршменный И.М., Блохин Д.И.

ИПКОН РАН

На основе модельного расчета, проведенного методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS, обоснована возможность количественной оценки несущей способности элементов анкерной крепи с неоднородным распределением прочности закрепления вдоль их длины. Для описания механизмов потери устойчивости и количественной оценки коэффициентов запаса устойчивости системы «анкерная крепь – породный массив» используется критерий разрушения Кулона – Мора.

Широко применяемые в России в настоящее время сталеполимерные анкера типа АСП, А20В, А20 вследствие своих конструктивных особенностей не обеспечивают качественное перемешивание полимерного композита в шпуре при установке анкера и, соответственно, равномерное заполнение его объема полимером [1]. Указанное обстоятельство приводит к снижению значений фактической прочности закрепления анкера в шпуре по сравнению с расчетными величинами, что не позволяет обеспечить проектную несущую способность элемента крепи и, соответственно, устойчивость выработок или конструкций подвесных монорельсовых дорог. Тем самым подтверждается необходимость разработки расчетных моделей, позволяющих производить количественную

оценку параметров элементов анкерной крепи, обеспечивающих ее работоспособность в указанных условиях.

Для выполнения расчетов анкерной крепи горных выработок эффективно используются подходы численного моделирования с учетом более широкого набора влияющих параметров. Одним из общепринятых подходов уже давно являются методы численного моделирования, основанные на использовании нелинейных моделей механики сплошных сред [2, 3].

В настоящей работе с использованием средств ANSYS визуализируется и анализируется картина пространственного изменения напряженно – деформированного состояния системы «анкерная крепь – породный массив» с целью получения количественной оценки характера потери ее устойчивости в результате передачи значительной статической нагрузки на анкера. Конструкционные особенности системы «анкерная крепь – породный массив», прочностные и деформационные расчетные параметры элементов анкерной крепи и полимерного закрепителя, а также геомеханические свойства вмещающих пород задаются исходя из данных, полученных на шахте им. В.Д. Ялевского АО «СУЭК – Кузбасс».

Рассматривается задача о статическом нагружении анкера, закрепленного в массиве горных пород посредством полимерного закрепителя. Неоднородность прочностных характеристик полимерного закрепителя вдоль длины анкера задается следующим образом:

1) объем шпура, заполняемый полимерным закрепителем, делится на несколько частей (зон) одинаковой длины (в описываемом численном эксперименте число таких частей равнялось 8);

2) для каждой из указанных частей (зон) задаются различные значения прочности закрепления.

Такой простейший прием позволяет с достаточной эффективностью моделировать неоднородность закрепления анкера, путем варьирования местоположения частей объема шпура с различными заданными значениями прочностных характеристик полимера.

При этом массив представляет собой блок породы в виде прямоугольного параллелепипеда с закрепленными границами, кроме той, которая моделирует кровлю выработки. Задача решается в 3D постановке с разбиением всей расчетной области, включая массив горных пород, полимерный закрепитель и собственно анкера на тетраэдральные элементы, количеством 1 167 483 шт. Сетка достаточно измельчена в области, занятой полимером, и анкерах с тем, чтобы получить достаточно детальное описание состояния всей конструкции при ее деформировании и возможном разрушении.

Происходящие в элементах крепи разрушения будем характеризовать посредством критерия разрушения Кулона – Мора [4], широко используемого в задачах геомеханики. Аналитически, который может быть выражен в виде неравенства [5]:

$$F_s(x, y) < 1 \quad (1)$$

где $F_s = ((S_1/\sigma_t) + (S_2/\sigma_c))^{-1}$ – коэффициент запаса устойчивости; S_1, S_2 – главные напряжения; σ_t – предел прочности на растяжение; σ_c – предел прочности на сжатие. При проведении расчетов была использована прочностная модель, в которой параметр σ_t варьировался, а σ_c считались постоянным для каждого из используемых интервалов. Выполнение условия (1) означает, что в точке (x, y) произошло локальное разрушение материала и произошла в той или иной степени деградация его деформационно-прочностных свойств. Если такими точками заполнена целая область массива, то вся она частично или полностью потеряла несущую способность.

На рис. 1 а, б, в приведены результаты численных экспериментов по оценке распределения значений коэффициента запаса устойчивости анкера по его длине для различных вариаций местоположения участков с пониженными прочностными характеристиками. На рисунках зоны с различной степенью прочности σ_t обозначены следующим образом:

- B4 ($\sigma_t = 40 \text{ кПа}$) – прочный материал;
- B3 ($\sigma_t = 30 \text{ кПа}$) – менее прочный;
- B2 ($\sigma_t = 20 \text{ кПа}$) – менее слабый;
- B1 ($\sigma_t = 10 \text{ кПа}$) – слабый материал.

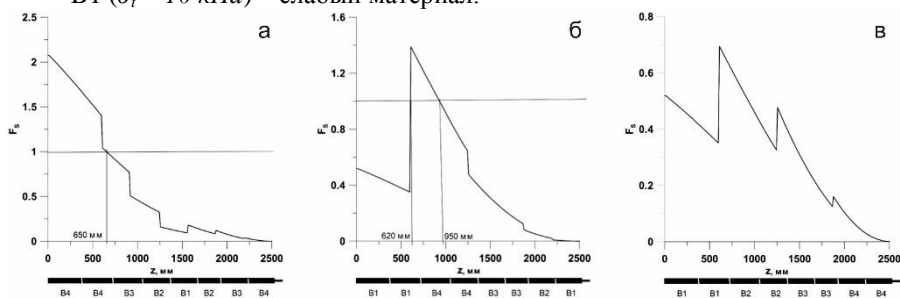


Рис. 1. Распределения значений коэффициента запаса устойчивости анкера F_s по его длине для различных вариаций местоположения участков с пониженными прочностными характеристиками закрепителя

Можно отметить некоторую общую закономерность в полученных результатах: часть массива, включая закрепление вблизи обнажения (там, где анкер выходит в выработку), находится в условиях наиболее интенсивного воздействия и в связи с этим наиболее подвержена разрушению, при этом даже наличие прочного закрепления не предотвращает разрушения.

Несомненно, что результаты проведенных расчетов дают качественно верную картину процесса, однако представляется целесообразным в дальнейшем продолжить исследования, сопоставляя результаты математического моделирования и натурального эксперимента.

Список литературы

1. Янак А. С. Проблема анкерного крепления горных выработок угольных шахт // Горный информационно – аналитический бюллетень. – 2005. – № 3. – С. 96 – 97.
2. Блохин Д. И., Загоршменный И. М., Кубрин С. С., Харитонов И. Л., Холмянский М. Л. Моделирование взаимодействия анкерной крепи подвесной монорельсовой дороги с массивом горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 9. – С. 25 – 39.
3. Захаров В. Н., Трофимов В. А., Филиппов Ю. А. Численное моделирование анкерного крепления контура выработки при реологическом деформировании пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2021. – № 6. – С. 6–17.
4. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика горных пород. – М: Недра, 1975. – 272 с.
5. Федосеев В.И. Сопротивление материалов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 592 с.

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ПО ИЗМЕНЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ЕГО ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Федоров Е.В., Варганов А.З., Милетенко Н.А.

ИПКОН РАН

Анализ изображений является в настоящее время универсальной технологией получения знаний о природных и антропогенных объектах различной природы. Широкое внедрение информационных сетей, обеспечивающих доступ к видеоинформации различного генезиса обеспечило стремительный рост нового направления мета-исследований, опирающихся на комплексный анализ 2D изображений, технологическую основу которых должна обеспечивать возможность быстрого и качественного получения детальных 3D данных по ограниченному набору входной информации, а также объединение этих данных в одну структуру с заданным разрешением, что является наиболее актуальной проблемой на пути эффективного моделирования [1-4].

В ИПКОН РАН создан и проходит тестирование программный комплекс исследования видеоизображений, полученных при видеокаротаже (видеоэндоскопии) скважин и иных подземных видеоматериалов [5]. Математическая основа программного комплекса – хорошо известные и практически отработанные численные методы, реконструкция изображения (стохастических реконструкций). Такой метод широко применяется в технической и медицинской эндоскопии.

В статье приведены результаты исследования изменений параметров цифровых изображений для оценки напряженно-деформированного состояния массивов с целью развития методов мониторинга опасных техногенных процессов.

1. Методика выполнения работ

Исследования проводились на образцах угля, отобранного на пласте Болдыревский шахты им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс».

- Из образцов угля изготавливались кубики размером 50x50x50 мм для испытаний на одноосное сжатие на прессе.

- Моделирование изменений напряженно-деформированного состояния образцов производилось путем нагружения образцов на 30-ти тонном прессе Instron вплоть до их полного разрушения.

- Весь процесс нагружения образцов фиксировался с помощью видеоэндоскопа и фотоаппарата.

- Из видеосъемки отбирались кадры в моменты времени, когда фиксированная нагрузка составляла соответственно 0, 40, 70, 100 % от предела прочности на одноосное сжатие образца угля.

- Выбранные кадры преобразовывались в формат bmp с размером изображения 512x512 пикселей, рисунок 1.

- Полученные таким образом изображения вводились в базу данных программного комплекса для изучения зависимости характеристик 2D изображения от параметров напряженно-деформированного состояния испытываемых образцов угля.

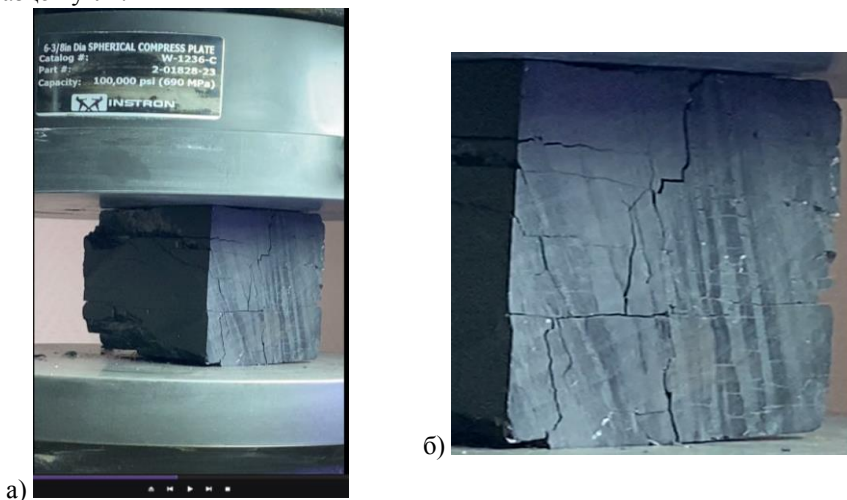


Рис. 1. а) - исходный кадр,
б) - преобразованный в формате BMP 512x512 пикселей

2. Результаты исследования зависимостей характеристик 2D изображений от изменений напряженно-деформированного состояния

Ниже приведены результаты всего двух алгоритмов обработки цифровых изображений (из более, чем 10 основных процедур) – построение графиков цветности и фурье - анализа для испытанных образцов угля.

2.1. Графики цветности

Построение графиков цветности в представлении RGB по оси OX при различных уровнях нагрузки на одноосное сжатие вплоть до разрушающей представлено на рисунках 2 и 3.

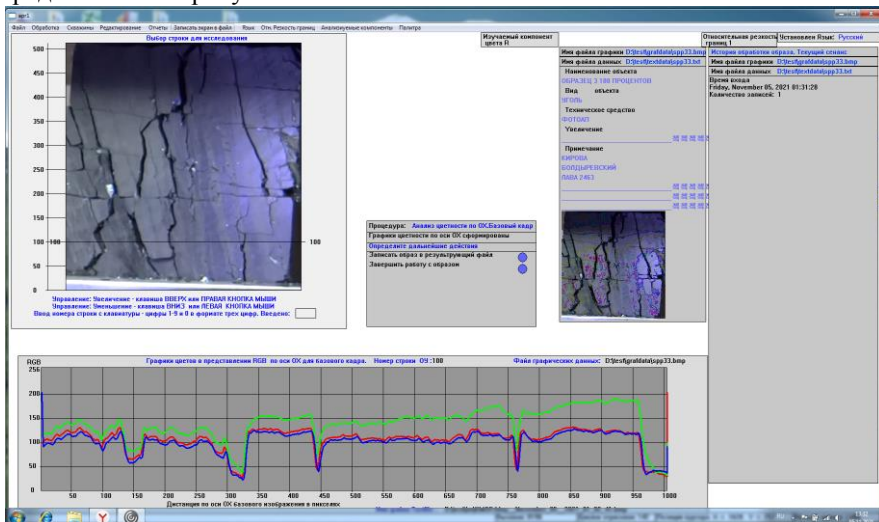
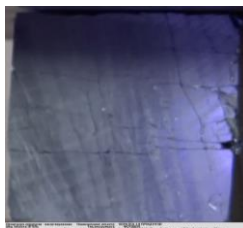
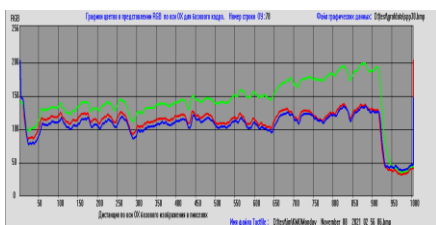
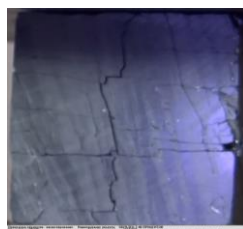
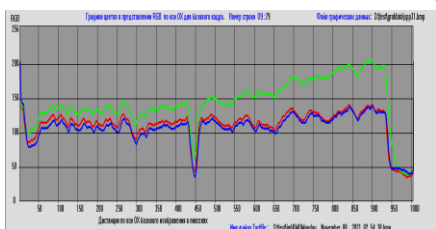


Рис. 2. Графики цветов по оси OX при нагружении образца.
Экранная форма программного комплекса

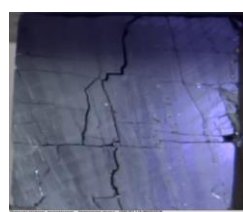
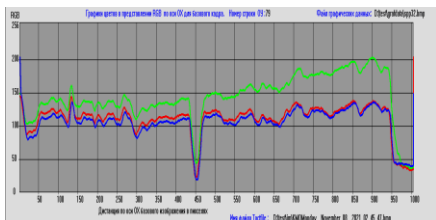
На графиках отчетливо видны различия в интенсивности компонентов цветов - проявление дисперсии компонентов цвета. Дисперсия компонентов свидетельствует о различиях в коэффициентах отражения и поглощения на разных частотах, возникающих в дефектах структуры – вертикальных трещинах на поверхности угольного образца при его одноосном нагружении. Пик в графике цветности RGB (при фиксированном положении визира – рисунок а) четко указывает на зарождение и развитие трещины – рисунки в) г). Разрушение образца – рисунок д) приводит к возникновению множественных экстремумов от новых трещин и смещению разрушенных элементов. В практике на дисперсию влияют так же конструктивные особенности наблюдаемого инструмента.



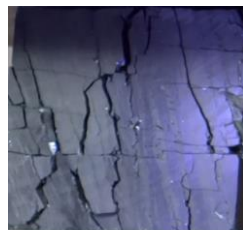
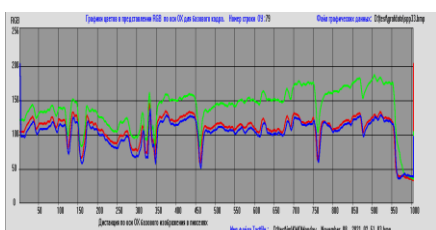
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Графики цветов по оси OX при нагружении образца.

а), б), в), г) – соответственно при нагрузках 0%, 40 %, 70 % и 100% от предела прочности на одноосное сжатие

2.2. Фурье - анализ

Фурье - анализ цифровых изображений является достаточно надежным инструментом для идентификации изменений свойств и состояния исследуемых материалов.

В ходе исследований выполнялся фурье – анализ базовых кадров угольных образцов, подвергаемых одноосному нагружению на прессе. Для проведения исследований был выполнен анализ образца угля без нагрузки и при

нагрузках соответственно 70% и 100% от предела прочности на одноосное сжатие.

Анализ исследований показал, что увеличение нагрузки на образец (от 0 до 4,1 МПа) приводит к существенному изменению итоговой картины фурье – анализа в выбранном компоненте цветовой палитры. Так, помимо возникающих вертикальных и горизонтальных трещин, отмечается увеличение центрального вертикального элемента картины (по линии приложения нагрузки), свидетельствующего о росте напряженного состояния образца (до 2,9 Мпа). Еще более резкие изменения возникают в картине фурье – анализа при достижении предельной нагрузки и разрушении образца – здесь можно наблюдать предельную величину раскрытия вертикальных и горизонтальных трещин и практически двукратный рост площади центрального элемента картины.

ВЫВОДЫ

1. Выполненные исследования подтверждают возможность использования цифровых видеометодов для оценки свойств и состояния массива горных пород

2. Комплекс методов обработки цифровых видеоизображений позволяет качественно выявлять связь строения и состояния массива горных пород с параметрами видеоизображения и давать количественные оценки в пределах технических возможностей существующего оборудования.

3. Выявлена взаимосвязь характеристик 2D изображений с проявлением НДС материала, в том числе изменением трещиноватости, напряженного состояния.

Список литературы

1. Диагностика нефтяных и газовых скважин системами телеинспекции <https://vistaros.ru/stati/teleinspektsiya-truboprovodov/diagnostika-neftyanyih-i-gazovyih-skvazhin.html>.

2. Оборудование для контроля скважин. Телеинспекция, каротаж. <https://www.z-tec.ru/product-category/categories/teleinspektsiya-techeiskateli-trassoiskateli/teleinspektsiya/oborudovanie-dlya-kontrolya-skvazhin-teleinspektsiya-karotazh>.

3. Варганов А.З., Новиков Е.А., Шкуратник В.Л., Ермолин А.А. Устройство для наблюдения стенок буровой скважины. Патент РФ. Заявка №2009 109 766/03 от 19.03.2009 г., Авт. Свид. RU 238 7826 С1.

4. Вознесенский А.С., Набатов В.В., Петерс Ш. Скважинные видеозонды и их использование для задач геотехнологий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – №9. – С. 5-12.

5. Варганов А.З., Федоров Е.В. Развитие методов скважинной эндоскопии в горном деле в ИПКОН РАН. 4 Конференция международной научной школы акад. РАН К.Н. Трубецкого Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. ИПКОН РАН, 2020, с. 232-237.

ОЦЕНКА ПРИРОДНОЙ И ОСТАТОЧНОЙ ГАЗОНОСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА ШАХТЕ ИМ. С.М. КИРОВА АО «СУЭК-КУЗБАСС»

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

ИПКОН РАН

Одним из основных факторов, сдерживающих высокопроизводительную разработку сверхкатегорийных по газу угольных месторождений, является выделяющийся в горные выработки метан. Исследованиями в Кузбассе установлено, что газовый фактор ведет к снижению нагрузки на очистной забой более, чем в 2,5 раза [1,2].

Шахта им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс» в настоящее время разрабатывает угольные пласты на глубинах до 600 м с природной газоносностью 20-23 м³/т. В таких условиях даже не смотря на принимаемые меры по предварительной дегазации выемочного столба (объем бурения дегазационных скважин 260 км, объем извлекаемого метана свыше 70 млн. м³) среднесуточные простои на проветривание очистного забоя по газовому фактору превышают 11% рабочего времени. В этой связи анализ параметров природной и остаточной газоносности угольных пластов для оценки эффективности дегазационных мероприятий является актуальной научно-практической задачей.

Исследования осуществлялись в соответствии с Методикой по определению газоносности угольных пластов [3, 4, 5]. Указанная Методика основана на методе быстрой десорбции метана из отбираемых из массива угольных образцов. При этом природная газоносность (условно природная газоносность) определялась на керновых пробах, выбуриваемых вдали от горных работ в «условно» нетронутом массиве, а остаточная – на пробах, отбираемых непосредственно с груди очистного (проходческого) забоя.

Помимо абсолютных величин природной и остаточной газоносности, в ходе исследований определялся объем свободного газа в каждой пробе, т.е. объем свободно выделяющегося при шахтном и атмосферном давлении газа без какого-либо воздействия (термического, механического) на пробу угля. Именно свободный газ, выделяющийся из отбитого угля, стенок горных выработок, выработанного пространства, и определяет концентрацию метана в шахтной атмосфере. Еще одной задачей в ходе исследований было изучение динамики десорбции свободного газа из проб в интервале времени от 0 до 25 часов.

Всего в ходе исследований было отобрано 69 угольных проб на пластах Болдыревский и Поленовский шахты им. С.М. Кирова. В таблице 1 представлены средние величины определенных значений газоносности и объемов свободного газа в отобранных пробах.

Таблица 1

Шахта, пласт	Глубина отбора проб, Н, м	Средняя величина измеренной газоносности, $Q \text{ м}^3/\text{т}_{\text{сбм}}$		Среднее содержание свободного газа в газоносности, %	
		условно природной	остаточной	условно природной	остаточной
пл. Болдыревский	480-570	10,1	6,8	23,8	7,8
пл. Поленовский	450-500	9,5	7,1	19,9	4,3

Установлено, что средняя величина снижения условно природной газоносности для пласта Болдыревский составила 32,7%, для Поленовского – 25,3%. Это снижение величины газоносности и является результатом совокупного влияния осуществляемых на шахте дегазационных мероприятий и проветривания горных выработок и позволяет судить об их эффективности.

Анализ полученных результатов показал, что для оценки возможного метановыделения из угольного пласта наиболее информативным параметром является именно объем свободного метана в величине измеренной газоносности. Так, если различие в величинах условно природной и остаточной газоносности не превышает в среднем 30%, то объем свободного метана в остаточной газоносности в 3,6 раз меньше соответствующего значения для условно природной (6,05% и 21,85%).

Одной из задач в ходе исследований была оценка динамики десорбции свободного газа из отбираемых угольных образцов и кернов в интервале времени 0-25 часов. Для этого определялась нарастающая во времени доля выделившегося газа в общем измеренном объеме свободного газа. Уголь все это время находился в герметичных контейнерах и никаким физическим воздействиям не подвергался.

Получаемые при этом показатели десорбции свободного газа являются одними из основных параметров, определяющих метановыделение в очистные и подготовительные выработки.

На рисунках представлены графики десорбции свободного газа из угольных проб с условно природной и остаточной газоносностью.



Рис. 1. График десорбции метана из угольных проб пластов Болдыревский и Поленовский с условно природной газоносностью

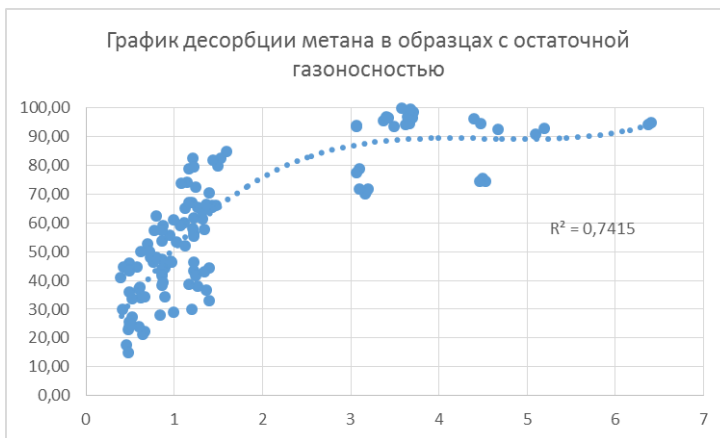


Рис. 2. График десорбции метана из угольных проб пластов Болдыревский и Поленовский с остаточной газоносностью

Как следует из представленных графиков в характере десорбции свободного газа из угольных проб с «условно природной» и остаточной газоносностью имеются существенные отличия. Анализ полученных результатов показывает, что в течение первых 1,5-2 часов с момента отделения образцов с остаточной газоносностью от массива из них в шахтную атмосферу выделяется практически 80% от общего объема содержащегося свободного газа. Такие же показатели для образцов с «условно природной» газоносностью достигаются лишь спустя 16-17 часов. Такое различие в характере десорбции связано, главным образом, с разгрузкой от горного давления образцов угля, отбираемых с груди очистного и подготовительного забоев (образцы с остаточной газоносностью), а, следовательно, и более интенсивным газовыделением из них в сравнении с участками, удаленными от зоны ведения горных работ.

Таким образом, выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы.

Комплекс мероприятий по дегазации угольных пластов в совокупности с проветриванием горных выработок обеспечивают снижение газоносности по пластам Болдыревский и Поленовский соответственно на 32,7% и 25,3%.

Возникающая в зоне ведения горных работ разгрузка угольного пласта от горного давления приводит к резкой интенсификации процессов десорбции свободного газа из угля. При этом уже за первые 1,5-2 часа с момента отделения образца от массива из него выделяется до 80% всего свободного газа.

Список литературы

1. Ютяев Е.П. Проблемы совершенствования технологии пластовой дегазации в условиях интенсивной разработки. Горный информационно-аналитический бюллетень, 2015, С. 253-261.

2. Рубан А.Д., Забурдяев В.С., Матвиенко Н.Г., Артемьев В.Б. Основы проектирования дегазации угольных шахт и рудников России.- М. Библиотека горного инженера, Том 9, Рудничная аэрология, - 2011. - 271 с.

3. 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.

4. Ахметгареев Р.А., Федоров Е.В. Опытнo-промышленные испытания методики определения газоносности разрабатываемого угольного пласта // Безопасность труда в промышленности. - 2015. - № 9. - С. 43-48.

5. Федоров Е.В., Кулибаба С.Б., Мешков А.А. Анализ природной метаноносности пласта Болдыревский на шахте им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс» Безопасность труда в промышленности, № 3, 2021, С. 61-66.

УДК: 622.235

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ГРАНУЛИТОВ

Франтов А.Е.¹, Мингазов Р.Я.¹, Фадеев В.Ю.²

¹ИПКОН РАН, ²ООО «ТЕХНОРИН»

Совершенствование технологий взрывных работ на горных предприятиях является залогом успешности всего производственно-технологического цикла добычи полезных ископаемых. Потенциал рециклинга [1] актуализируется за счет тенденций получения и использования порошковых и жидких горючих материалов из отходов горного предприятия в производственном цикле добычи, обогащения и переработки (полимерной упаковки и тары ВВ (ПМУ), крупногабаритных шин (КГШ) и резинотехнических изделий (РТИ) при эксплуатации горного транспорта, угольного порошка (УП) и коксовой мелочи при обогащении и коксовании угля, отработанных нефтепродуктов (НПО) при эксплуатации автотранспорта и средств механизации).

Источником материалов рециклинга является пластиковая крошка от тары компонентов простейших взрывчатых веществ - аммиачной селитры и других химических материалов. Исследуемая пластиковая крошка имеет состав - полиэтилен+полипропилен. Для оценки физико-механических характеристик рассматриваемых материалов из пластиковой крошки проведены лабораторные исследования.

1. Ситовый анализ материала

Исследуемый материал представляет собой пластиковую крошку полипропиленовую и полиэтиленовую, являющуюся продуктом утилизации тары от аммиачной селитры. Исследуемая проба материала была получена от ООО «Технорин». Соотношения полиэтилена и полипропилена в пробе не указано. Пластиковая крошка, как компонент рецептуры простейшего ВВ, был испытан на промышленных взрывах в условиях «Куранахского рудного поля» с положительным результатом [2].

Исследования гранулометрических характеристик сыпучего материала проводились с использованием метода ситового анализа. На рисунке 1 показан вид отсева на сите, а также полученные фракции материала размером -3+2 мм и -2+1 мм. В результате проведенного анализа был получен выход фракций (%):

+5 мм	0,1;
-5 +3 мм	13,5;
-3 +2 мм	44,9;
-2 +1 мм	32,1;
-1 мм	9,4.



Рис. 1. Вид отсева на сите, фракции -3+2 мм и -2+1 мм

2. Определение формы и размера частиц пластиковой крошки методами электронной микроскопии

Исследования формы и структуры пластиковой крошки проводилось в «Центре изучения природного вещества при комплексном освоении недр» ИПКОН РАН с использованием сканирующего электронного микроскопа Jeol 6610LV. Подготовленные образцы представлены на рисунке 2. Образцы отбирались из отсевов фракций с наибольшим выходом -3+2 мм и -2+1 мм. Полученные снимки частиц показаны на рисунке 3. Рисунок 3а характеризует фракцию -3+2 мм, рисунок 3б – фракцию -2+1 мм.



а)

б)

Рис. 2. Образцы пластиковой крошки фракций -3+2 мм (а) и -2+1 мм (б), подготовленные для исследования с использованием сканирующего электронного микроскопа

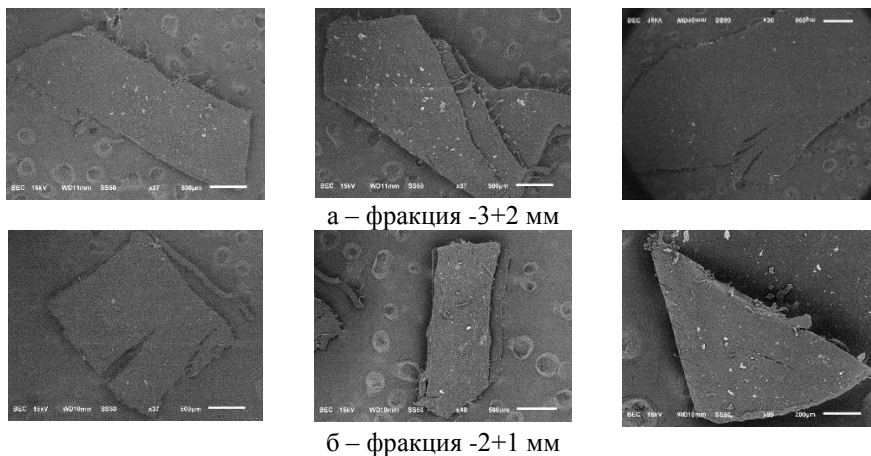


Рис. 3. Форма образцов пластиковой крошки фракций -3+2 мм и -2+1 мм

Исходя из анализа фотографий, частицы полимерной крошки можно охарактеризовать как пластинчатые угловатые. Вид частиц приближается к форме трапеции, прямоугольника или треугольника.

Список литературы

1. Frantov A.E. SWOT-assessment of recycling materials for cheap explosives used in the development of fields in the Russian Arctic zone. E3S Web of Conferences 270, 01007 (2021) WFCES 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127001007>.
2. «Разработка технологических регламентов производства и применения гранулированных ВВ изготовленных на СЗМ. TDR.ANFO-7Б-КМУс добавлением углеводородных и прочих добавок из отходов горного производства». Отчет по договору НИР с НТУ АО «Полюс Алдан» № ПА-237-19 от 30.04.2019.

УДК 622.528

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНО-СКАНИРУЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ

Ходжанов К., Рысбеков К.Б.

Satbayev University, г. Алматы, Казахстан

Технологии наземного лазерного сканирования находят все более широкое применение для прикладного решения задач инженерной геодезии в различных промышленных отраслях. Это нефтегазовый комплекс, легкая и тяжелая промышленность, строительство, архитектура и др. области. Постоянная модернизация оборудования и усовершенствование программного обеспечения позволяют значительно сокращать трудозатраты на выполнение работ при сравнении с ранее применяемыми методами.

В последние все время использования лазерных сканеров по мониторингу объектов и за наблюдением за осадками здания становится актуальным вопросом. Наблюдение за осадками зданий - особый вид геодезического мониторинга и одна из составляющих инженерно-геодезических изысканий. Они чрезвычайно важны при строительстве высотных зданий либо особых, уникальных сооружений на сложных грунтах для гарантии безопасности их использования, особенно где проходить метрополитен. Также необходимость наблюдения может возникнуть из-за длительного срока использования здания и сильной его изношенности.

Основные инструменты, используемые при наблюдении осадков зданий - это репера и марки. Репера - стенные или грунтовые - это геодезические знаки, высотное положение которых должно быть практически неизменным все время измерения осадок. Обязательно репера должны находиться вне зоны предполагаемых деформаций и с точным определением отметок. Вследствие деформации или осадки фундамента или элементов здания марки меняют свое положение. Марки и репера необходимо защищать от малейших нарушений относительно их первоначального положения и каких-либо повреждений.

Наблюдения за осадками зданий включают в себя наблюдения напряжений в фундаменте, несущих стенах зданий, настенных реперов, визуальный осмотр поверхности опорных конструкций, замеры и описание трещин.

Существует два вида наблюдения за осадками зданий:

- Визуальный - состоит в регулярном наблюдении и мониторинге наземной части строения с частотой 1-3 раза в год.
- Специальные геодезические наблюдения за изменением состояния фундамента.

Обычно традиционно на поверхности в вдоль прохождения метрополитена проводят нивелирования. Точность, которого при этом должна быть не ниже.

На современном этапе в производство внедрена универсальная лазерно-сканирующая технология Trimble VISION. Trimble VX Spatial Station обеспечивает быстрые и точные измерения и предоставляет новые возможности по работе с пространственными данными. Запись и комбинирование данных 3D сканирования, видеоизображений и геодезических измерений стали доступны в едином решении, созданном для геодезических работ. Объединяя передовые оптические технологии с возможностями метрических изображений и ЗЭ-сканирования, Trimble VX Spatial Station является единственным геодезическим инструментом, который выполняет вышеуказанные задачи. Т.е., при наблюдение за осадками зданий в районе метрополитена с помощью наземного лазерного сканера, прибор выполняет высокоточные геодезические работы (прокладывание полигонометрии, уравнивание). Полученный скан файл обрабатывается в программе Trimble real works. Далее эти данные используется для анализа. Если обрушение превышает данного допуска, то программа Trimble 4D Control автоматический оповещает инженеров в виде серены и SMS.

Кратко остановимся на основных функциях лазерно-сканирующая технология Trimble Vision.

Технология Trimble VISION специально разработана для сохранения изображений объектов, получаемых со встроенной видеокамеры Trimble VX. Используя контроллеры Trimble можно передавать цифровое видеоизображение объекта работы и проводить запись отдельных кадров в качестве абрисов. Благодаря этой возможности экономится время при выполнении наведения. Точки измерений можно выбирать непосредственно на сенсорном экране контроллера Trimble, для чего достаточно указать их в соответствующих местах на изображении объекта. Технология Trimble VISION также позволяет пользователям Trimble VX в реальном времени видеть и контролировать координатные данные выполненных измерений, наложенные на видеоизображение объекта. Эта возможность дает полную уверенность в том, что отсняты все необходимые точки и исключает дублирование и пропуски, а также переделку работы. Поскольку цифровое изображение объекта можно сохранить в виде отдельного снимка, то такие же преимущества можно получить и при обработке данных, что гарантирует качество выполненной съемки.

Объединяя трехмерные данные сканирования с цифровыми изображениями, Trimble VX Spatial Station предоставляет дополнительные возможности по созданию высококачественного визуального представления данных в программе обработки Trimble RealWorks Survey.

С помощью Trimble VX специалисты получают также наглядные электронные абрисы, из которых смогут извлечь всю необходимую информацию об объекте съемки. Получив эти электронные абрисы, специалисты по камеральной обработке смогут немедленно увидеть, какие именно точки были измерены, и начать обработку данных съемки, не теряя времени на попытки разобраться в результатах проведенных полевых измерений. Визуальное представление данных проекта позволяет заказчику легко ориентироваться в отчетной документации и быстрее согласовать проект.

Trimble VX Spatial Station дает новые возможности в области гражданского строительства, архитектуры, проектирования транспортных коммуникаций и линий связи, управления природными ресурсами, мониторинга и реконструкции сложных инженерных объектов и сооружений. Во многих таких приложениях необходима актуальная геопространственная информация, полученная с помощью аэро - или космической съемки. Однако не всегда этих данных бывает достаточно. Некоторые ценные данные об интересующих объектах, возможно, получить только при выполнении съемок с земной поверхности. Полноценные геопространственные данные Spatial Imaging становится, возможно, получить только в результате объединения и дополнения данных аэрофотосъемок и дистанционного зондирования с точными наземными измерениями

Таким образом, эффективное применение современных лазерно-сканирующие технологии дает возможность, улучшить возможность за наблюдением за осадками зданий и сооружений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МНВО РК (Грант №14871828).

Список литературы

1. Гусев В.Н., Науменко А.И. и др. Основы наземной лазерно-сканирующей съемки. Санкт-Петербург. 2008. 80с.
2. Рысбеков К.Б., Амиров Ж.И. Применение трехмерного лазерного сканирования для решения инженерных задач. Алматы: Сборник материалов международной научно-практической конференции «Подготовка кадров для реализации программы развития Горно-металлургического комплекса на 2012-2014 гг.». - 2011. С.233-237.
3. Рысбеков К.Б., Амиров Ж.И. Современные геодезические технологии для быстрой и эффективной съемки. // Достижения высшей школы - 2011. ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА: Publishing House «Education and Science» s.r.o., г. Прага. 2011.

УДК 622.831

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РУДНОЙ ЗОНЫ «НИКОЛАЕВСКАЯ» ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цой Д.И., Федотова Ю.В., Терешкин А.А., Рассказов М.И.

ИГД ДВО РАН, г. Хабаровск

Золоторудное месторождение Пионер расположено на территории Амурской области в Зейском районе. К настоящему времени верхняя часть месторождения в значительной степени отработана карьерами. Глубинную часть месторождения, включая рудную зону «Николаевская», планируется разрабатывать подземным способом. Для обоснования проектных решений по вскрытию и подземной отработке участков месторождения необходима объективная информация о свойствах и состоянии массива горных пород, которая может быть получена в результате специальных геомеханических исследований. Часть из них заключена в проведении экспериментальных лабораторных исследований [1-6].

Рудная зона «Николаевская» сложена в основном новообразованными породами, на долю которых приходится около 95% всего объема пород. Исходные породы представлены алевролитами, в меньшей мере песчаниками и аргиллитами аякской свиты юрской системы, а также диорит-порфиритами мелового возраста. Их реликтовые останцы отмечаются в разрезах скважин, наиболее далеко отстоящих от рудного тела. Из новообразованных пород максимальной распространенностью (около 45%) пользуются кварц-полевошпатовые метасоматиты. Второе место занимают роговики (около 38%). Умеренную роль (около 6%) играют околорудные метасоматиты (березиты, кварц-турмалиновые и углеродистые гидротермалиты). По распространенности к ним близки (до 8%) тектонически нарушенные породы (зоны развальцевания, смятия, дробления и эндогенной трещиноватости). Невелик объем

(менее 3%) кварц-гидрослюдистых образований. Весьма локально (менее 0,01%) проявлены флюидолиты, кварц-каолин-карбонат-сульфидные руды и породы, превращенные в тектонические глины.

Детальные исследования физико-механических свойств горных пород рудной зоны «Николаевская» показали, что удельная плотность находится в пределах от 2,524 – у кварц-гидрослюдистых метасоматитов до 2,654 – у кварц-углеродистых метасоматитов по флюидолитам. Основные группы пород средней прочности (предел прочности на одноосное сжатие находится в пределах от 67,21 до 73,04 МПа), но при этом значения модуля Юнга достаточно высоки и находятся в диапазоне 36,21-62,17 ГПа.

Выделяется группа более мягких пород – кварц сульфидная руда (предел прочности на одноосное сжатие до 50,13 МПа, а модуль Юнга составляет 31,25 ГПа), а также более крепких пород – березиты с пределом прочности на одноосное сжатие до 110,69 МПа, на растяжение – до 4,7 МПа. Достаточно высокие значения предела прочности на растяжение также наблюдались в группах пород: алевролиты, брекчии нагнетания и кварц-гидрослюдистые метасоматиты по аргиллитам ($\sigma_p=4,9-5,8$ МПа), наименьшие значения – у кварц-сульфидной руды и (σ_p - до 2,2 МПа). При этом показатель хрупкости для всех типов горных пород месторождения, превышает 12, что указывает на способность горных пород накапливать значительную потенциальную энергию и разрушаться в динамической форме.

Кроме стандартных испытаний образцов керна, выполненных в соответствии с ГОСТами и [7-9], проводилась оценка эффекта Кайзера. При одноосном сжатии породы, ранее испытывавшей трехосное нагружение, эффекты памяти имеют место при отклонении оси одноосного сжатия от направления максимального действовавшего ранее главного напряжения не более чем на 5-10°. Это обстоятельство лежит в основе определения направления главных напряжений по результатам лабораторных испытаний серии образцов, ориентированных в различных направлениях [10-15].

По результатам выполненных исследований установлено, что эффект Кайзера проявляется в 30% исследуемых образцов, отобранных на глубинах от 22 до 134,5 метров из вертикальных скважин С2001, С47, при достижении нагрузки $\sigma_k=5,71-124$ МПа. В процессе нагружения этих образцов наблюдался резкий рост количества импульсов АЭ. При этом, величина определенных напряжений по результатам метода на основе эффектов памяти в большинстве случаев не коррелирует со значениями, полученных по формуле расчета напряженного состояния гравитационного типа, что в целом указывает на возможную субгоризонтальную ориентировку главных максимальных напряжения *in situ* σ_1 .

Устойчивость массива отражается в рейтинговых показателях вмещающих пород и рудных тел. Выполненный анализ фотодокументации керна позволил определить количественные характеристики для следующих

свойств: эндогенной и экзогенной трещиноватости, типов пород по их физико-механическим параметрам. Рассчитанные показатели [16-17] качества породы, характеризующей трещиноватость в блоке – RQD (32 и 38 для вмещающих пород и руд соответственно), рейтинг массива горных пород – RMR (70 и 65), и геологический индекс прочности горных пород – GSI (65 и 60) позволяют отнести изученный блок к 2 классу по устойчивости массива.

Результаты проведенных исследований легли в основу разработанного ИГДДВО РАН «Заключения по оценке склонности к горным ударам золоторудного месторождения Пионер в пределах подкарьерных запасов рудной зоны «Николаевская»». На основании анализа полученных результатов, по предварительной оценке, рудная зона «Николаевская» до глубины 350 м может быть отнесена к несклонным к горным ударам.

Расчеты и анализ были выполнены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных Дальневосточного отделения Российской академии наук», финансируемого Российской Федерацией в лице Министерства науки и высшего образования РФ по проекту № 075-15-2021-663.

Список литературы

1. Рассказов И.Ю., Курсакин Г.А., Потапчук М.И., Рассказов М.И. Геомеханическая оценка технологических решений при проектировании горных работ в удароопасных условиях // Записки Горного института. – 2012. – Т 198. – С. 80-85.
2. Власов Н.Г., Курник Л.П. Роль субмеридиональных геологических структур в формировании рудных узлов Приамурья. // Разведка и охрана недр. – № 11 – 2013. – С. 7-11.
3. Саксин Б.Г., Рассказов И.Ю., Шевченко Б.Ф. Принципы комплексного изучения современного напряженно-деформированного состояния верхних уровней земной коры Амурской литосферной плиты // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015. – № 2. – С. 53-65.
4. Rasskazov M.I., Potapchuk M.I., Kursakin G.A., Tsoi D.I. Geomechanical justification of security measures in the development of the South-Khingang deposit of manganese ore. // E3S Web of Conferences, 2018, Vol 56, 02014.
5. Потапчук М.И., Курсакин Г.А., Сидляр А.В., Терешкин А.А., Рассказов М.И. / Повышение безопасности подземной отработки месторождений сложной тектонической структуры // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. - № S21. - С. 120-131.
6. Потапчук М.И., Терешкин А.А., Рассказов М.И. / Оценка геомеханического состояния массива горных пород при отработке сложноструктурных рудных тел системой поэтажных штреков с управляемым обрушением кровли // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. - № 12. - С. 39-45.
7. Шкуратник В.Л., Николенко П.В. Методы определения напряженно-деформированного состояния массива горных пород: Учебное пособие. – М.: МГГУ, 2012. – 113 с.

8. Рассказов М.И., Терешкин А.А., Цой Д.И. / Оценка напряжённого состояния массива месторождения «Пионер» на основе акустико-эмиссионного эффекта памяти горных пород // Проблемы недропользования. 2019. – № 2 (21). – С. 62-67.

9. Прохоров К.В., Гладырь А.В., Рассказов М.И. / Центр коллективного пользования «Центр исследования минерального сырья» // Горная промышленность. — 2020. — №4. – С.120 – 126.

10. Kaiser J. Erkenntnisse und Folgerungen aus der Messung von Gerauschen bei Zugbeanspruchung von metallischen Werkstoffen // Archiv fur das Eisenhüttenwesen. – 1953. – Vol. 24. – No. 1/2. – P. 43-45.

11. Рассказов М.И., Потапчук М.И., Цой Д.И., Терешкин А.А., Гладырь А.В. Изучение горно-геологических особенностей и определение физико-механических свойств горных пород золоторудного месторождения Делькен // Проблемы недропользования. – 2020. – № 2 (25). – С. 116-126.

12. Рассказов М. И., Цой Д.И., Крюков В.Г., Потапчук М.И., Федотова Ю.В. / Изучение горно-геологических особенностей и определение физико-механических свойств горных пород золоторудного Албынского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. - № 5-2. - С. 146 - 161.

13. Yoshikawa S., Mogi K. A new method for estimation of the crustal stress from cored rock samples: laboratory study in the case of uniaxial compression // Tectonophysics. 1981. – Vol. 74. – No. 3/4. – P. 323-339.

14. Шкуратник В.Л., Лавров А.В. Методика оценки напряженного состояния направлений и величины главных напряжений в массиве горных пород на основе эффектов памяти в извлеченных из массива образцах: препринт. – М.: МГТУ, 2003. – 17 с.

15. Саксин Б.Г., Мирзаханов Г.С., Рассказов М.И., Усиков В.И., Цой Д.И. / Инженерно-геологическая оценка скального основания Нижне-бурейской ГЭС // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2015. - № S2. - С. 3 - 12.

16. Barton N. and Grimstad E. (2004) The Q-system following thirty years of development and application in tunneling projects. Proc. ISRM Symp. EUROCK2004. Salzburg, Austria, 2004, pp 15-18.

17. Hoek E., Carter T.G., Diederichs M.S. Quantification of the Geological Strength Index chart, 2013 ARMA 13-672.

НАБЛЮДЕНИЯ ПРОЦЕССА ПОДРАБОТКИ ТЕРРИТОРИИ НА ШАХТЕ ИМ. С.М. КИРОВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ SENTINEL-1

Чурсин И.Н.

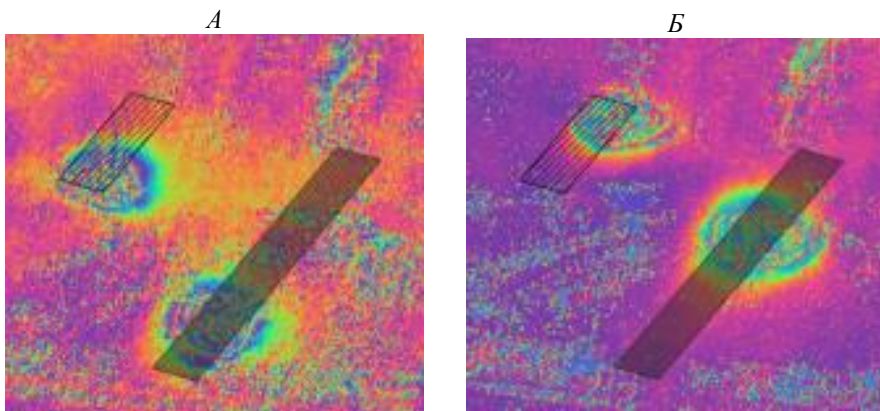
ИПКОН РАН

Большие размеры вовлекаемых в добычу территорий обуславливают достаточно высокую трудоемкость наблюдений за процессами сдвижения земной поверхности, в связи с чем актуально привлечение спутниковой

информации для наблюдения изменений земной поверхности, в том числе и процессов деформации. Спутниковые методы в настоящее время достаточно широко используются для радиолокационных наблюдений земной поверхности, результатом которых являются карты смещения земной поверхности. Метод, используемый для обработки радиолокационных снимков с последующим получением значений смещения, называется радарной интерферометрией. Однако, интерферометрические методы тоже имеют ряд ограничений, связанных с пространственной и временной декорреляцией, атмосферными искажениями, наличием искажающих сигналов поверхностей на Земле [1, 2]. В таком случае конечное поле значений смещения, полученное с использованием интерферометрии, не всегда может правильно воспроизвести в том числе и границы, внутри которых происходит процесс сдвигания земной поверхности. В данном докладе представлена работа, в ходе которой на основе визуального анализа интерферограмм, полученным по серии пар спутниковых радиолокационных изображений Sentinel-1, были определены границы мульды сдвигания, образовавшейся в ходе подработки территории поселка Байкаим вблизи города Ленинск-Кузнецкий в 2017 году выработками пласта Болдыревский.

В работе использовалось 18 радиолокационных снимков Sentinel-1, которые были скачаны с геопортала миссии. Всего на орбите находится два спутника Sentinel-1 (Sentinel-1A и Sentinel-1B), которые производят съемку земной поверхности в С-диапазоне. Один спутник совершает пролет над каждой точкой земной поверхности раз в 12 суток, что обеспечивает оперативность в 6 суток, если использовать данные сразу двух спутников. Ширина охвата территории составляет 250 км. Данные со спутников доступны, начиная с 2014 года. На геопортале миссии доступны результаты радиолокационной съемки в различных режимах и с разным уровнем обработки. Для интерферометрической обработки данных со спутника Sentinel-1 обычно используются снимки уровня SLC (Single Look Complex), сделанные в режиме Interferometric Wideswath (IW) [3].

Обработка серий радиолокационных изображений проводилась в бесплатном программном обеспечении SNAP. SNAP является программным комплексом, предназначенным для обработки снимков со спутников Европейского космического агентства, в том числе с Sentinel-1. Здесь возможно генерировать интерферограммы по парам радиолокационных снимков. Для генерации одной интерферограммы в данном случае использовалась пара снимков за две соседние даты. Таких пар по 18 снимкам получилось 19. На рис. 1 представлен пример двух интерферограмм, полученных за начальные даты наблюдения (А) и за конечные даты наблюдения (Б).



**Рис. 1. Интерферограммы, полученные за даты
А) с 14.06.2017 по 26.06.2017 и Б) с 24.10.2017 по 05.11.2017**

На интерферограммах можно заметить интерференционные кольца, образовавшиеся в местах, где произошло сдвижение земной поверхности над выработками, обозначенными штриховкой. Можно также заметить, что эти кольца на момент начала наблюдений находятся вначале выработок, а на момент окончания наблюдений – в конце. В ходе сопоставления центров этих колец с планами горных работ было выявлено, что они изменяют свое положение с такой же скоростью, что и скорость продвижения забоя на наблюдаемых выработках. Площадь, покрытая этими кольцами должна в свою очередь соответствовать площади, где произошло оседание за две соседние даты наблюдения.

На основе серии таких интерферограмм за период с 14.06.2017 по 05.11.2017 были определены границы мульды сдвижения (Рис. 2). Сопоставление с границами, полученными по результатам маркшейдерских измерений, показало отклонение границы, определенной визуально по интерферограмме, на 100 м.



Рис. 2. Изменение мульды сдвижения с 14 июня 2017 по 5 ноября 2017

Построенные интерферограммы показали районы сдвижения земной поверхности. По результатам наблюдения динамики интерференционной картины обнаружена ее взаимосвязь с продвижением забоя. Таким образом, на основе серии интерферограмм была построена общая мульда сдвижения, границы которой были соотнесены с результатами маркшейдерских наблюдений. Визуально ее границы получилось построить с отклонением около 100 м от границ, полученных по маркшейдерским наблюдениям.

Список литературы

1. Эпов М.И., Миронов В.Л., Чимитдоржиев Т.Н., Захаров А.И., Захарова Л.Н., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. Наблюдение просадок земли в районе подземных угольных выработок Кузбасса по данным радиолокационной интерферометрии ALOS Palsar // исследование Земли из космоса. 2012. №. 4. pp. 26-29.
2. Евтюшкин А. В., Филатов А. В. Оценка деформаций земной поверхности в районах интенсивной нефтедобычи Западной Сибири методом PCA интерферометрии по данным ENVISAT\ASAR и ALOS\PALSAR //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2009. – Т. 6. – №. 2. – С. 46-53.
3. Кантемиров Ю. И. Краткие теоретические основы радарной интерферометрии и ее многопроходных вариаций Ps и SBass //Геоматика. – 2012. – №. 1. – С. 22-26.

УДК 624.138.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УКРЕПЛЕНИЯ РЫХЛОЙ ПОРОДЫ ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ СМОЛОЙ

Шилова Т.В., Сердюк И.М.

ИГД СО РАН, г. Новосибирск

В технологиях воздействия на массив горных пород широко используют инъекционное укрепление двухкомпонентными полимерными смолами [1-5]. Использование быстродействующих смол для укрепления пород осложняется высокой вязкостью, ограниченным объемом закачки из-за быстрого времени реакции и пр. Это приводит к снижению пропитки породы смолой, загрязнению инъекционного оборудования [6-9]. Чтобы исключить указанные проблемы, в работе предложен и протестирован способ укрепления рыхлых пород полимерными смолами, включающий последовательное нагнетание отдельных компонентов в породу и их вытеснение сжатым газом вглубь породы между этапами нагнетания.

Исследования проводились с образцами песка и двухкомпонентной органической смолы. Средний размер зерен песка составил 0,27 мм,

абсолютная и объемная плотность – 2,6 и 0,6 г/см³, соответственно. Органоминеральная смола образуется при смешивании двух компонентов в объемном отношении 1:1, один из которых (А) состоит из натриевого жидкого стекла, воды, глицерина, содержит катализатор 0,8 масс. %, а другой (Б) является смесью полиизоцианата и дибутилфталата [10]. Предложенный способ укрепления включает последовательную закачку отдельных компонентов смолы (сначала компонент А, затем компонент Б) в породу с дополнительной обработкой сжатым газом между этапами нагнетания. Составы закачивали в породу порционно малыми объемами (20-22 см³) с выдерживанием времени (60 с) на каждом этапе для увеличения пропитки песка (рис. 1). Суммарный объем компонентов смолы в экспериментах составлял 220 см³, что в 1.4-1.5 раза меньше объема пор образца породы.

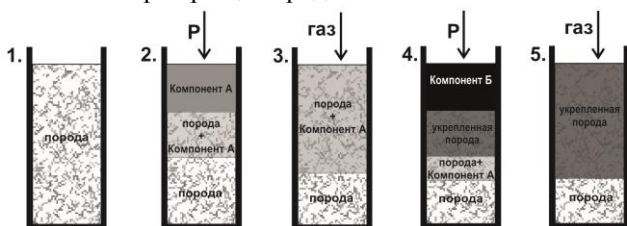


Рис. 1. Схема укрепления породы способом покомпонентной закачки компонентов А и Б двухкомпонентной смолы с обработкой газом между этапами нагнетания: 1 – подготовка образца породы; 2 – закачка компонента А; 3 – вытеснение закаченного компонента А вглубь породы газом; 4 - закачка компонента Б смолы; 5 – вытеснение закаченного компонента Б газом

Также были выполнены тесты по укреплению породы готовой органоминеральной смолой, которую закачивали сразу после смешивания компонентов А и Б. В экспериментах давление закачки и вытеснения составов вглубь образца сжатым азотом составляло 0,5 МПа. Время нагнетания готовой смолы составляло 10 минут. Из укрепленного песка были изготовлены цилиндрические образцы диаметром и длиной 3 см для испытаний на одноосное сжатие. Деформационно-прочностные тесты проводились с использованием сервогидравлического пресса INSTRON 8802 при постоянной скорости перемещения траверсы 0,5мм/мин для нагружения образцов вплоть до разрушения. Анализ данных лабораторных тестов показал, что последовательная покомпонентная закачка органоминеральной смолы порциями малого объема с вытеснением составов вглубь породы азотом обеспечивает более высокую механическую прочность укрепленного песка (рис. 2).

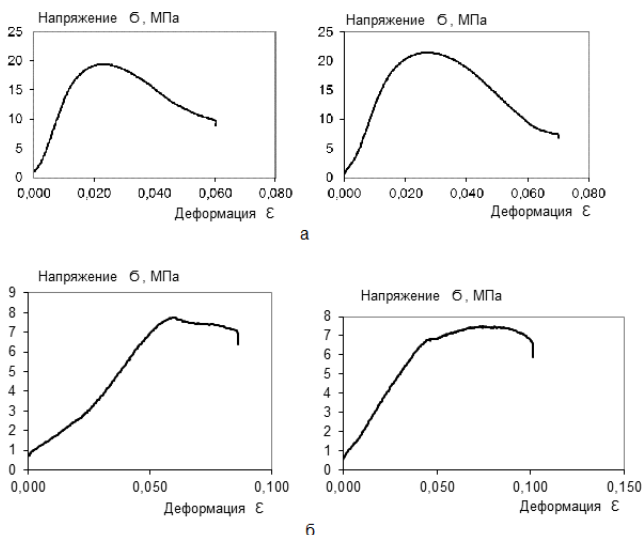


Рис. 2. Результаты испытаний укрепленного песка при одноосном сжатии (скорость перемещения траверсы 0,5мм/мин). Диаграммы «напряжение–деформация» для образцов, полученных: а – при покомпонентной порционной закачке органоминеральной смолы с вытеснением отдельных компонентов вглубь породы инертным газом; б - способом закачки готовой органоминеральной смолы

Предел прочности на одноосное сжатие образцов песка при покомпонентной закачке, в среднем составляет 19,4МПа. Предел прочности на одноосное сжатие образцов песка, укрепленных при нагнетании готовой смолы в среднем составил 7,4 МПа, что значительно ниже значений, полученных при покомпонентной закачке. Вместе с тем, песок, пропитанный готовой смолой, выдерживает более значительные продольные деформации (ε). Предел прочности достигается при $\varepsilon \approx 0.35 - 0.65$ в то время, как при покомпонентной закачке – при $\varepsilon \approx 0.18-0.20$ (рис. 2). Укрепленная порода проявляет свойства, присущие эластомерам, но в меньшей мере, чем отвержденный полимер. Предложенный способ укрепления породы, включающий покомпонентную порционную закачку двухкомпонентной смолы, вытеснение каждого компонента вглубь породы сжатым азотом, обеспечивает снижение расхода полимера на единицу объема породы при одновременном улучшении ее прочностных свойств. Прочность на одноосное сжатие в среднем более, чем в 2 раза выше значений, полученных при стандартном способе закачки полимерных смол.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-20126, <https://rscf.ru/project/22-27-20126/>, и финансовой поддержки Правительства Новосибирской области.

Список литературы

1. Anagnostopoulos, C. A. (2015). Strength properties of an epoxy resin and cement-stabilized silty clay soil. *Applied clay science*, 114, 517-529.
2. Sabri, M. M. S., Vatin, N. I., & Alsaffar, K. A. M. (2021). Soil injection technology using an expandable polyurethane resin: A review. *Polymers*, 13(21), 3666.
3. Sabri, M. M. et al. (2018). Improvement of the soil deformation modulus using an expandable polyurethane resin. *Magazine of Civil Engineering*, (7 (83)), 222-234.
4. Al-Atroush, M. E., & Sebaey, T. A. (2021). Stabilization of expansive soil using hydrophobic polyurethane foam: A review. *Transportation Geotechnics*, 27, 100494.
5. Liu, Jin, et al. «Evaluation of strength properties of sand modified with organic polymers.» *Polymers* 10.3 (2018): 287.
6. Tunçdemir, F et al. (2009). Fracture grouting of sand by microfine cement grouts. *Proceedings of the Inst-on of Civil Eng.-Ground Improvement*, 162(2), 93-101.
7. Šňupárek, R., & Souček, K. (2000). Laboratory testing of chemical grouts. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 15(2), 175-185.
8. Cornely, W. (2002). Sealing with Carbot. Fosroc synth. resins. *Reinforcement, sealing and anchoring of rock massif and building structures*, 6-15.
9. Chen, Q., et al.. (2021). Cyclic stress-strain characteristics of calcareous sand improved by polyurethane foam adhesive. *Transportation Geotechnics*, 31, 100640.
10. Shilova, T. V. et al. (2022, February). Study of polymer compositions for formation of impermeable inclusions in rock mass. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 991, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.

УДК 539.3

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОГЕННОГО СКЛОНА

Шиповский И.Е.

ИПКОН РАН

Введение

Надёжность построек и инженерных сооружений зависит от устойчивости оснований, на которых они возводятся, в особенности, когда в качестве оснований используются откосы и склоны, которые подвержены потере устойчивости. При этом серьёзную опасность представляют оползни и обвалы для всех видов зданий, промышленных объектов и дорог.

В связи с этим изучение способов расчета устойчивости откосов и склонов является весьма актуальной задачей.

Направлением данной работы является применение метода сглаженных частиц к моделированию напряжённо – деформированного состояния массива, а также определение факторов, оказывающих влияние на устойчивость откосов техногенного характера. Техногенные откосы – карьеры, котлованы, траншеи, возникающие в результате горных, строительных работ при работе техники.

Цель исследования - прогнозирование устойчивости откосов под действием естественных процессов – в основном гравитации. Перемещение обломков горных пород при этом происходит сверху вниз под действием силы тяжести. Этот процесс называется гравитационным. Развитие различных природных и техногенных процессов приводит к потере устойчивости, что является главной причиной возникновения гравитационных процессов.

При гравитационном переносе материал может перемещаться разными способами: падение, скатывание и скольжение отдельных обломков по крутым склонам. Разрушение горных пород является основой гравитационных процессов, которое происходит в верхней части склона при перемещении разрушенного материала вниз по склону и накоплении массы горных пород у его подножия.

Оползень – это процесс соскальзывания блока горных пород вниз по склону или откосу по поверхности скольжения под действием гравитационных сил (вес пород, давление воды, сейсмическое воздействие, техногенные нагрузки).

Оползшую массу называют оползевым телом (или оползевым блоком). Оползневое тело может иметь форму удлиненного холма или вытянутой параллельно склону гряды холмов (линейные оползни). В процессе оползания первоначально монолитный блок пород дробится, сминается, вплоть до превращения в бесструктурную массу; при этом в тыловой части тело оползня менее разрушено. Характер поверхности скольжения зависит от геологического строения склона или откоса. Поверхность скольжения может быть, как цилиндрической, так и состоящей из нескольких пересекающихся плоскостей и поверхностей.

Оползневой процесс возникает и развивается при наличии различных условий гравитационных процессов. Происходит это при нарушении равновесия сил, стремящихся разрушить массив горных пород, и противостоящих им сил сопротивления. Более опасными являются высокие и крутые склоны, при этом предельно устойчивая высота h зависит от угла наклона α склоновой поверхности.

Порода в массиве испытывает воздействие как нормальных, так и касательных напряжений. Когда касательные напряжения по какой-либо поверхности в породе достигают ее предельного сопротивления, происходит сдвиг одной части массива по другой.

Напряжённое состояние твёрдого тела определяется взаимодействием в нём внутренних - нормальных σ и касательных τ напряжений, разных при различных значениях внешнего давления. Откладывая на оси абсцисс (рис. 1) значения минимальных и максимальных значений нормальных напряжений в разных направлениях σ (предельные значения σ_1 и σ_3) и, строя на них круги – при разных значениях внешнего давления P , получаем круги Мора.



Рис. 1. К модели Друкера – Прагера

Теперь, по огибающей этих кругов Мора, для любого значения нормального напряжения всегда можно получить значение касательного напряжения τ . Критерий прочности Кулона – Мора представляет собой билинейную зависимость касательных напряжений материала от величины приложенных нормальных напряжений. Зависимость представлена как:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c,$$

где τ – величина касательных напряжений, σ – величина нормальных напряжений, c – сцепление, $\operatorname{tg} \varphi$ – тангенс угла наклона кривой критерия прочности, φ называют углом внутреннего трения.

Описание горных пород проводится по идеологии модели Друкера – Прагера. Переход к пластическому деформированию геосреды проявляется при выполнении условия текучести Мизеса, которое зависит от среднего давления.

Условие текучести в общем виде

$$\phi = \sigma_{eq} - \sigma_T$$

где σ_{eq} – скаляр, эквивалентное напряжение, вычисленное по компонентам тензора напряжений; σ_T – предел текучести при одноосном растяжении. При $\phi < 0$ материал остается упругим, при $\phi = 0$ возникают пластические деформации.

Эквивалентные напряжения определяются по критерию Мизеса:

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \sqrt{((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)}$$

Текучесть появляется, когда выполняется условие $\sigma_{eq} = \sigma_T$. Эквивалентное напряжение пропорционально упругой энергии сдвига или энергии, которая требуется для изменения формы, а не для изменения объема. Поэтому соотношение $\phi = 0$ означает, что пластическое течение начинается тогда, когда энергия упругого сдвига достигает предельной величины.

Если установлено, что условие текучести выполняется, тогда направление и величина пластических деформаций будут определяться законом течения. Закон течения выражается в форме:

$$\{d\varepsilon^p\} = \lambda \{\partial Q / \partial \sigma\},$$

где $\{d\varepsilon^p\}$ - приращение пластической деформации; Q - пластический потенциал, скалярная функция напряжений, указывающая направление деформирования; λ – согласующий множитель Лагранжа, который определяет величину деформации и определяется из условия пластичности. Данный закон течения является ассоциированным для всех условий текучести. Поведение поверхности текучести определяется законом упрочнения при пластических деформациях материала.

Структура и конфигурация расчетной области формируются исходя из физической постановки задачи и возможного влияния внешних факторов на исследуемый процесс.

Начальная геометрия задачи представлена на рисунке 2.

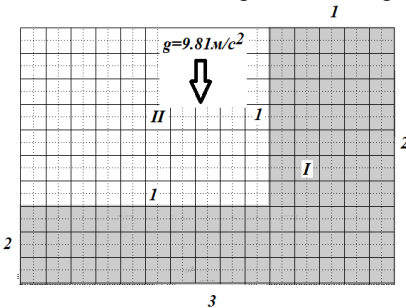


Рис. 2. Начальная геометрия задачи: 1- свободная поверхность; 2- условие «бесконечности», 3- «жесткая стенка»

Расчетная область, показанная на рис.2, представляет в гравитационном поле массив горной породы (I) с уступом, полученным в результате относительно быстрой выемки крупного блока породы (II).

Моделирование напряженно-деформируемого состояния геосреды осуществляется путем численного решения системы уравнений механики сплошной среды, которая включает уравнения неразрывности, движения и энергии. Замыкают систему уравнений определяющие соотношения, которые конкретизируют поведение среды, задавая связи между тензорами напряжений и деформаций. Учет изменения прочности нагруженной среды с течением времени, осуществляется путем введения функции накопления повреждений.

Применение данных соотношений позволяет рассматривать задачи о развитии деформации и разрушения за счет деградации прочности с течением времени при неизменной внешней нагрузке под действием силы тяжести.

Для решения поставленной краевой задачи применяется хорошо зарекомендовавший себя при решении задач геомеханики лагранжевый метод сглаженных частиц [1-6].

Результаты расчетов

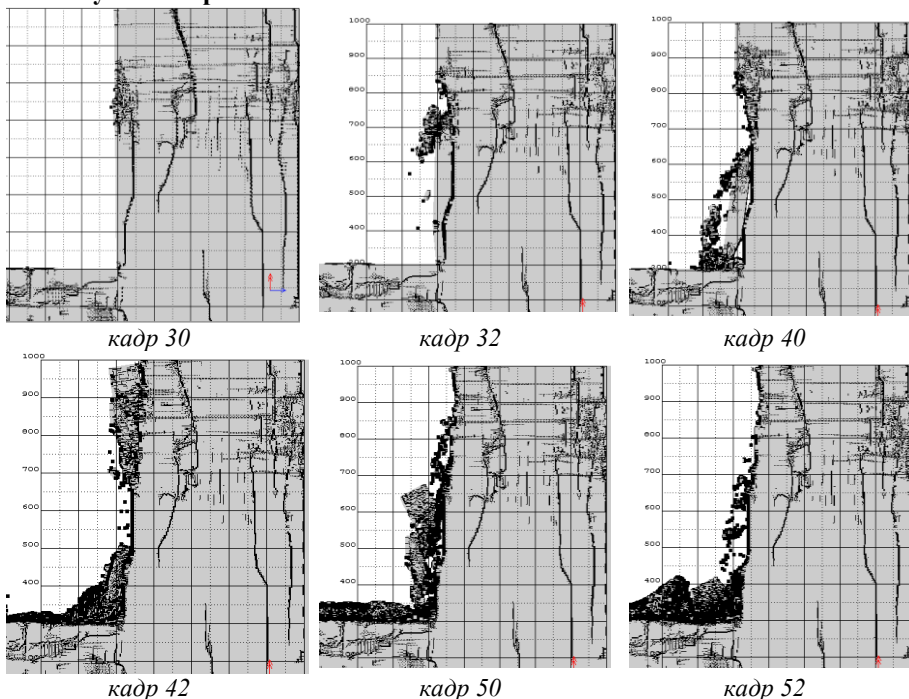


Рис. 3. Рассчитанная раскадровка состояния массива после выемки крупного блока

Выводы и перспективы развития направления

Используемая модель динамического разрушения наглядно воспроизводит деформации породы (рис. 3) и улавливает ее разрыхление и сдвигание путем ослабления взаимосвязей между частицами материала и формирования новых свободных поверхностей. Растягивающие напряжения и напряжения сдвига за счет возникшей фрагментации ведут к снижению прочностных параметров напряженно-деформированного состояния, т.е. к накоплению повреждений в массиве горной породы. Полученные путем изложенного подхода моделирования результаты (рис. 3) достаточно близко качественно коррелируют с эмпирическими наблюдениями и способствует более качественному изучению и лучшему пониманию физических процессов, происходящих при деформировании и разрушении пород при техногенных воздействиях.

Исследование показало, предложенный подход при моделировании поведения горного массива возможность описания устойчивости техногенных откосов в разрабатываемых массивах. Результаты являются базовыми для

разработки перспективных направлений методологических и научных исследований.

Список литературы

1. Шиповский И.Е. Расчет хрупкого разрушения горной породы с использованием бессеточного метода // Научный вісник НГУ. – НГУ. - Дніпропетровськ. - Вип. 1(145). - 2013.- С. 76-82.

2. Трофимов В.А., Шиповский И.Е. Особенности перераспределения напряжений и деформаций вокруг протяженных выработок при развитии очистных горных работ. // Физическая мезомеханика материалов. Физические принципы формирования многоуровневой структуры и механизмы нелинейного поведения: Тез. докл. Междунар. конф., Томск. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2022.- С. 221-222.

3. Трофимов В.А., Шиповский И.Е. Особенности деформирования и разрушения кровли выработанного пространства в зависимости от его протяженности // Шестая Международная конф. «Триггерные эффекты в геосистемах». Тезисы докладов. – М.: ИДГ РАН. 21-24 июня 2022 г. Москва. - 2 с.

4. В.Н. Захаров, О.Н. Малинникова, В.А. Трофимов, И.Е. Шиповский Моделирование влияния пульпообразных масс в толще отвала на динамику развития оползневых зон // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле.- Т. 1 2020. С. 359-378

5. Трофимов В.А., Шиповский И.Е. Компьютерное моделирование динамического разрушения бортов карьера // Материалы Пятой Международной конференции «Триггерные эффекты в геосистемах» 4-7 июня 2019 г.- Москва. - С. 245-254.

6. V.A. Trofimov, O.N. Malinnikova, Shipovskii I.E., Wen-Jie Xu Numerical Approach to Computer Simulation of Landslid Events // AIP Conference Proceedings 2167, 020329 (2019); Proceedings of the International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures 2019 pp. 020329-1 - 020329-8.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 62.47:338

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ - ОДНО ИЗ КЛЮЧЕВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ «ЗЕЛЕННОЙ» ЭКОНОМИКИ КАЗАХСТАНА

Ашимова А.А., Рысбеков К.Б., Нурпеисова М.Б.

Satbayev University. Алматы, Казахстан

В последние десятилетия во многих странах мира, в том числе и в Казахстане, особую актуальность приобрел переход к «зеленой» экономике, т.е. эффективному использованию природных ресурсов и повышению благополучия граждан Казахстана через диверсификацию экономики и создание новых рабочих мест, улучшение условий жизни для наших граждан.

На территории Республики, по данным Государственного кадастра, в отвалах, хвостохранилищах и накопителях предприятий горнопромышленного производства заскладировано около 30 млрд.т. промышленных отходов, в том числе: 72% - отвальные породы вскрыши и некондиционных руд, 20% - отвальные хвосты обогащения, 8% - прочие отходы. При годовом выходе промышленных отходов 1 млрд.т. полезно используется не более 100 млн.т. Остальная часть загрязняет окружающую среду, постепенно накапливаясь в ней [1].

По данным органов Государственного контроля и надзора за природными ресурсами доля используемых отходов по республике составляет 18-20%. Например, в 2007 г. процент утилизации отходов составил 16%, в 2008 г. – 18,98%, а в 2009г. – 20%. Однако этот показатель в недавнем прошлом в промышленности бывшего СССР составлял 29%. Остается он крайне низким и по сравнению с мировой практикой. В западной Европе (Франция, Германия, Италия, Англия) этот показатель составляет до 58%, в Северной Америке (США, Канада) – до 63%, в Японии – до 87%, Китае – до 37% [2].

Постоянное увеличение объемов образующихся в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности различных видов отходов и складирования их в хранилищах и опыт использования таких объектов в промышленности позволяет рассматривать их как источники для получения вторичного сырья и строительных материалов [3]. К тому же рост масштаба строительства в Казахстане требует значительного количества минерального сырья для индустрии строительных материалов. Интенсификация в данном направлении сопряжена с использованием промышленных отходов взамен первичных природных ресурсов с целью удешевления стройматериалов. Использование в индустрии строительных материалов твердых отходов горнорудного производства является более экономичным по сравнению с производством стройматериалов на базе специальной добычи минерального сырья.

Необходимость вовлечения в производство отходов ГМК, в том числе хвостов обогащения диктуется следующими обстоятельствами:

- сроки эксплуатации хвостохранилищ ограничены, заполнение многих уже закончено или заканчивается в ближайшие годы;
- хвосты занимают огромные территории и в связи с тем, что представляют собой тонкодисперсный и легко сдуваемый материал, являются источником повышенного экологического риска для регионов действия горно-обогатительных комплексов [3].

Поскольку отходы обогащения представляют собой тонкоизмельченный продукт, не требующий дополнительного помола перед использованием, это позволяет снизить экономические затраты. Кроме того, в процессе обогащения руд обеспечивается однородность материала как по химическому, так и минералогическому составу.

Одним из предприятий, где образуются нерудные породы, хвосты обогащения и отработанные воды является сырье из рудника Акжал.

Исследования состава отходов обогатительной фабрики рудника Акжал проводили с использованием современных методов физико-химического исследования - рентгеновский, дифференциальный, термический, петрографический, химический и соответствующей аппаратуры. Для изучения фазового состава отходов использованы методы рентгенофазового и дифференциально-термического и химического анализов на новейших установках ведущих стран (России, Германии, Японии, Швейцарии).

Результаты обследования выработок на Акжалском руднике (на карьере и подземных горизонтах) показали, что наибольшее количество вывалов приурочено трещиноватым породам, причем объемы вывалов увеличиваются по мере стояния выработок. Наблюдения за выработками, пройденными по трещиноватым породам, выявили, что они устойчивы в течение месяца. Через два-три месяца образуются заколы размерами до 10-15 см. Заколообразование и вывалы развиваются в течение полугода, обрушение кровли происходит в виде куполов. Это резко увеличивает объем и трудоемкость проходческих работ, а также затрат на крепление и ремонт выработок.

Для предотвращения обрушения выработок, пройденных по трещиноватым породам, используют анкерные крепи с металлической сеткой и набрызгбетона. Однако отслоение пород кровли транспортного штрека и значительные разрушения пород свидетельствует о том, что эта крепь не решает проблемы обеспечения устойчивости выработок и не предотвращает процесс развития деформаций. В результате после 2-3 лет стояния выработок происходит разрушение крепи и требуется проведение капитального ремонта.

К наиболее известным способам укрепления трещиноватых пород в массиве относится применение цементации. Цементный раствор готовят на основе цемента и воды. Такой метод обеспечения устойчивости откосов и уступов карьеров является комплексной задачей, решение которой должно включать не только определение параметров устойчивых откосов, но и управление ими для достижения лучших экономических результатов и природных

ресурсов. Здесь главная задача состоит в разработке укрепляющих растворов по низкой цене, с высокой прочностью.

На основании полученных результатов, нами предложен раствор для укрепления трещиноватых горных пород, содержащий наполнитель, цемент и технологическую воду. Для уменьшения стоимости раствора в качестве наполнителя предложено использование стоимости раствора в качестве на наполнителя предложено использование стоимости раствора в качестве на наполнителя предложено использование стоимости раствора в качестве на наполнителя

К наиболее известным способам укрепления трещиноватых пород мас-сива относится применение цементации. Здесь главная задача состоит в раз-работке укрепляющих растворов по низкой цене, с высокой прочностью. Для достижения цели предложен раствор для укрепления трещиноватых горных пород, содержащий наполнитель, цемент и воду.

Дополнительно сухую суперпластифицирующую добавку Neolit 400, ко-торую производит компания Neochim (РФ) с высокой водоредуцирующей способностью и дает возможность уменьшить водовязущее соотношение в системах более чем на 20%. Добавка хорошо совместима с портланд-цементами, цемент – до 37%, хвосты обогатительных фабрик – до 52% [4].

Показанное соотношение компонентов получено экспериментально в ла-бораторных условиях. Для нахождения прочности из смеси формируются об-разцы 4x4x16 см и уплотняются на виброплощадке в течение 45 сек, через сутки извлекаются из форм и хранятся во условиях влажности 28 суток, а затем проводятся физико-механические испытания, результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства раствора

При-мер	Состав раствора, масс.%				Показатели		
	Це-мент	Хвосты обо-гатительных фабрик	Неоли т 400	Отработан-ная вода ОФ	Предел прочно-сти на сжание, МПа	Предел прочно-сти на изгиб, МПа	Осад-ка кону-са, мм
1	32	52	0,16	15,9	32,4	4,3	150
2	33,4	49,3	0,13	16,3	35,7	5,1	146
3	37	47	0,11	16,9	36,9	5,7	142

Данные исследования подтвердили, что предлагаемый состав раствора для укрепления трещиноватого горного массива должен быть в следующем соотношении, масс. %: цемент 32- 37, хвосты обогатительных фабрик 47-52, суперпластификатор Neolit 400 – 0,11 – 0,16, остальное – вода.

Техническая новизна созданного раствора была подтверждена патентами РК на изобретение[5]. Таким образом, применение вышеописанного раствора обеспечивает укрепление слабых участков бортов и позволяет существенно уменьшить вредное воздействия отходов обогатительных фабрик на окружающую среду.

Таким образом, можно утверждать, что утилизация отходов ГМК в строительные материалы направлена на решение экологических и социальных проблем в регионах с развитой горнодобывающей и металлургической промышленностью. Рациональная организация процесса переработки отходов в сочетании с эффективным современным оборудованием позволяет получать продукцию из вторичного сырья с себестоимостью в 2-2,5 раза ниже, чем для аналогичной продукции из первичного сырья, при сопоставимом качестве продукта. Экономическая же эффективность использования отходов определяется тем, что техногенное сырье уже извлечено из недр, измельчено до тонкодисперсного состояния и уложено в отвалы.

Благодарности. *«Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК, грант №AP14871694 «Разработка технологии переработки золошлаковых отходов тепловой электростанции с получением востребованных строительных материалов».*

Список литературы

1. Указ Президента РК от 30 мая 2013 года № 577 «О Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике».

2. Информация об организации управления отходами в регионах Республики Казастан.-Астана, 2018.- 154 с

3. Rysbekov K.B., Nurpeisova M.B., Bek A.A. Use of enrichment waste for obtaining building materials// 4th International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources”. Book of Abstracts. - Petroşani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2021, pp 16-19.

4. A.A. Bek, Z.A. Yestemesov, D.O. Baidzhanov, N.A. Fedotenko. Effective strengthening solutions for fractured rock masses using tailings// Eurasian mining, 2022, No.1. pp. 59-64 (Scopus Q1).

5. Патент на полезную модель. №1573 РК. Состав для укрепления трещиноватых горных пород/ Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Г.М., Бек А.А.

УДК 622.34

ИЗМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА ПРИ ВНЕДРЕНИИ САМОХОДНОГО АККУМУЛЯТОРНОГО ГОРНОТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Бондаренко А.А.

ИПКОН РАН

В настоящее время разработка месторождений твердых полезных ископаемых характеризуется в большинстве случаев высокой интенсивностью ведения горных работ. В свою очередь длительность и интенсификация отработки месторождения обуславливается периодичностью проведения технического

перевооружения подземных рудников для поддержания роста полноты извлечения полезного ископаемого и увеличения производственной мощности ввиду изменения минерально-сырьевой базы [1].

Необходимость поддержания производительности в усложненных горно-технических и геологических условиях подземных рудников потребовали рассмотрения различных комплексов механизации горных работ. Одним из возможным и стратегически верным этапом технического перевооружения, отвечающим условиям сбалансированного и долгосрочного развития освоения месторождения является внедрения самоходной аккумуляторной горно-транспортной техники.

В виду несомненной актуальности и новизне исследований перехода подземных рудников к самоходному аккумуляторному горнотранспортному оборудованию и обоснованию изменения параметров горнотехнической системы были проведены исследования Отделом 1 совместно с ТОО Корпорацией «Казахмыс» [2-3]. Проведенный анализ опыта применения аккумуляторных горных машин и опытно-промышленные испытания аккумуляторной горнотранспортной техники компании «Epiroc» на базе медно-рудного Жезказганского месторождения позволил определить условия перехода и изменения параметров подземных рудников.

В ходе проведения исследований, определено, что при переходе к самоходному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания следует учитывать и исследовать изменения параметров транспортной схемы и таких вспомогательных процессов, как вентиляция, водоотлив и электрификация рудника. Именно изменение параметров системы вентиляции и электроснабжения существенно зависят от применяемого типа оборудования, а наибольший эффект от технического перевооружения посредством аккумуляторных горных машин возможен только при полном отказе от дизельного оборудования.

Очевидно, что исследования в области внедрения самоходной аккумуляторной горнотранспортной техники только набирает обороты, а результаты апробации машин в реальных условиях еще не опубликованы, что безусловно подтверждает необходимость проведения больших исследований и опытно-промышленных испытаний.

Список литературы

1. Каплунов Д.Р. Развитие производственной мощности подземных рудников при техническом перевооружение // М.: Наука, 1989. – 263 с.
2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.epiroc.com/ru-ru/newsroom/2021/boliden-collaborates-with-epiroc-and-abb-on-journey-towards-fossil-free-mine> . Дата обращения 27.08.2022
3. Бондаренко А.А., Шарипов Р.Ф. Сравнительный анализ эффективности эксплуатации дизельных и электрических погрузочно-доставочных машин при

подземной доработке Жезказганского месторождения // В книге: Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр. 2021. С. 103-105.

БЕНТОНИТ – МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

Ветюгов Д.А.^{1,2}, Русский А.В.², Жигарев В.В.²

¹ИПКОН РАН, г. Москва, ²ООО «Бентонит Хакасии», г. Черногорск

Бентонитовые глины имеют важное значение как перспективное и широко используемое промышленное сырье, являются традиционным связующим компонентом при производстве железорудных окатышей и обеспечивают гарантированные прочностные характеристики сырых и обожженных окатышей, отвечающие требованиям как для транспортировки, так и для доменного процесса [1]. По объему потребления, наиболее важными направлениями применения бентонитовой глины в России и мире являются: металлургия; литейное производство; бурение (для приготовления буровых растворов). Бентонитовые глины и материалы на их основе используются и в других отраслях промышленности, включая гидроизоляционные материалы, сельское хозяйство, резиновая, полимерная, бумажная промышленность, фармакология и т.д.

В мировой практике к бентонитам принято относить тонкодисперсные глины, состоящие не менее чем на 70% из минералов группы смектита, в основном монтмориллонита, содержание которого позволяет судить о качественных характеристиках бентонита. В качестве примесных компонентов встречаются кварц, полевые шпаты, кальцит, редко пирит и органическое вещество, а также другие глинистые минералы – каолинит, иллит, смешанослойные глинистые минералы, реже хлорит и вермикулит.

Минерал монтмориллонит относится к подклассу слоистых силикатов, обладает способностью к сильному набуханию благодаря своему строению и имеет ярко выраженные сорбционные свойства. Химический состав непостоянный, сильно зависит от варьирующего содержания воды. По анализам чистых разновидностей устанавливаются следующие колебания (в %): SiO₂ - 48-56, Al₂O₃ - 11-22, Fe₂O₃ - 5 и более, MgO - 4-9, CaO - 0,8-3,5 и более, H₂O - 12-24 [2]. Среди свойств монтмориллонита, определяющих промышленную ценность бентонита, - субмикронный размер кристаллов, слоистая структура, большая площадь поверхности (до 800 м²/г), значительный отрицательный заряд слоя (≈ 120 мг-экв/100 г) и связанные уравнивающие обменные катионы, находящиеся на поверхности [3]. Указанные особенности структуры монтмориллонита определяют специфические свойства, такие как связующая и сорбционная способность, термостойкость и др.

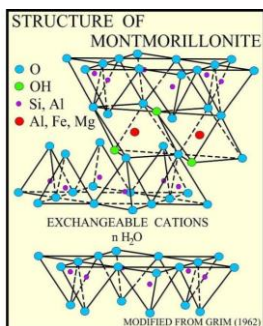


Рис. 1. Структура монтмориллонита

По характеру обменных катионов в составе межслоевого комплекса монтмориллонита, бентонитовые глины подразделяются на щелочные (натриевые) и щелочноземельные (кальциевые, магниевые) типы. Щелочные бентониты обладают более высокими технологическими свойствами по сравнению с щелочноземельными, в связи с тем, что ионы щелочных металлов, в первую очередь натрия, имеют более высокий потенциал гидратации [4]. Учитывая, что набухание Na-монтмориллонитов значительно выше чем у Ca-монтмориллонитов, для улучшения качественных показателей Ca-монтмориллониты переводят в натриевую форму путем активации кальцинированной содой.

В России распространены в основном Ca-монтмориллониты, общие запасы составляют порядка 189 млн т по категории A+B+C1 и 146 млн т по категории C2. Суммарная добыча за 2017 год составила более 700 тыс. тонн. По классификации государственных балансовых запасов полезных ископаемых за 2018 год, месторождения бентонитовых глин включены в группу «Глины бентонитовые», а также частично в группу «Глины для буровых растворов» и «Формовочные материалы».[5] Ключевым поставщиком бентонита для производства железорудных окатышей в Российской Федерации является республика Хакасия.

Месторождение глины бентонитовой «10-й Хутор» является сырьевой базой предприятия «ООО Бентонит Хакасии», находится рядом с г. Черногорск республики Хакасия. Месторождение представлено в виде полосы шириной 0,7 км и длиной 4,0 км, протягивающиеся в юго-западном направлении. Залегание пород в пределах месторождения моноклинальное со слабыми проявлениями в северо-восточном простирании и с падением на юго-восток под углом 6-8 град. Также отдельные продуктивные пласты глин, внутри рассматриваемой пачки имеют различные углы падения. Общее падение пластов прослеживается на 100-125 м и глубиной 25 м. Тектонических нарушений в пределах месторождения не обнаружено. Четвертичные отложения имеют незначительную мощность и представлены суглинками, супесями и песками. Генезис бентонитов месторождения «10-й Хутор» - вулканогенно-осадочный [6].

На карьере принята поперечная однобортовая система разработки (по классификации систем открытой разработки проф. Е.Ф. Шешко) и

транспортная (по системе Н.В. Мельникова). Поле карьера разделяется условно на блоки размерами по простиранию от 150 до 200 м, которые последовательно обрабатываются в направлении с северо-запада на юго-восток. В соответствии с горно-геологическими условиями разработка участка месторождения осуществляется горизонтальными слоями.

Важно отметить, что показатели качества исходного бентонитового сырья колеблются в широких пределах, как в каждом пласту отдельно, так и по падению пластов. В пределах каждого пласта выделяются несколько (от 3 до 5) разновидностей бентонитовых глин различных по качеству.

При этом следует выделить характеристики, позволяющие оценить ценность бентонита для процесса окомкования: коллоидность, степень (индекс) набухания, водопоглощение, эффективная вязкость, адсорбция метиленового синего (содержание монтмориллонита). Для использования бентонитовой глины для производства окатышей на железорудных горно-обогатительных комбинатах существует ряд регламентируемых показателей, которые необходимо выдерживать при поставке глины. Например, регламентируемые показатели для Михайловского ГОКа (табл.1) имеют четкую нижнюю границу, но важно отметить высокую чувствительность технологии окомкования к колебаниям качественных показателей связующего. Таким образом, стабильность качественных показателей отгружаемой продукции является одной из важнейших косвенных характеристик, учитывая различие качественных показателей проб, как по различным пластам, так и в пределах одного пласта. Пример показателей качества 5-го пласта месторождения «10-й Хутор» представлены в (табл.2).

Таблица 1

Регламентированные показатели для Михайловского ГОКа (из ТУ 08.22-015-01424676-2019)		
Наименование показателей	Ед. измерения	Значение, не менее
Эффективная вязкость	МПа*с	30
Индекс набухания	мл/2г	28
Содержание монтмориллонита	%	53

Таблица 2

Текущие показатели добываемых глин 5-го пласта месторождения «10-й Хутор»				
Наименование показателей	Ед. измерения	Нерабочий борт (выхода)	Центр часть пласта	Рабочий борт
Эффективная вязкость	МПа*с	50	41,44	26
Индекс набухания	мл/2г	38	33	26
Содержание монтмориллонита	%	63,8	62,4	56,7

Данные из Таблицы №2 подтверждают общепринятые закономерности зависимости показателей качества бентонита от его химического и минералогического состава, содержание монтмориллонита напрямую коррелирует со степенью набухания, эффективной вязкостью и поглощением метиленового

синего. Степень набухания, эффективная вязкость и адсорбция метиленового синего увеличиваются с увеличением содержания монтмориллонита.

В технологии окомкования на горно-обогатительных комбинатах добавление бентонита улучшает прочность сырых железорудных окатышей. Зависимость динамики увеличения прочностных характеристик сырых окатышей от увеличения содержания бентонита имеет различный характер в критической зависимости от постоянства качественных показателей поступающего на окомкование связующего, а также индивидуальных свойств концентратов различных ОФ.

Таким образом, в текущих горнотехнических условиях и разнорядности глин требуется соблюдение и выполнение комплексной отработки месторождения при обеспечении потребителей продукцией со стабильными и удовлетворительными показателями качества.

Решение поставленной задачи обеспечивается комплексом мероприятий:

- проведение эксплуатационной ГР и опережающих ГР.
- оценка показателей качества всех пластов;
- блокировка запасов по качеству и сортам;
- подтверждающее шурфование с оценкой качества перед выемкой;
- селективная добыча раздельно по блокам;
- раздельное складирование глин по типам с подтверждением качества;
- производство полуфабриката раздельно по типам;
- усреднение продукции в штабелях методом послышной укладки;
- дополнительно производится усреднение путем переэкскавации штабелей перед отгрузкой.

Так обеспечивается максимально стабильное качество бентонитовой продукции для процессов окомкования железорудных концентратов в условиях ООО Бентонит Хакасии». Добыча бентонитовой глины производится селективным способом с применением гидравлических экскаваторов малой мощности с последующей транспортировкой автомобильным транспортом в переработку. Вследствие большого количества пластов глины и пропластков пустых пород малой мощности, отработка селективным способом с применением высокопроизводительной горнодобывающей техники большой мощности - не допускается.

Железорудный концентрат, поступающий в процесс окомкования, получают в результате обогащения железной руды по следующей технологической схеме.

Исходная руда проходит стадию рудоподготовки, завершающуюся тонким измельчением после достижения размера частиц от 20 до 150 мкм. Основные процессы обогащения для получения концентратов с содержанием Fe 65-69% включают гравитационную и магнитную сепарацию или флотацию, а также их комбинации. В процессе переработки происходит частичная потеря ультратонких частиц с потоком воды, при удалении шлама, либо с хвостами обогащения, что приводит к снижению доли мелких классов в концентрате перед окомкованием. Формирование окатышей с необходимой прочностью, твердостью, пористостью и способностью связываться с помощью подходящей

смеси добавок зависит от доли мелких частиц, определяемой как распределением по классам, так и удельной площадью поверхности (например, по Блейну $\text{см}^2/\text{г}$). Поскольку обогащение снижает долю мелких частиц ниже требуемой удельной площади поверхности, требуется повторное измельчение концентратов, чтобы облегчить создание адекватной комкуемости окатышей для дальнейшей переработки при окомковании и обжиге [7]. Добавление бентонитового связующего частично компенсирует этот эффект.

Рост конкуренции на рынке железорудного сырья наряду с возрастающей стоимостью природного газа ставят перед производителями такой продукции две основные проблемы: повышение качества и снижение затрат на производство. Традиционные пути решения каждой из этих проблем часто являются взаимоисключающими. В связи с этим, разработка и апробация комплексных технологических решений по повышению качества железорудных концентратов и получаемых на их основе железорудных окатышей, а также оптимизация энергозатрат является актуальной задачей.

Список литературы

1. X.B. Zhang, "Discussion on performance index of bentonite used for metallurgical pelletizing," Sintered pellets, vol. 35, no.4, pp. 12–16, 2010.
2. Online edition from the website: «Catalog of minerals.ru», <https://catalogmineralov.ru/mineral/montmoril-lonite.html> .
3. N. Guven, Bentonites - Clays for Molecular Engineering, Research Paper, Elements (2009) 5 (2): 89-92. <https://doi.org/10.2113/gselements.5.2.89>
4. Osipov V.I., Sokolov V.N. «Clays and their properties. Composition, structure and formation of properties», Monograph. — Moscow: Geos, 2013. — 578 p.
5. P.E. Belousov, V.V. Krupskaya, "Bentonite clays of Russia and neighboring countries", Georesources, 2019. Vol. 21. No. 3. pp. 79-90.
6. P.E. Belousov, V.V. Krupskaya, S.V. Zakusin, V.V. Zhigarev. "Bentonite clays of the 10th Khutor deposit (Republic of Khakassia): features of genesis, composition and adsorption properties, RUDN Journal of Engineering researches, 2017. Vol. 18. No 1. 135-14.
7. Hindawi Journal of Chemistry Volume 2017, Article ID 7639326, 6 pages; Effect of Bentonite on the Pelleting Properties of Iron Concentrate; Hao Liu, Bing Xie, and Yue-lin Qin.

УДК 622.273.218

ОЦЕНКА СВОЙСТВ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НА ИХ ОСНОВЕ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Гаджиева Л.А.

ИПКОН РАН

Сохраняющаяся мировая тенденция экстенсивного недропользования определяет необходимость изыскания новых высокотехнологичных и малоотходных технологий добычи, обеспечивающих полноту и комплексность

190

освоения недр. В значительной мере изложенным требованиям отвечает технология выщелачивания бедных руд в специально созданных в недрах камер-реакторах [1,2]. Вовлечение в разработку физико-химическими методами с использованием этих технологий бедных руд, а также отходов добычи и переработки золоторудных и медно-колчеданных месторождений Южного Урала позволит в значительной степени увеличить минерально-сырьевую базу истощающихся месторождений, а также снизить экологическую нагрузку на горнопромышленный регион. Экологичность разработанной технологии обеспечивается, в первую очередь, изоляцией рабочего пространства камеры-реактора искусственными массивами с целью недопущения миграции активных и продуктивных растворов в окружающую среду, а также частичным или полным отказом от использования портландцемента для формирования искусственных массивов. Это определило выбор направления исследований – изучение возможности создания в недрах специальных камер-реакторов для подземного выщелачивания ценных элементов с формированием гидроизоляционных оболочек и перемычек на основе местных материалов - вмещающих пород и отходов добычи и переработки руд медно-колчеданных и золоторудных месторождений.

В ходе исследований установлено, что наиболее перспективным решением с позиции возведения специальных камер выщелачивания является применение композитных смесей на геоплимерной основе, обеспечивающих высокую механическую прочность, гидронепроницаемость, устойчивость к агрессивным средам и, в ряде случаев, термостойкость конструктивных элементов таких камер. Возможность использования отходов добычи и вмещающих пород медно-колчеданных и золоторудных месторождений Урала, как основы формирования твердеющих массивов на геоплимерной основе, определила выбор данных типов минерального сырья, применение которых позволяет отказаться от дорогостоящего цементного вяжущего, не отвечающего всем вышеперечисленным требованиям к горнотехническим конструкциям для подземного выщелачивания.

В соответствии с разработанной методикой выполнено теоретическое обоснование и экспериментально определен выбор наиболее перспективных для формирования геоплимерных конструкций вмещающих пород и техногенного сырья в районах месторождений многокомпонентных руд Южного Урала (медно-колчеданных на примере Сибайского и золоторудных на примере Новотроицкого месторождений). Изучены особенности вещественного состава исходного минерального сырья, экспериментально определены механические характеристики геоплимерных закладочных массивов, а также термо- и кислотостойкость формируемых композитов. В качестве исходных материалов использованы повсеместно распространенные на месторождениях Южного Урала горные породы различного петрографического состава, в том числе: кислые магматические вулканыты (дациты), метасоматиты (серицит-кварцевые), вулканические туфы (дацитов и андезитов), а также

лежалые отходы добычи и переработки руд золотоносных месторождений Урала.

Установлено, что определяющим критерием выбора материалов для формирования композитов на геополимерной основе является содержание в минеральном веществе аморфного кремнезема, образующего в процессе геополимеризации олигомерные молекулы с последующей внутренней реакцией и формированием трехмерной структуры.

В ходе химических и оптико-минералогических исследований образцов установлено содержание в составе SiO_2 и Al_2O_3 , присутствующих в горных породах, в том числе в аморфном состоянии. В дацитах и серицит-кварцевых метасоматитах медно-колчеданного месторождения содержание аморфного SiO_2 составляет, соответственно, 11% и 7%. Однако, следует отметить, что для образования устойчивых геополимерных композиций состав должен быть доработан за счет введения алюмосиликатных добавок. Метаморфизированные туфы дацитов и андезитов, а также хвосты обогащения золотоносных руд обладают слабой реакционной способностью с позиции геополимеризации ввиду высокого содержания в составе кристаллической фазы.

При приготовлении композитов на геополимерной основе в лабораторных условиях в качестве активатора алюмосиликатов использовался жидкий реагент, приготовленный в соответствии с рекомендациями [3], состоящий из раствора Na_2SiO_3 и химически чистого гранулированного NaOH . Регулирование соотношения Si/Al осуществлялось путем добавления в природное сырье термоактивированной золы-уноса.

В результате серии экспериментов были получены достаточно прочные композиты, обладающие равномерной структурой. На 10 сутки твердения смесей полученные образцы характеризовались прочностью, в разы превышающей структуры на цементной основе. Кроме того, в ходе сравнительной оценки свойств различных типов вяжущих: геополимерных, цементных и щелочно-активированных наилучшие результаты показали геополимерные композиты. Испытания проводились в соответствии с авторской методикой оценки пригодности испытуемых композитов для формирования камер подземного выщелачивания некондиционных руд, включающей исследование прочностных и деформационных характеристик полученных материалов, микроструктуры, коррозионной стойкости, устойчивости к воздействию высоких температур, агрессивных сред и влагонепроницаемости.

Результаты исследований позволяют сделать вывод, что формирование в массиве горных пород камер-реакторов для подземного выщелачивания ценных компонентов с созданием оболочек и перемычек на геополимерной основе из местного природного алюмосиликатного сырья способно обеспечить необходимые условия для эффективной переработки бедных некондиционных руд и техногенного сырья непосредственно в выработанном пространстве земных недр с обеспечением промышленной и экологической безопасности и экономической эффективности.

Список литературы

1. Радченко Д.Н. Комбинированная геотехнология с подземной добычей руд и камерным выщелачиванием: пространственно-временные взаимосвязи параметров технологических процессов / Д.Н. Радченко // Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр, Магнитогорск, 24–28 мая 2021 года. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – С. 41-43.
2. 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.].
3. Davidovits J. Geopolymer Chemistry and Applications, 4th edition, Institut Geopolymure. – Saint-Quentin, France (2015).

УДК 622.278

ВОВЛЕЧЕНИЕ В СФЕРУ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ОСТАВЛЕННЫХ ЗАПАСОВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

Закоршменный И.М., Блохин Д.И.

ИПКОН РАН

Рассмотрены вопросы полноты отработки угольных запасов и возможности использование оставленных в процессе добычи в сфере промышленного производства за счет их термохимической переработки в месте залегания.

В принятой Программе развития угольной промышленности России на период до 2035 года отмечено, что в результате проведенной реструктуризации угольной промышленности значительно улучшились показатели эффективности работы шахт. За период 1994–2018 годов было закрыто 188 шахт. При этом запасы горных отводов списаны или законсервированы и не могут быть извлечены при существующем уровне развития техники. Действующие по состоянию на 01.01.2022 года 53 шахты используют передовую высокопроизводительную технику, и большинство из них работает по прогрессивной технологии «шахта-лава». Но при этом увеличивается доля подземной добычи угля, осуществляемой в неблагоприятных горно-геологических условиях. В докладе Минэнерго России о ходе реализации в 2021 году Программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года отмечено, что вопреки планируемому снижению средней глубина разработки на российских шахтах достигла 482,5 метра против 431 метра в 2010 году. Практически все (90,8 процента) разрабатываемые угольные пласты являются опасными хотя бы по одному из факторов, стабильно высокой (87,3 процента) остается доля пластов, опасных по взрывчатости пыли. Все это ведет к переоценке кондиционных запасов. Только в 2021 году снижение запасов

угля в результате их переоценки и списания составило 163,1 млн. тонн. Россия обладает значительными запасами угля, однако, величина благоприятных для освоения запасов угля существенно ниже. Достаточно взглянуть на значительное снижение объемов кондиционных ресурсов угля, учтенных при разработке Программы развития угольной промышленности России до 2030 года и до 2035 года (4089525 млн. тонн и 1803896 млн. тонн соответственно) в основном из-за снижения прогнозных запасов для подземного способа добычи.

Из отгруженных на внутренний рынок 166,6 млн. тонн угля значительная часть идет на обеспечение электростанций – 72,2 млн. тонн, обеспечение населения, коммунально-бытовые нужды, агропромышленный комплекс – 27,8 млн. тонн [1].

Повышение конечной энергетической эффективности использования углей как энергетического сырья при существенном снижении отрицательного воздействия процессов добычи и сжигания углей на окружающую среду напрямую связано с разработкой нетрадиционных технологий разработки угольных месторождений. В оптимальном варианте эти технологии должны увязывать между собой в единое целое процессы добычи, переработки и использования угля.

На сегодняшний день на проблемы добычи и использования энергетического угля ориентированы только способы подземного сжигания (ПСУ) и газификации угольных пластов (ПГУ).

Экономический анализ результатов работы станций «Подземгаз», реализованных и разрабатываемых проектов показывает, что подземная газификация угля (ПГУ) может стать одним из наиболее экономичных способов энергетического использования угля [2, 3], но потери угля в шахтах, забалансовые и некондиционные угольные запасы в пределах горных отводов действующих шахт и разрезов не рассматривались к отработке способом ПГУ.

Под руководством академика В.В.Ржевского была разработана технология, предусматривающая комплексное извлечение из недр угля и тепловой энергии, заключительная стадия которой – подземное сжигание угля (ПСУ), реализующая безлюдную доработку оставленных в недрах запасов угля и получение на поверхности различных видов энергоносителей с использованием всасывающей схемы подачи дутья. В сферу промышленного производства могут быть включены подработанные горными работами участки месторождения и находящиеся вблизи действующих шахт [4, 5]. Технология подземного сжигания углей (ПСУ) также доказала свою работоспособность для отработки брошенных, некондиционных и забалансовых запасов в пределах горных отводов на экспериментальных участках: на шахте №1 «Острый» ш/у «Кураховское» ПО Селидовуголь и на участке шахты №32 «Киревская» ПО Тулауголь, на Южно–Абинской станции «Подземгаз» оставшихся запасов угля в пределах газогенераторов, в первую очередь, для целей местного теплоснабжения [6].

Для повышения эффективности использования тепловой энергии, получаемой в процессе термохимической переработки угля предложено и апробировано ряд решений направленных на снижение потерь тепла непосредственно в подземных условиях [7].

Кроме того, применение существующих вентиляторов и дымососов с низкими депрессиями (порядка 5000 Па) обуславливает необходимость иметь продуктивные выработки большого сечения. В противном случае вследствие больших аэродинамических сопротивлений производительность оборудования снижается на 10–25%, что нашло подтверждение при проведении экспериментальных работ. Поэтому важнейшей задачей разработки поверхностного комплекса, обеспечивающего:

1. Большее разрежение на устье продуктивных скважин по сравнению с серийно выпускаемым оборудованием. При этом необходимо соответствие количества воздуха, подаваемого в огневой забой, с производительностью тягодутьевого оборудования.

2. Решение вопросов утилизации горючих компонентов газа, как с точки зрения эффективности, так и экологической безопасности. С этой целью была разработана технологическая схема получения электрической энергии на основе предложенного нагнетательно-всасывающего способа подземного сжигания [8].

Что касается неизбежно появляющихся в ППСУ горючих компонентов, то представленный в работе [9] анализ исследований по их дожиганию, свидетельствует о необходимости и эффективности данного процесса. Одним из вариантов реализации этого процесса может быть использование эжекционных установок [10].

Список литературы

1. Петренко И.Е. Итоги работы угольной промышленности России за 2021 год // Уголь. – 2022. – № 3. – С. 9–23. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-9-23
2. Крейнин Е.В. Подземная газификация углей: основы теории и практики, инновации. — М., 2010. – 400 с.
3. Лазаренко С.Н., Тризно С.К., Кравцов П.В. Применение модифицированной технологии подземной газификации угля для разработки высокогазоносных угольных месторождений // ГИАБ. – 2010. – № 2. - С. 354–357.
4. Ржевский В.В. Подземное сжигание углей. – М.: МГИ, 1990. – 202 с.
5. Селиванов Г.И. Обоснование и разработка технологии подземного сжигания угля для получения тепловой энергии: Дисс. докт. техн. наук. – М.: МГИ, 1990. – 536 с.
6. Загоршвенный И.М., Янченко Г.А. Анализ и пути повышения эффективности извлечения тепловой энергии при подземном сжигании угля // ГИАБ. – 1999. – а№ 8. – С. 8–13.
7. Гайко Г.И., Заев В.В., Шульгин П.Н. Утилизация тепловой энергии при подземной термохимической переработке угольных пластов. – Алчевск: ДонГТУ, 2012. – 142 с.

8. Патент РФ 1760787, МКИЗ E21 B43/295. Способ подземной газификации твердых полезных ископаемых и устройство для его осуществления / И.М. Загоршменный, Г.И. Селиванов, Г.А. Янченко и др. / Заявлено 08.06.1990 г.

9. Загоршменный И.М., Янченко Г.А. О повышении экологической чистоты продуктов подземного сжигания угля // Экологические проблемы горного производства: Труды научн. конф. М.: МГГУ, 1995. – С. 199–202.

10. Патент РФ 2096605. Устройство для передачи тепловой энергии газообразных продуктов подземного сжигания угля теплоносителю / Ярунин С.А., Каркашадзе Г.Г., Загоршменный И.М. и др. / Заявлено 30.05.1996.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ НОВО-ГРЕМЯЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МИРОВОГО ОПЫТА

Зубков П.О.

ИПКОН РАН

Способ подземного выщелачивания (растворения) солей применяют в случаях, когда разработка месторождения по горно-техническим условиям не эффективна. Обычно это - глубина расположения продуктивного пласта свыше 1100 м, достаточно малая эффективная мощность пласта и сложный минералогический состав сырья, весьма осложненные залегания продуктивного пласта, ввиду наличия перекрывающих слоев, неоднородности составов.

Рассматриваемое Ново-Гремячинское месторождение калийных солей характеризуется достаточно сложными горно-геологическими, гидрогеологическими, геомеханическими, газодинамическими и горнотехническими условиями разработки, что связано с большой глубиной залегания - 1200 м и более, крайней неоднородностью структуры и литологического состава продуктивного пласта, изменение фильтрационных свойств пород, как по вертикали, так и по простиранию залежи. Кроме этого, месторождение характеризуется сложной морфологией залегания продуктивной толщи. Для оценки перспектив применения технологии выщелачивания при освоении Ново-Гремячинского месторождения был проанализирован мировой опыт физико-химической геотехнологии на месторождениях, представленных соляными породами: Наримановском, Городищенском, Светлоярском, Вендам (Нидерланды), Кемштедт (Германия), Затуринское (Украина), Саскачеван (Канада).

В ходе анализа мирового опыта растворения солей были выделены методы: одиночных скважин, сдвоенных скважин, горизонтальных полостей, вертикального выщелачивания в кавернах, горизонтального выщелачивания.

В методе одиночной скважины используются полости отдельных скважин, разделенные охранными целиками. Каждая скважина предусматривает разработку определенного блока, нагнетание растворителя (пресной воды) и

извлечение произведенного насыщенного солями раствора. Для Ново-Гремячинского месторождения на участках глубокого залегания сильвинитового пласта нецелесообразно применять метод подземного растворения путем бурения одиночной скважины с поверхности до пласта, ввиду высокой стоимости бурения глубоких скважин.

Метод двоярных скважин основан на объединении двух или более скважин, пробуренных в сильвинитовую залежь. Совместная работа скважин с различными функциями (нагнетание и извлечение) создает более мощный поток, увеличивая поверхность вымываемых солей в массиве по горизонтали, и насыщение солью продуктивного раствора.

Метод горизонтальной полости предназначен для широко распространенных плоских залежей малой мощности, в том числе с чередующимися слоями. Этот метод основан на направленном нагнетании, дозирующем подачу раствора близко к стволу скважины, что приводит к образованию горизонтальной полости. Насыщенный раствор поступает в одну или несколько вертикальных откачивающих скважин. Метод горизонтальной полости позволяет быстро и эффективно эксплуатировать пологие месторождения соли.

При отработке мощных соленых залежей крутого падения используют метод вертикальной отработки кавернами. При извлечении солей из каверны применяется одна или несколько вертикальных буровых скважинах. При этом одна из буровых скважин, как единственная связь между кавернами и поверхностной инфраструктурой, всегда является точкой закачки растворителя в залежь. В начальный момент растворитель обладает наибольшей химической активностью, поэтому растворение и расширение каверны происходит наиболее высокими темпами. Поскольку растворитель всегда легче добываемого рассола, существует тенденция к восходящему развитию каверны относительно глубины закачки, которая предотвращается закачкой нерастворителя (обычно нефтепродукта) в нагнетательную скважину. Нерастворитель легче растворителя и не вступает в реакцию с породами залежи. Поддерживая постоянный уровень нерастворителя в нагнетательной скважине, можно добиться контролируемого развития каверны в сторону от нагнетательной скважины (врезки). Зная высоту врезки, приблизительный размер разрабатываемой каверны можно оценить с помощью расчета материального баланса в массиве месторождения по объему и составу притоков и оттоков. В большинстве случаев возможна проверка протяженности каверны с помощью эхолокационной съемки. Поскольку нерастворитель находится в нормальных геологических условиях в самой высокой точке каверны у нагнетательной скважины, для начала следующей врезки требуется только извлечь нерастворитель из каверны и закачать новый состав на более высокой отметке.

Преимущество этого метода является относительно хорошо контролируемый объем залежи по толще продуктивного пласта. Важно, что этим методом

можно обрабатывать как участки месторождения с высоким содержанием ценных компонентов, так и с низким.

Недостатки данного метода связаны с тем, что невозможно развитие каверн на большие расстояния при небольшой мощности продуктивной залежи (<3 м). Кроме того, для эффективной разработки залежи требуется большое количество буровых скважин. Эта технология используется для производства Muriate of potash (Соляной раствор калия “MOP”) из рассола, полученного при подземном растворении сильвинитов на рудниках: Беле Плэйн (Belle Plaine), Саскачеван, Канада (компания MOSAIC) с начала 1960-х годов, с годовой производственной мощностью 2,4 млн тонн; на руднике Бетгюн (Bethune), Саскачеван, Канада (K+S Potash Canada GP), с 2017 года с годовой производственной мощностью 2,0 млн тонн MOP; на руднике Херши (Hershey), штат Мичиган, США (MOSAIC) с годовой производственной мощностью 0,2 млн тонн MOP. Этот метод также используется для производства MOP из рассола, полученного при добыче растворением карналлитита в Kehmstedt/Bleicherode (DEUSA International GmbH), с начала 1990-х годов, с годовой производственной мощностью 0,12 млн тонн MOP в Тюрингии, Германия.

Метод горизонтального скважинного выщелачивания применяется для подземного растворения в кавернах, развивающихся из горизонтальных скважин. Существует большое количество конфигураций горизонтальных и вертикальных сечений скважин. При растворении в кавернах, развивающихся из горизонтальной скважины, применяется та же концепция, что и на вертикальной скважине, когда растворитель в точке закачки легче полученного рассола. Поэтому от точки нагнетания растворитель двигается вверх, с развитием каверны в основном выше точки нагнетания, и только затем начинает перемещаться вдоль горизонтальной части скважины к точке извлечения, в конечном итоге растворяя залегающие калийные минералы на своем пути. Восходящее развитие каверны прекращается, когда растворитель сталкивается с породами, которые он не может растворить. Это может быть слой, богатый глиной, или более толстый слой каменной соли, если используется растворитель, насыщенный NaCl и KCl с минимальной способностью растворять NaCl. Только на этой границе каверна начинает развиваться в стороны. Чтобы использовать горизонтальные скважины для разработки каверн в калийном месторождении требуется идентификация естественного нерастворяющегося слоя, представляющего собой более толстый слой каменной соли. Использование слоя каменной соли в качестве естественного нерастворителя требует применения такого рассола, который растворяет преимущественно калий, при этом содержание NaCl остается неизменным. Для развития каверны содержание калийных минералов в месторождении должно быть достаточно высоким, чтобы они могли образовать взаимосвязанную сеть. Чтобы получить доступ к другому богатому KCl участку залежи, все горизонтальные участки должны быть обураны заново.

Преимуществом метода горизонтального скважинного выщелачивания является возможность отработки залежи с относительно малой мощностью (1-2 м), но с высоким содержанием ценного компонента. При этом часть залежей можно обрабатывать даже на больших глубинах (> 1000 м).

Недостатком метода является возможность отработки только участков месторождения с высоким содержанием сильвинита/карналлита (> 40%). При этом по толщине пласта только около 50-60% залежи могут быть отработаны через каверну, что обусловлено преимущественным развитием каверны в верхней границе обрабатываемого пласта. Такая технология, с устройством каверн через горизонтальные скважины используется для производства МОР из рассола, полученного при подземном растворении сильвинита на руднике Моабе (Moab), штат Юта, США (Intrepid Potash, Inc), начиная с 2003 года, с годовой производственной мощностью 0,11 млн тонн МОР из трех-каверновых систем.

Применительно к условиям освоения Ново-Гремячинского месторождения предварительно можно сказать, что метод вертикального скважинного выщелачивания с помощью каверн может быть применен для извлечения рассолов, насыщенных KCl, так, как добывают сильвинит на канадских месторождениях при большей глубине и большей мощности продуктивного пласта.

УДК 622.243; 622.24.08; 550.8.053

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ БУРОВЫХ МАШИН И ИНСТРУМЕНТА В УСЛОВИЯХ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Карпов В.Н., Немова Н.А., Резник А.В.

ИГД СО РАН, г. Новосибирск

На горнодобывающих предприятиях России в условиях современного промышленного производства при годовом планировании буровзрывных работ на карьерах и рудниках важным звеном технологической цепи является выбор и адаптация буровых машин и инструмента к конкретным горно-геологическим и горнотехническим условиям месторождений твердых полезных ископаемых [1-3].

Обеспечение высокой производительности буровых работ при низких показателях себестоимости бурения 1 п.м. в условиях отдельно взятого месторождения является актуальной проблемой как крупных горнодобывающих предприятий, так и небольших организаций, занимающихся проведением буровых работ в регионах страны [4].

В ИГД СО РАН с целью изучения внешних и внутренних процессов взаимодействия буровых машин с породным массивом, надежности и долговечности, а также совершенствования технологических процессов бурения был разработан способ исследования процесса воздействия исполнительных органов горных и строительных машин на разрабатываемый массив геосреды [5]. Опираясь на предложенный способ исследования была разработана методика

количественной оценки энергоэффективности бурения скважин погружными пневмоударниками (далее методика), опыт использования которой был также спроецирован на другие способы бурения [6].

Предложенный методический аппарат предназначен для:

- разработки методических указаний по ведению буровых работ при ударно-вращательном бурении скважин для конкретных месторождений твердых полезных ископаемых с учетом физико-механических свойств руд и пород месторождения, станочного оборудования и применяемых систем разработки;

- рационального нормирования буровых работ на карьерах и в рудниках;

- определения конкурентных преимуществ пневмоударников и инструмента с позиции максимальной производительности бурения при минимальном энергопотреблении энергоносителей и износе твердого сплава вооружения долот;

- технического консалтинга руководителей горнодобывающих предприятий по вопросу выбора буровых машин для пневмоударного бурения скважин;

- проведения «прозрачных» предзакупочных конкурсов по обоснованию и выбору пневмоударников и инструмента для конкретных буровых участков месторождения твердых полезных ископаемых с предоставлением технико-экономического отчета о проходке скважин погружными пневмоударниками с оценкой эффективности деятельности бурового мастера.

Опираясь на опыт применения методики рассмотрим организацию тестирования буровых машин и инструмента на примере ударно-вращательного бурения скважин погружными пневмоударниками. В самом общем виде, рассмотрим последовательность мероприятий по тестированию бурового оборудования по предложенной методике (для рудника).

Место проведения оценочных испытаний погружных пневмоударников и бурового инструмента уточняется заблаговременно на буровом участке предприятия. Зачастую первичные испытания тестируемых образцов буровых машин и инструмента осуществляются в наиболее сложных и распространенных горно-геологических горнотехнических условиях породного массива бурового участка с известными физико-механическими свойствами руд и пород.

Перед тестированием, буровых машин и бурового инструмента, представителям технического отдела предприятия необходимо провести самостоятельный отбор погружных машин и инструмента с конкретных выпущенной заводом партий. При выборе буровых долот убедиться, что твердый сплав армированный в долота предназначен для ударно-вращательного бурения. Марка твердосплавных инденторов должна учитывать прочность буримых пород с мест проведения оценочных испытаний: ВК8-В до 140 МПа; ВК11-В до 180; МПа; ВК15 до 200 МПа [7].

Имеют место случаи, когда мощностные параметры серийных пневмоударников, указанные в техническом паспорте, ниже чем их реальные показатели [8]. Следовательно, это требует проведения сверки мощностных параметров пневмоударника с паспортными характеристиками на стендовом

оборудовании (при номинальном давлении сжатого воздуха). Кроме этого, следует определить рациональные мощностные параметры машины с учетом расхода воды на пылеподавление. Выбирается с учетом минимального количества воды в воздушно-водяной смеси обеспечивающего пылеподавление на рабочем месте машиниста буровой установки.

Известно, что имеет место нерациональный выбор буровых штанг для пневмоударного бурения в условиях горного производства [9]. Это вызывает необходимость рационального выбора штанг по длине с позиции минимизации утечек в межштанговых соединениях, а также снижения времени вспомогательных операций по наращиванию и разбору буровой колонны. Помимо линейных размеров буровых штанг важно учитывать площадь затрубного пространства, которая регулирует скорость шламотранспорта. Она, как известно, зависит от диаметра буримой скважины и внешнего диаметра буровой штанги.

Уточнение (сверка) места тестирования бурового оборудования, а также показателей прочности, трещиноватости, абразивности руд и пород (в геологическом отделе предприятия) имеет принципиальное значение, как и подготовка пневмоударника к работе согласно рекомендациям, указанным в технической документации предприятия изготовителя (очистка, смазка и др.).

Перед тестированием бурового оборудования необходимо обеспечить номинального давление шахтной сети, соответствующее фактическим условиям эксплуатации бурового оборудования при массовом бурении скважин (без максимальных и минимальных показателей).

Обеспечить запись текущих параметров режимов бурения от внешних источников измерения (приборов) или при помощи встроенного программного обеспечения. Обеспечить запись процесса бурения на протяжении оперативного времени $T_{оп}$ рабочей смены [1].

Известно, что ресурс пневмоударника зависит от качества его обслуживания и эксплуатации. Так, в процессе забуривания скважины важное значение имеет приработка ударного механизма пневмоударника при неполном расходе воздуха (1/2 от номинального) в течение 10-15 мин.

При переходе в номинальный режим работы пневмоударника следует выбрать рациональный (энергоэффективной) режим бурения и осуществлять его коррекцию в течение проходки скважины [10].

После прохождения скважины выполнить оценку абразивного износа долота на предмет вторичного использования, определить коэффициент износа твёрдосплавных инденторов, при $k_a=0,25-3$ произвести заточку инденторов и продолжить бурение, при $k_a=0,5$ и выше произвести замену долота.

После проходки скважины с помощью видеозондоскопа оценить состояние скважины. По полученным данным телеинспекции оценить трещиноватость (количество трещин на 1п. м) и состав пород по всей длине пробуренной скважины.

Используя данные измерительной аппаратуры занести полученные данные в паспорт эффективности машины и произвести построение технико-экономических диаграмм. Определить норму времени и выработки с учетом

$T_{оп}$ всех буримых скважин до замены бурового долота. Составить технологическую карту бурения по данным паспорта эффективности назначить норму выработки и времени для конкретного бурового участка.

При проходке последующих скважин при спаде производительности выше 30% в начале рейса (при проходке не более 10 п.м.) заменить пневмоударник, аналогично при поломке ударного узла зафиксировать наработку на отказ и количество пробуренных метров в течение $T_{оп}$, уточнить нормы выработки и времени.

При оценке 2-х и более машин в одинаковых горно-геологических условиях руд и пород по паспорту эффективности пневмоударника отобрать образец с минимальными затратами на бурение 1 п.м скважины [10].

Паспорт эффективности пневмоударника и инструмента прилагается к акту испытаний, в котором изготовитель гарантирует качество буровых машин и инструмента потребителю продукции с учетом проведенных адаптивных мероприятий (с учетом физико-механических свойств), где прописываются допустимые отклонения по ресурсным параметрам пневмоударника и/или инструмента. Допустим, в пределах $\pm 15\%$.

После тестирования машин и инструмента, при необходимости, следует продолжить дальнейшую адаптацию машин и инструмента выбранной партии к группам пород с меньшей прочностью. При этом, важно опираться на план годового планирования буровых работ, геологическую привязку и вышеперечисленную последовательность действий.

Последующие мероприятия направленные на повышение производительности буровых работ с используемой моделью пневмоударника (использование агентов для очистки скважин, новых моделей долот, штанг и т.д.) производить по вышеперечисленным мероприятиям, вводя в паспорт эффективности пневмоударника новые приложения по совершенствованию техники для установленной группы пород [9].

При спаде производительности буровых работ, связанных с увеличением количества рейсов буримых скважин, перерасходом энергоносителей и бурового инструмента:

а) необходимо уточнить физико-механические свойства руд и пород на производственных участках;

б) оценить выполнение рекомендаций по бурению («человеческий фактор») и обеспечение условий для их выполнения (номинальное давление сети);

с) в случае удовлетворительной оценки двух вышеперечисленных пунктов, составить рекламацию на возвращение денежных средств за низкое качество бурового оборудования и простои по руднику на завод изготовитель с предоставлением подтверждающих документов включая протоколы экспертизы по соответствию марок сплавов и сталей, заявленных производителем.

Список литературы

1. Карпов В.Н., Немова Н.А., Резник А.В. О повышении эффективности бурения взрывных скважин при освоении твердых полезных ископаемых / Сборник

тезисов VIII Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 341-345.

2. Алиева Л., Жуков И.А. Анализ конструкций безлезвийного бурового инструмента и постановка проблем его совершенствования /Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2022. № 15. С. 157-170.

3. Юнгмейстер Д.А., Гасымов Э.Э., Соболева П.Д. Регулирование параметров погружного пневмоудраника для СБШ. / В сборнике: Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Екатеринбург, 2022. С. 162-165.

4. Eremenko V.A., Karpov V.N., Timonin V.V., Shakhtorin I.O., Barnov N.G. Basic trends in development of drilling equipment for ore mining with block caving method. J. of Mining Science, 2015, Vol. 51, No. 6. — P. 1113 – 1125.

5. Пат. 2662743 РФ. Способ исследования процесса воздействия исполнительных органов горных и строительных машин на разрабатываемый массив геосреды / В.Н. Карпов, В.В. Тимонин, А.К. Ткачук, А.И. Конури, Е.М. Черниенков, Н.Н. Заболоцкая // Опул. в БИ. - 2017. - № 22.

6. Кондратенко А.С., Смоленцев А.С., Карпов В.Н., Сырямин А.Т. Опыт установки кондукторов в грунтах при сооружении дегазационных скважин с поверхности / Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2019. Т. 6. № 2. С. 135-143.

7. ГОСТ 3882-74 (ИСО 513-75) Сплавы твердые спеченные. М.: Стандартиформ, 1974. – 26 с.

8. Кондратенко А.С., Тимонин В.В., Карпов В.Н., Попелюх А.И. Пути повышения эффективности ударно-вращательного бурения скважин / Горный журнал. – 2018 – №5. – С. 63–68.

9. Карпов В.Н., Тимонин В.В., Конури А.И, Е.М. Черниенков О проблемах повышения производительности буровых работ в отечественных рудниках / Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – Новосибирск, – 2018. – Т. 5. № 2. – С. 46–56.

10. Karpov V.N., Petreev A.M. Determination of efficient rotary percussive drilling techniques for strong rocks/ Journal of Mining Science. 2021. Т. 57. № 3. С. 447-458.

УДК: 622.6

ОБОСНОВАНИЕ КОРРЕКТИРОВКИ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ГРЕМЯЧИНСКОГО ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА С УЧЁТОМ ДОСТАВКИ ДЛЯ ЗАКЛАДКИ СУХИХ СОЛЕОТХОДОВ

Князькин Е.А, Яковлев И.В.

ИПКОН РАН

Минерально-химическая компания «ЕвроХим» – крупнейший в России производитель минеральных удобрений. ООО «Еврохим-Волгакалий» входит в состав открытого акционерного общества «Минерально-химическая компания «ЕвроХим» и разрабатывает Гремячинское месторождение калийных солей в весьма сложных горно-геологических условиях на глубине до 1100 метров. Проектными техническими решениями предусмотрена камерная

система разработки с оставлением междукамерных и барьерных разгружающих целиков с гидравлической закладкой выработанного пространства. В данный момент заканчивается второй этап строительства ГОКа и идет подготовка к третьему этапу строительства, в течение которого осуществляется строительство и ввод в эксплуатацию закладочного комплекса.

С начала эксплуатации Гремячинского месторождения в качестве системы закладки выработанного пространства планировалось использовать технологию с гидрозакладкой выработанного пространства высококонцентрированными соляными растворами, транспортируемых по трубопроводу. Однако, в результате проведенных научных исследований по оценке влияния исходящей от гидравлической закладки влажности на физикомеханические характеристики целиков установлено, кардинальное изменение влажности рудничного воздуха при гидравлической закладке выработанного пространства может повлечь риск деградации целиков при их контакте с конденсатом. Кроме того, контакт соляных пород с гидрозакладочной смесью, а также транспортными рассолами может повлечь изменение их механических характеристик и интенсификацию процессов деформирования целиков, вплоть до снижения допустимого отставания очистной выемкой и закладкой выработанного пространства.

В качестве альтернативы гидравлическому способу закладки рассмотрена технология заполнения выработанного пространства сухими солеотходами. Для доставки сухих закладочных материалов требуется модернизация существующих логистических схем ГОКа, поскольку они не способны обеспечить перемещение сухого закладочного материала. Существующие логистические схемы, работающие в режиме выемки добытой руды, не способны работать в режиме транспортировки закладочных сухих смесей без корректировки, модернизации и автоматизации.

В результате проведенного исследования в Отделе теории проектирования освоения недр ИПКОН РАН разработана логистическая схема транспортировки сухих закладочных смесей, которая разделена с технической точки зрения на две составляющие – магистральная часть и участковая. Магистральная часть представляет собой модифицированный выемочный конвейер 1 (рис.1), по обратной стороне ленты которого передвигается сухая закладочная смесь к участковому конвейеру 2, выполненному в классическом виде.

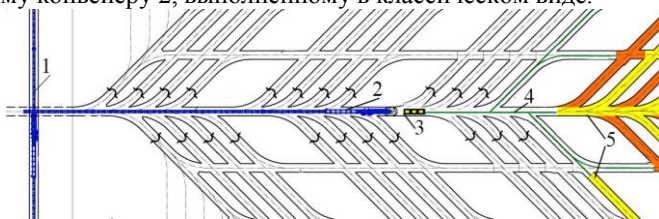


Рис. 1. Предлагаемая логистическая схема транспортирования сухих закладочных смесей: 1, 2 – магистральный и участковый конвейера, 3 – пневмокамерный насос, 4 – пневмопровод, 5 – закладываемые выработки

После опорожнения ленты конвейера 2 на разгрузочном барабане, сухая механизированная транспортировка смеси до закладываемых выработок может предусматривать несколько вариантов транспортирования:

- самоходными погрузочно-доставочными машинами (ПДМ);
- самоходными вагонами;
- ПДМ или самоходными вагонами с перегрузкой на ленточные или роторные метатели;
- пневмотранспортом.

Для выбора предпочтительной схемы в таблице 1 сведены характеристика вариантов доставки закладочных смесей с учетом средней скорости передвижения техники по руднику – 6 км/ч, ПДМ с объемом ковша 0,5 м³, самоходный вагон с объемом кузова 10 м³.

Таблица 1

Технико-экономические показатели транспортных схем для сухой закладки

Технология	Q, т/ч	Кол-во средств механизации, шт.	Производительность тонн в сутки	Тип технологии
ПДМ	6	10	1440	цикличная
Самоходными вагонами	72	1	1728	цикличная
ПДМ или самоходными вагонами с перегрузкой на метательные машины	60	1 + 10 или 1 + 1	1440	циклично-поточковая
Пневмотранспорт	60	1	1440	поточковая

Анализ таблицы свидетельствует, что предпочтительным вариантом является пневмотранспорт, поскольку данная технология является поточной, имеет наименьшее число средств механизации при сопоставимой производительности, обладает возможностью наиболее полного заполнения выработки сухими закладочными смесями за счет применения брандспойт, производительность не зависит от длины эксплуатируемой панели. Общая схема пневматического способа доставки показана на рисунке 1, где 3 - пневмокамерный насос, 4 – легко монтируемый гибкий пневмопровод, 5 – закладываемые выработки.

Предлагаемая логистическая схема транспортирования сухих материалов для закладки выработанного пространства калийных месторождений не влечет за собой риск деградации целиков при их контакте с закладочным материалом, в следствии чего сохраняются механические и прочностные характеристики массива. А также увеличивается эффективность горного производства посредством модернизации уже используемых на производстве ленточных конвейеров в комбинации с пневмотранспортом.

Список литературы

1. Черенков Н.С., Семёнов А.С. Модернизация и оптимизация автоматизированных конвейеров в горной промышленности // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3-4.
2. Тарасов Ю.Д. Модернизация оборудования ленточных конвейеров, обеспечивающая повышение их технико-экономических показателей. – 2008.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ – ВАЖНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР

Комаров Д.П., Милегенко Н.И.

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Эффективное освоение недр зависит от большого комплекса факторов, которые в своей совокупности решают важнейшую для нашей страны задачу по добыче и последующей переработки минерального сырья. Одним из значимых элементов при этом является бесперебойная работа горных машин и оборудования. Современные высокопроизводительные горные машины определяют весь технический прогресс в горной промышленности страны. Повышение их качества, надежности и долговечности является залогом их конкурентоспособности на международном уровне.

Повышение надежности связано с непрерывным ростом интенсификации технологических процессов горного производства, повышением производительности оборудования и увеличением воздействующих на него нагрузок.

Современная горнодобывающая промышленность остро нуждается в высокопроизводительных, надежных и безотказных машинах, агрегатных и комплексах, характеризующихся большим сроком службы, простотой и легкостью управления, малой продолжительностью ремонта и быстротой восстановления рабочих функций. Производительность горной машины обуславливается двумя основными параметрами - ее энерговооруженностью и удельными энергозатратами процесса разрушения породы (угля, руды). За последние годы энерговооруженность горных машин существенно возросла.

Сегодня технико-экономические показатели основных технологий производства горной техники, ее надежности не соответствуют современным требованиям энерго- и ресурсосбережения, негативно влияют на экономику, не обеспечивают достаточного экспортного уровня продукции из-за отсутствия эффективных ресурсов и энергосберегающих технологий. Это в первую очередь связано с несоответствием применяемых материалов и способов их обработки условиям эксплуатации, являясь результатом малодостоверных методов расчета.

Основными проблемами повышения надежности машин являются: создание материалов с заданным комплексом свойств, технологии их обработки, выбор упрочняющих технологий по критериям надежности, износостойкости и прочности. Так, например, применение композитных

материалов позволяет снизить металлоемкость машин, уменьшить энергозатраты на их производство и существенно повысить срок службы.

Еще один значимый фактор – поддержание технического состояния горных машин на необходимом уровне. С этой целью на горном производстве реализуют системы технического обслуживания. Наиболее простой, не требующей специального оборудования для контроля технологических параметров, а также какого либо технического обслуживания в течение предполагаемого периода эксплуатации, но и наиболее затратной является реактивная система технического обслуживания (РТО), при которой ремонт или замена оборудования производится в случае выхода его из строя или выработки ресурса. Стоимость ремонта по факту аварии может быть в несколько раз дороже запланированного ремонта. Более высокий уровень управления обслуживанием – система планово-предупредительного ремонта (ППР), идея которой заключается в ремонте или замене оборудования ранее среднестатистического отказа с заданной вероятностью. ППР в настоящее время является основным видом ТО. Однако, как показывает опыт, разборки оборудования осуществляемые по регламенту ППР, сокращают реальный межремонтный период в среднем на 15-30%. Это обусловлено тем, что в реальных условиях не существует сильной взаимосвязи между сроком эксплуатации и техническим состоянием оборудования, если не присутствуют эрозийные формы износа и разрушения деталей, линейно связанные со сроком службы.

В связи с этим, возникает необходимость перехода на более прогрессивную систему ТО, которая уже внедряется на некоторых предприятиях ряда отраслей промышленности – обслуживание по фактическому состоянию (ОФС). Идея ОФС состоит в минимизации отказов путем применения методов отслеживания и распознавания технического состояния оборудования методами неразрушающего контроля по совокупности его эксплуатационных характеристик. Техническая база ОФС основана на взаимосвязи между эксплуатационными параметрами и дефектами: различные дефекты имеют строго определенные диагностические признаки, появляющиеся при их возникновении, и диагностические параметры, меняющиеся по мере их развития.

В случае перехода предприятия на систему ТО по ОФС возникает возможность создания так называемой проактивной системы обслуживания (ПАО). Идея ПАО заключается в обеспечении максимального возможного межремонтного срока эксплуатации оборудования за счет применения современных технологий обнаружения и подавления источников отказов, принятию мер по недопущению возникновения дефектов – в идеале: вечного оборудования не требующего ТО. ПАО включает несколько компонентов: анализ причин возникновения аварий (или остановок), обеспечение соблюдения требований ТУ при монтаже и ремонте оборудования, оценка ТС оборудования после ремонта, обеспечение высококвалифицированными кадрами служб диагностики и ремонта. Причем в данном случае наличие высококвалифицированных кадров не просто стандартная составляющая комплекса позиций, а очень важный ключевой элемент! Как показывает практика, именно высокая квалификация кадров в системе ПАО позволяет обеспечивать

увеличение межремонтного интервала. Так, например, бездефектный подшипник выхолит из строя по причине естественного износа только в 10% случаев, а в 90% - по причине неквалифицированного халатного обслуживания (нарушение смазки, нарушение сборки и установки, повышенной вибрации и пр.).

Таким образом, повышение надежности горных машин и оборудования является стратегически важной задачей, поскольку от качества ее решения будет зависеть степень эффективности освоения недр Земли, что в наше время, с учетом непростой геополитической ситуации, имеет огромное значение. Сложившаяся ситуация в мире ставит нас перед необходимостью создания отечественной новой горной техники из собственных высококачественных материалов для их производства, разработки собственных систем поддержки всего жизненного цикла механизмов и оборудования, вобравших в себя весь лучший мировой опыт, разработку и внедрение собственных АСУ техническим состоянием всех механизмов и машин и, конечно, подготовку специалистов высочайшего уровня.

Список литературы

1. Земсков А.Н., Иванов А.В. Современные тенденции развития отечественного горного машиностроения. Горная промышленность №3, 2018. С. 50-53.
2. Земсков А.Н. Пути улучшения ситуации в горном машиностроении России // Горная промышленность. – 2005. – №3. – С. 59–52.
3. Современная горная техника и высококвалифицированные кадры — определяющие факторы повышения эффективности и безопасности горных работ // Горная промышленность. — 2007. — № 6(76). — С. 5-8.
4. Дорошев Ю.С., Нестругин С.В. О необходимости разработки методов отслеживания и распознавания технического состояния оборудования по совокупности его эксплуатационных характеристик. Проблемы освоения георесурсов Дальнего Востока и стран АТР. – Владивосток, 2006. – С.131-132.
5. Квагинидзе В.С. Эксплуатация карьерного горного и транспортного оборудования в условиях Севера. – М.: Изд-во МГГУ, 2002 - 243 с.

УДК 622.33

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Кузнецова Л.В., Анферов Б.А.

ФИЦ УУХ СО РАН

Одной из задач научно-технологического развития России является внедрение систем глубокой переработки минерального сырья для разделения полезных ископаемых на конечные продукты с извлечением максимального количества полезных компонентов, что обеспечит повышение эффективности переработки полезных ископаемых и сократит объемы отходов производства

[1]. Доступным альтернативным источником минерального сырья являются угли, которые содержат, в том числе, и стратегические металлы [2].

Кроме наиболее полного извлечения угля из недр и использования выработанного пространства комплексное освоение угольного месторождения включает извлечение других ценных компонентов, входящих в состав, в том числе, угольного вещества. Повышение эффективности комплексного освоения угольных месторождений связано, прежде всего, с получением достоверной информации о содержаниях в углях того или иного месторождения ценных компонентов. В Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН предложено эксплуатационную разведку месторождения вести в два этапа: на первом этапе проводить опробование с выявлением рудообразующих содержаний в золах углей базовых элементов (например Ti, имеет выраженную склонность ассоциировать с Fe, Y, Zr, Nb, Hf, Ta); на втором – опробование только по тем элементам, которые ассоциируют с базовыми элементами [3]. Это позволит повысить эффективность самой разведки, а получение достоверной информации – эффективность освоения месторождения.

Для обеспечения возможности извлечения ценных и/или токсичных химических элементов из угольных пластов ведутся работы по созданию эффективных технологий, встраиваемых в существующие технологии разработки угольных месторождений, в основном, по трем направлениям: подземная газификация угля, подземное сжигание и выщелачивание, селективная выемка энергетических углей и их раздельное сжигание.

1. Извлечение ценных и/или токсичных химических элементов при подземной газификации угля.

При подземной газификации угля некоторые химические элементы, входящие в состав угольного вещества, образуют летучие соединения, входящие затем в состав генераторного газа. Выбросы токсичных соединений загрязняют окружающую природу, наносят вред окружающей среде, а выброс соединений с ценными химическими элементами – снижает эффективность освоения угольного месторождения.

Авторами разработан ряд технических решений, направленных на извлечение токсичных (например, мышьяк [4], ртуть [5]) и ценных (например, рений [6], селен [7]) химических элементов из газообразных продуктов подземной газификации угля (рис. 1).

Полученный в результате подземной газификации угля генераторный газ охлаждают до температуры не ниже температуры конденсации извлекаемого химического элемента – тепловую энергию направляют в систему теплоснабжения. Затем газ промывают в холодной воде или охлаждают хладагентом; при этом получают очищенный газ и сырье для извлечения химического элемента.

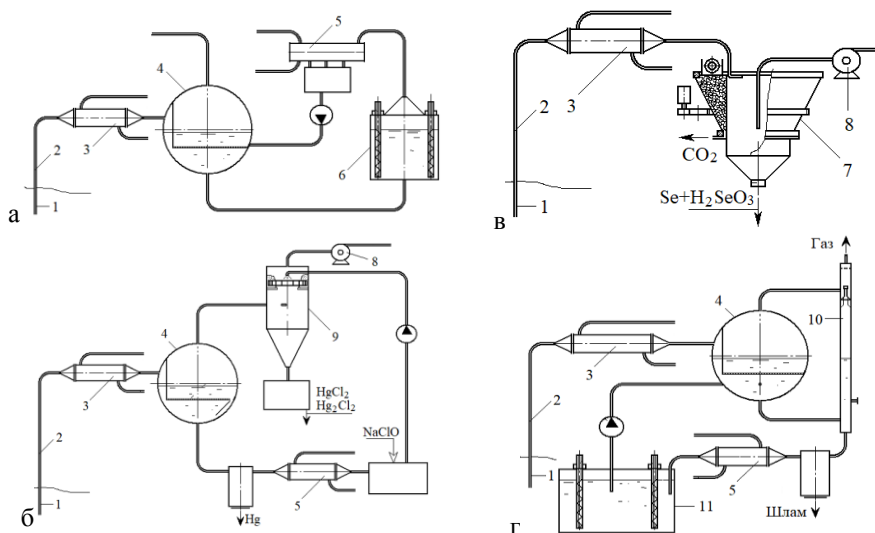


Рис. 1. Схема извлечения ценных и/или токсичных химических элементов из газообразных продуктов подземной газификации угля:
 а – мышьяка; б – ртути; в – селена; г – рения: 1 – газотводящая скважина; 2 – трубопровод; 3 – теплообменный аппарат; 4 – горизонтальная емкость; 5 – теплообменный аппарат горячего водоснабжения; 6 – испаритель; 7 - вращающийся конус; 8 – дымосос; 9 – эмульгатор; 10 – циклон; 11 – электролизная ванна

Для интенсификации получения газообразных продуктов подземной газификации – сырья для извлечения платины предложено совместно с бурением системы дутьевых и газотводящих скважин, гидравлически связанных между собой по угольному пласту осуществлять бурение питающих скважин, располагаемых в пространстве между ними на равном расстоянии друг от друга [8] (рис. 2).

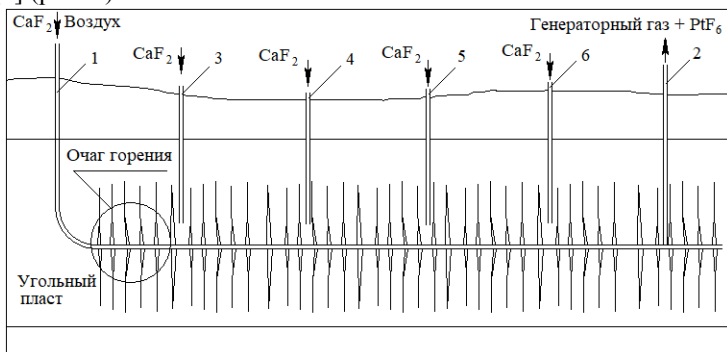


Рис. 2. Схема расположения системы скважин: 1 – дутьевая скважина, 2 – продуктивная скважина, 3, 4, 5, 6 – питающая скважина

После проведения гидродинамического воздействия на пласт с целью образования зоны искусственных полостей и трещин и огневого воздействия на угольный пласт в очаг горения сначала по дутьевой, а потом по мере перемещения очага горения и по питающим скважинам подают пыль минерала, содержащего химически активный элемент, в частности – флюоритовую пыль. На выходе из газоотводящей скважины генераторный газ сепарируют, выделяя из него газообразные соединения ценных химических элементов и переводя их в жидкоподвижное состояние для извлечения ценных химических элементов.

2. Извлечение ценных химических элементов выщелачиванием твердых продуктов сгорания угля

При подземной добыче угля по мере развития горных работ по выемке угля часть горных выработок в отработанной части шахтного поля поддерживают до конца его отработки [9]. После окончания выемки угля в шахтном поле осуществляют подземное сжигание охранных целиков, эксплуатационных потерь и некондиционных запасов угля. После выгорания угля путем заполнения всего выработанного пространства водным раствором реагентов остатки газообразных продуктов подземного сжигания концентрируют на верхнем горизонте шахтного поля, где их и улавливают, а образовавшийся продуктивный раствор откачивают из зумпфа шахтного ствола и направляют на извлечение ценных или токсичных химических элементов. Заполнение выработанного пространства водными растворами реагентов и их откачивание производят многократно при необходимости смены реагента.

Участок угольного месторождения может быть эффективно освоен с дневной поверхности. Для этого его делят на блоки ограниченных размеров (рис. 3) [10]. Намечают очередность отработки блоков с условием, чтобы между блоками, вовлеченными в отработку, всегда находился бы один или два блока еще не вовлеченные в отработку или уже отработанные. Вовлечение в отработку начинают с бурения четного количества скважин в блоке I. Затем бурение переносят на блок II, а в блоке I проводят работы по дегазации угольных запасов с применением методов стимулирования метаноотдачи. Затем эти работы переносят на блоки II и III, а в блоке I приступают к подземной газификации угля с выдачей на поверхность продуктов углегазификации.

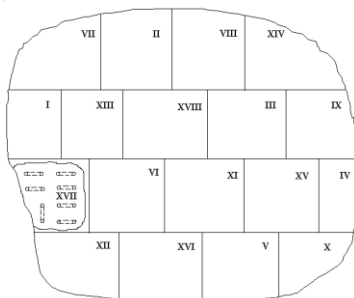


Рис. 3. Схема деления участка угольного месторождения на блоки: I-XVIII – порядковые номера блоков

После окончания подземной газификации в блоке I осуществляют тушение газогенераторов заполнением выработанного пространства водным раствором реагентов, начиная тем самым выщелачивание. На следующей стадии в блоке I осуществляют откачивание продуктивного раствора с подачей его на экстракцию. На заключительной стадии в блоке I по тем же скважинам подают жидкоподвижный закладочный материал, заполняющий выработанное пространство, т.е. осуществляют консервацию. В блоке II в это время осуществляют откачивание продуктивного раствора, в блоке III – тушение подземных газогенераторов, в блоке IV – подземную газификацию, в блоке V – дегазацию, а в блоке VI ведут подготовительные работы – бурение скважин. И так далее постепенно вовлекают в работу все остальные блоки.

3. Извлечение ценных химических элементов при сжигании энергетических углей

При угольной генерации тепловой и электрической энергии на ТЭС сжигают угли энергетических марок, зачастую содержащие ценные компоненты. После детального изучения состава угольного вещества в случае выявления в угле промышленных содержаний ценных химических элементов организуют, при необходимости, селективную выемку угля и обособленную поставку угля с промышленным содержанием ценных химических элементов на ТЭС. Далее на ТЭС осуществляют подготовку этого угля к сжиганию. При высоком содержании осмия [11] уголь сжигают в топке кипящего слоя; при высоких содержаниях других химических элементов платиновой группы металлов [12, 13] в системе пылеприготовления осуществляют размол угля, выделение рудного концентрата, его последующее окускование и соответствующее сжигание, чем обеспечивают перевод ценных элементов в их химические соединения с изменением агрегатного состояния – газообразное и твердое. Далее и газообразные продукты сжигания, и очаговые остатки направляют на соответствующую обработку для извлечения ценных компонентов.

Таким образом, геохимическими исследованиями выявлено, что некоторые угли, в частности кузнецкие, являются рудоносными и должны использоваться комплексно не только как топливо и металлургическое сырье, но и в направлении более полного извлечения ценных компонентов: мышьяка, ртути, селена, галлия, рения, осмия и других элементов платиновой группы металлов, золота и др. [2].

Список литературы

1. Прогноз научно-технологического развития России: 2030 / Под ред. Л.М. Гоцберга. – Москва: Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014. – 244 с. URL: https://prognoz2030.hse.ru/data/2014/12/25/1103939133/Prognoz_2030_final.pdf (дата обращения: 17.05.2022).

2. Нифантов Б.Ф., Артемьев В.Б., Ясюченя С.В., Анферов Б.А., Кузнецова Л.В. Геохимическое и геотехнологическое обоснование новых направлений освоения

угольных месторождений Кузбасса. Сер.: Библиотека горного инженера. – М.: Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2014. Т. 1. Геология. Кн. 4. – 536 с.

3. Пат. 2456451 Российская Федерация, МПК E21C 41/00. Способ комплексного освоения угольного месторождения / Нифантов Б.Ф., Анферов Б.А., Кузнецова Л.В.; заявитель и патентообладатель ИУ СО РАН; № 2010149187; заявл. 30.11.2010. Оpubл. 20.07.2012, бюл. № 20.

4. Пат. 2392432 Российская Федерация, МПК E21C 41/18. Способ комплексного освоения угольного месторождения / Анферов Б.А., Кузнецова Л.В.; заявитель и патентообладатель ИУУ СО РАН; № 2009106360; заявл. 24.02.2009. Оpubл. 20.06.2010, бюл. № 17.

5. Пат. 2392431 Российская Федерация, МПК E21C 41/18. Способ комплексного освоения угольного месторождения / Анферов Б.А., Кузнецова Л.В.; заявитель и патентообладатель ИУУ СО РАН; № 2009106545; заявл. 24.02.2009. Оpubл. 20.06.2010, бюл. № 17.

6. Пат. 2391508 Российская Федерация, МПК E21C 41/18. Способ комплексного освоения угольного месторождения / Анферов Б.А., Кузнецова Л.В.; заявитель и патентообладатель ИУУ СО РАН; № 20098108240; заявл. 06.03.2009. Оpubл. 10.06.2010, бюл. № 16.

7. Пат. 2390634 Российская Федерация, МПК E21C 41/18. Способ комплексного освоения угольного месторождения / Анферов Б.А., Кузнецова Л.В.; заявитель и патентообладатель ИУУ СО РАН; № 20009; заявл. 02.03.2009. Оpubл. 27.05.2010, бюл. № 15.

8. Пат. 2530143 Российская Федерация, МПК E21B 43/295, E21C 41/18. Способ комплексного освоения угольного месторождения / Анферов Б.А., Кузнецова Л.В.; заявитель и патентообладатель ИУ СО РАН; № 2013123303; заявл. 21.05.2013. Оpubл. 10.10.2014, бюл. № 28.

9. Пат. 2370649 Российская Федерация, МПК E21C 41/18. Способ комплексного освоения участка угольного месторождения / Кузнецова Л.В., Нифантов Б.Ф., Анферов Б.А.; заявитель и патентообладатель ИУУ СО РАН; № 2008113487; заявл. 07.04.2008. Оpubл. 20.10.2009, бюл. № 29.

10. Пат. 2370643 Российская Федерация, МПК E21B 43/95. Способ комплексного освоения угольного месторождения / Кузнецова Л.В., Нифантов Б.Ф., Анферов Б.А.; заявитель и патентообладатель ИУУ СО РАН; № 2008114684; заявл. 14.04.2008. Оpubл. 20.10.2009, бюл. № 29.

11. Пат. 2498067 Российская Федерация, МПК E21C 41/18, C22B 11/00. Способ комплексного освоения месторождения энергетических углей / Кузнецова Л.В., Анферов Б.А.; заявитель и патентообладатель ИУ СО РАН; № 2012125110; заявл. 05.06.2012. Оpubл. 10.11.2013, бюл. № 31.

12. Пат. 2448250 Российская Федерация, МПК E21C 41/18, C22B 11/00. Способ комплексного освоения месторождения энергетических углей / Нифантов Б.Ф., Анферов Б.А., Кузнецова Л.В.; заявитель и патентообладатель ИУ СО РАН; № 2010141233; заявл. 07.10.2010. Оpubл. 20.04.2012, бюл. № 11.

13. Пат. 2691220 Российская Федерация, МПК E21c 41/18. Способ комплексного освоения месторождения энергетических углей / Анферов Б.А., Кузнецова Л.В.; заявитель и патентообладатель ФИЦ УУХ СО РАН; № 2018116276; заявл. 28.04.2018. Оpubл. 11.06.2019, бюл. № 17.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕАЛИЗУЕМОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАБУРУНЬЕ

**Молдабаева Г.Ж.¹, Сулейменова Р.Т.¹, Тузелбаева Ш.Р.¹,
Каримова А.С.², Марданова Л.О.²**

¹ *КазНИТУ им. К.И.Сатпаева, Алматы, Казахстан*

² *Атырауский университет нефти и газа имени С.Утебаева,
Атырау, Казахстан*

Цель работы – выбор перспективных месторождений Западного Казахстана для проведения пилотного проекта полимерного заводнения.

Учитывая геологическое строение месторождения Забурунье, в качестве расчетной модели пласта для прогноза технологических показателей разработки использовалась модель послойно- и зонально-неоднородного по проницаемости и одновременно прерывистого нефтяного пласта [1, 2]. Согласно этой модели, принимается, что нефтяной пласт представлен набором слоев различной проницаемости. Совместно с геологической характеристикой пластов, принятая модель учитывает и физические факторы, характеризующие процесс вытеснения (двухфазность потока, различие вязкостей нефти и закачиваемого агента, явление языкообразования, схему размещения скважин и др.).

Зональная неоднородность по продуктивности определена по удельным начальным коэффициентам продуктивности скважин:

$$V_{\eta}^2 = (\eta^2)_{cp} / (\eta_{cp})^2 - 1, \quad V_3^2 = V_{\eta}^2 (r/d)^2 \quad (1)$$

Величина расчетной послойной неоднородности пластов определялась по формуле:

$$V^2 = V_I^2 + (V_I^2 + 1) [(0.1x2\mu_{*} / (1 + \mu_{*}) + 1)x(V_3^2 + 1)x(V_3^2/4 + 1)]x2/(1+m), \quad (2)$$

Обоснование расчетной модели для месторождения Забурунье проводилось на основании прямых определений по результатам гидродинамических и геофизических исследований скважин таких параметров залежи, как V – доля неколлектора по площади обособленных пластов и слоев, V_3^2 – зональная неоднородность по удельной продуктивности на единицу толщины пластов между соседними скважинами, V_{η}^2 – расчетная послойная неоднородность пластов по проницаемости, V_{η}^2 – неоднородность сетки скважин по языкообразованию, η_{cp} – среднее значение коэффициента продуктивности скважин, $K_{cp,пр}$ – среднее значение проницаемости [4-6].

Послойная неоднородность определена на основе данных по проницаемости, определенной по керну и для I неокосского горизонта (мел) составила $V_{\eta}^2 = 0,53$. По остальным объектам горизонтов вынос керна по скважинам либо отсутствует, либо невысок, что не позволяет комплексно подойти к определению послойной неоднородности по проницаемости. Количество

определений проницаемости варьирует от 3 до 5. Поэтому послойная неоднородность для остальных объектов меловых горизонтов, ввиду незначительного количества лабораторных исследований, принята равной $V_p^2=0,5$.

Послойная неоднородность на юрских горизонтах определена лишь по результатам исследований образцов керна отобранных из разреза Ю-IV горизонта Западного свода, которая составила $V_p^2=0,401$. По остальным объектам юрских горизонтов, как и по горизонтам нижнемеловых отложений вынос керна по скважинам либо отсутствует, либо невысок и не позволяет качественно оценить послойную неоднородность. Количество определений проницаемости варьирует от 1 до 5. Поэтому послойная неоднородность для остальных объектов юрских горизонтов, ввиду незначительного количества лабораторных исследований, принята равной $V_p^2=0,5$.

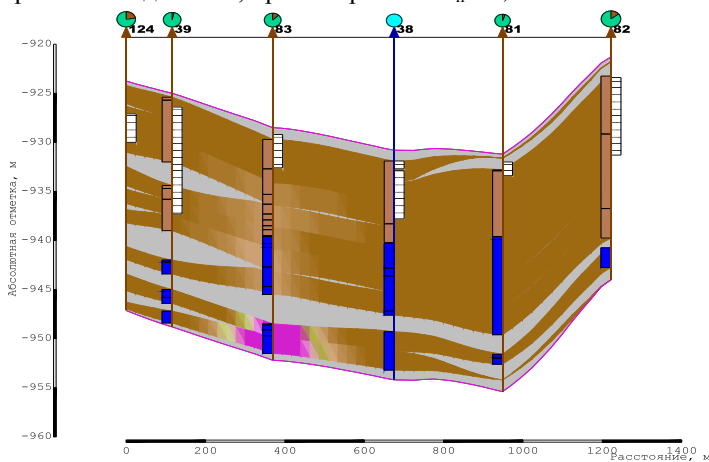


Рис. 1. Геологический профиль по линии скважин месторождения Забурунье, горизонт Неомк

Всего на участке 8 реагирующих скважин: 35, 41, 45, 78, 79, 85, 120, 125. Нагнетательная скважина характеризуется средней приемистостью в 220 м³/сут. Расстояние между нагнетательной и реагирующими скважинами варьирует от 200 до 390 м. Средняя обводненность добывающих скважин участка составляет 87%, изменяясь от 78 до 97%. Суммарный дебит добывающих скважин по нефти составил 49,2 т/сут. Средний дебит по нефти составил 6,2 т/сут, изменяясь по скважинам от 2,2 до 14,2 т/сут.

Основные геологические характеристики рассматриваемого участка работ указанный срок закачки – это время заполнения полимерным раствором 30 % порового пространства в пределах границ участка с учетом текущей приемистости нагнетательной скважины. Т.е. срок закачки полимерного раствора будет зависеть от максимально возможной приемистости скважины, при этом, должно соблюдаться условие непревышения давления гидроразрыва пласта.

Невыполнение проектных решений, в основном, связано с отставанием ввода новых скважин, в первую очередь с не выполнением плана бурения и ввода в эксплуатацию проектных скважин III объекта, обусловленных аномально высокой вязкостью нефти.

Согласно ТС, разработка залежей II и III объектов предусмотрена с применением внутриконтурного заводнения. В ТС начало заводнения отодвинуто на четвертый год разработки в объеме, компенсирующем отбор на 50% через 8 нагнетательных скважин.

Фактически закачка воды на месторождении началась в 2004 году на пятом году эксплуатации. На дату анализа разработки нагнетательный фонд месторождения представлен 2 скважинами 20 и 32 (II объект), которые находятся на периферии структуры. Ближайшие скважины от нагнетательной скважины 20 находятся на расстоянии 500–600 м и, как показал анализ динамики добычи, закачка воды особого влияния на них не оказывает. Скважина 32 введена под нагнетание в апреле 2014 г. и пока эффекта не наблюдается. Следовательно, эксплуатационные объекты и месторождение в целом в настоящее время разрабатывается на естественном режиме без поддержания пластового давления.

По юрским горизонтам завершен период ПЭ на основании утвержденного ЦКР РК проекта пробной эксплуатации. В ППЭ эксплуатация объектов юрских горизонтов предусматривалась на естественном режиме.

В 2005г. на месторождении были проведены поисково-детальные сейсморазведочные работы МОВ ОГТ-2Д. По данным проведенного сейсмогеологического анализа уточнен структурный план продуктивных горизонтов.

В утвержденном ГКЗ подсчете запасов по результатам бурения новых скважин, данных интерпретации сейсмических исследований, комплекса ГИС уточнена геологическая модель залежей, выявлены новые залежи нефти в пределах восточного свода.

Из опыта эксплуатации месторождений аналогичных месторождению Забурунье очевидно, что разработка залежей на естественном режиме на юрских горизонтах будет низкоэффективной.

Геофизические и гидродинамические исследования, проведенные в период пробной эксплуатации, позволили уточнить физико-химические свойства флюидов, фильтрационно-емкостные и энергетические характеристики горизонтов.

Исходя из анализа ПЭ неокомских горизонтов, выполнения проектных решений по контролю за разработкой можно сделать вывод, что выполненные работы в целом позволили определить подходы к дальнейшему выбору системы разработки.

Список литературы

1. Амиртаев М.А. и др. «Анализ разработки месторождения Айранкуль» ТОО ЦТИ, 2015 г.

2. Чернов Б.С., Базлов М.Н., Жуков А.И. «Гидродинамические методы исследования скважин и пластов», Москва, Гостоптехиздат, 2009 г.

3. Количественное описание неопределённости в аналитических измерениях. Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК. Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева, пер с англ. под общей редакцией Л.А. Конопелько, 2-е издание, Санкт-Петербург, 2002.

4. Core Laboratories Instruments. Газовый пермеаметр UltraPoroPerm-500. Для определения проницаемости и пористости керн. Руководство по эксплуатации.

5. Петрофизика. Теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов, Джеббар Тиаб, Эрл Ч. Доналдсон. 2-е дополненное издание, Москва, 2009.

6. Мирзаджанзаде А.Х., Хасанов М.М., Бахтизин Р.Н. Моделирование процессов нефтегазодобычи. Нелинейность, неравновесность, неопределенность. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 368 с.

УДК 622.7

РАЦИОНАЛЬНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ)

Никоненко Т.В., Простакишин М.Ф., Шумилова Л.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Забайкальский государственный университет»

Забайкальский край один из регионов с богатой историей освоения золото-серебряных приисков. Забайкальский край называют золотой провинцией России. Добыча благородных металлов (золота и серебра) ведется повсеместно и охватывает значительные территории региона. С постоянным увеличением спроса на драгметаллы поспособствовало развитию горно-перерабатывающей промышленности, по статистическим данным объем добываемого золота и серебра по Забайкальскому краю составляет более 33 т за 2020-2021 год.

Значительные объемы, накопленных золотосодержащих отходов сосредоточены в хвостохранилищах в непосредственной близости к золотоизвлекательным фабрикам.

Рациональная переработка золотосодержащих руд и отходов является основным перспективным направлением. Особый интерес представляют золотосодержащие отходы, накопленные за длительный период времени освоения месторождений. К старейшим горно-перерабатывающим предприятиям Забайкальского края относятся: «Рудник Дарасун», «Рудник Ключи», «Рудник Балей», «Рудник Любовь» и др.

Индивидуальный подход к выбору рациональной схемы переработки золотосодержащих отходов зависит от вещественного состава, от ранее применяемой технологии обогащения, от исходных содержаний ценных компонентов, от класса крупности, от способа складирования и др.

Золотосодержащие отходы, продолжительный период времени подвергались воздействию внешних факторов, таких как влияние ультрафиолета, окислению и выщелачиванию в жидкой фазе, переход из сульфидных форм в окисленные. Минеральный состав хвостов цианирования объектов исследований (хвосты ЗИФ-1-1, хвосты ЗИФ-1-2) представлен породообразующими минералами: кварцем, плагиоклазом, кварц-полевыми-шпатами, амфиболами, пироксенами и слюдистыми минералами. Пирит и арсенопирит представлены в незначительном количестве.

Согласно результатам гранулометрического анализа хвостов, ценный компонент золота заключено в мелких классах с неравномерным распределением, таблица.

Таблица

Результаты гранулометрического анализа хвостов

Класс, мкм	Золото, г/т			
	Хвосты ЗИФ-1-1		Хвосты ЗИФ-1-2	
	Содержание, г/т	Распределение, %	Содержание, г/т	Распределение, %
+53	1,10	22,85	1,02	23,08
-53+45	1,37	12,77	1,21	12,57
-45+38	1,24	10,14	1,27	8,86
-38+20	1,18	22,55	1,11	21,21
-20	0,65	31,68	0,67	34,28
Итого:	0,94	100,00	0,91	100,000

Транспортировка золотосодержащих хвостов из старых (законсервированных) или действующих хвостохранилищ представляет определенные трудности, а именно: предварительная распульровка, отмывка от накопленных илов, органического и неорганического мусора; транспортировка золотосодержащих хвостов на перерабатывающий комплекс; подшихтовка к рудам текущей добычи или запуск самостоятельной линии переработки.

С целью получения гравитационного концентрата, содержащего нерастворимые цианидом сульфидные минералы, проведены тесты по гравитационному обогащению хвостов цианирования, при этом установлено, что гравитационное обогащение позволяет получить содержание ценного компонента в гравитационный концентрат до 25 г/т, при этом извлечение составляет 33,18%.

Практика проведения исследований показывает, что при прямом цианировании золотосодержащего материала продолжительностью 24 часа достигается практически полное растворение золота доступного выщелачиванию, что позволяет оценить результаты операции только по остаточному содержанию золота в твердой фазе хвостов при условно постоянном содержании золота в исходном продукте. Увеличение времени выщелачивания более 24 часов, как правило, приводит к увеличению количества единиц технологического оборудования и попутному выщелачиванию цветных металлов, что негативно влияет на качество конечного продукта (золотосодержащий

слиток) и увеличивает расход флюсов при последующей плавке катодных осадков. Проведены исследования по определению оптимальной концентрации цианида. Результаты цианирования хвостов сорбции показали, что при концентрации цианида 0,5 г/т; 0,75 г/л; 1,0 г/л и 1,5 г/л и продолжительности выщелачивания в течение 48 часов, извлечение золота варьирует в пределах от 5,56% до 5,81%. Низкие технологические показатели указывают на то, что ни концентрация цианида, ни увеличение времени выщелачивания, не влияют на показатели извлечение золота.

Сложный вещественный состав золотосодержащих отходов, фактически не поддающиеся доизвлечению ценного компонента, определяют необходимость разработки комплексных технологических решений при переработке минерального сырья.

Из практики переработки золотосодержащего минерального сырья известно, что положительное влияние на кинетику растворения золота и серебра, содержащихся в неокисленных и слабоокисленных рудах, оказывают свинецсодержащие добавки. Результаты сравнительного теста показали, что глет на стадии измельчения значительно интенсифицирует процесс растворения золота, извлечение в раствор составляет 77,0%. На стадии предварительного цианирования свинцовый глет оказался эффективнее, чем азотнокислый свинец, сквозное извлечение золота соответственно составило 97,62% и 97,35%, соответственно. Свинцовый глет и соли азотнокислого свинца показывают удовлетворительные результаты по извлечению золото и серебра при этом происходит снижение расхода цианида натрия на всех стадиях выщелачивания на 10% (рисунок).

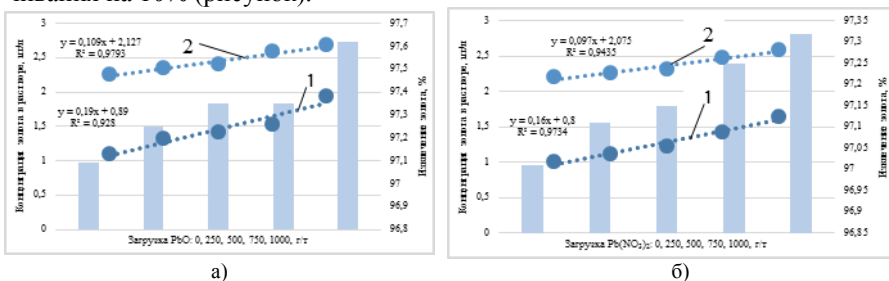


Рис. Зависимость извлечения золота от количества добавляемого реагента: а) свинцовый глет; б) азотнокислый свинец
1 – концентрация золота в пульве операции измельчения, мг/л;
2 – концентрация золота в растворе цианирования, мг/л

Для определения величины необходимого расхода глета проведена серия экспериментов с различной загрузкой глета в цикл измельчения. Установлено, что с увеличением загрузки свинцового глета, растет скорость растворения золота непосредственно в цикле измельчения. Для подтверждения результатов лабораторных исследований, необходимо проведение промышленных испытаний.

Таким образом, доказано, что для интенсификации растворения благородных металлов в процессе выщелачивания, необходимо добавлять свинцовый глет при измельчении.

Проведенные исследования позволяют наметить перспективные направления переработки золотосодержащих хвостов с целью доизвлечения ценных компонентов на действующих горно-перерабатывающих предприятиях Забайкальского края.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках выполнения гранта на проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований в 2022-2023 годах, соглашение номер 22-17-00040.

УДК 622.34

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ НЕОДНОРОДНЫХ ПО СОСТАВУ И СТРУКТУРЕ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Радченко Д.Н., Залевская К. Н.

ИПКОН РАН

В связи с многообразием условий формирования техногенных образований, представленных отходами переработки руд, отсутствуют стандартные подходы к оценке их структуры, равно как нет единых методических и проектных подходов к вовлечению в эксплуатацию техногенных минеральных ресурсов [0-3]. Длительное хранение приводит к изменению качественных характеристик техногенного минерального сырья, так как развитие гипергенных процессов приводит к окислению отходов переработки руд и высвобождению металлов, а затем их перераспределению в объеме хвостохранилища с формированием локальных более продуктивных зон, либо участков с повышенным содержанием опасных элементов [4, 5]. К числу причин отказа от освоения техногенных золотосодержащих объектов, сложенных тонкодисперсными отходами обогащения, относится, наряду с более сложным измененным вещественным составом минерального сырья, низкая привлекательность такого типа сырья по содержанию ценных компонентов, особенно, на контрасте с содержанием благородных металлов в рудах месторождений. Более того, к освоению техногенных образований предъявляются те же требования, что и к месторождениям – получение всех лицензий на разведку и эксплуатацию «участка недр», подсчет запасов, ТЭО кондиций, все этапы проектирования и экспертиз.

Вместе с тем, динамично изменяющаяся геологическая среда техногенных образований золотодобычи, особенно золото-мышьяковистых руд, предопределяет активное изменение вещественного состава техногенного сырья, формирование неоднородной структуры и строения техногенного образования с формированием зон различной минерализации, что требует его детального

изучения непосредственно в процессе эксплуатации. Уникальные для каждого хвостохранилища обуславливают создание современных способов детальной геологической оценки с целью получения актуальных сведений о распределении сырья при разработке техногенного объекта. В связи с этим была предложена методика детального изучения техногенных образований прошлых лет, основанная на получении уточненных сведений об их структуре, строении и составе зон минерализации, позволяющая осуществлять визуальное обследование стенок скважин с возможностью точечного опробования техногенного золотосодержащего сырья [6]. Доказано, что своевременное выявление неоднородных участков, представленных обогащенными, сильнообводненными или опасными по содержанию токсичных элементов зонами, позволяет эффективно управлять качеством сырья на базе актуальной информации, а также позволяет вести безопасную обработку техногенного образования.

Для условий золото-мышьяковистого хвостохранилища предложена технология и порядок ведения открытых горных работ по утилизации опасного техногенного объекта, предложены технологические схемы обработки локальных участков, представленных сильнообводненными отходами переработки руд. Определены параметры горнотехнических конструкций при разработке скрытых обводненных участков, определяющие повышенную механическую устойчивость оценочных скважин, достаточную для проведения их геологического обследования. Экономически обоснована эффективность обработки хранилища золото-мышьяковистых руд с извлечением полезных компонентов и последующей безопасной утилизацией высокотоксичных металлов в специализированном отвале.

Таким образом, выбор технологии и обоснование параметров разработки неоднородных по составу и структуре техногенных образований, сложенных отходами переработки золотосодержащих руд, базирующийся на оценке его фазовой и структурной неоднородности является гарантией безопасности ведения открытых горных работ и высокой технико-экономической эффективности предложенных геотехнологических решений.

Список литературы

1. Макаров А.Б., Хасанова Г.Г., Талалай А.Г. Техногенные месторождения: особенности исследований // Известия Уральского государственного горного университета. – 2019. - №3. - С. 58-62.
2. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Методологические аспекты проектирования системы управления минерально-сырьевыми потоками в полном цикле комплексного освоения рудных месторождений // Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Рациональное освоение недр. - 2016. - № 2-3. - С. 36-41.
3. Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Эффективные технологии использования техногенных георесурсов - основа экологической безопасности освоения недр // Горный журнал. - 2016. - № 5. - С. 34-40.

4. Меретуков М.А., Рудаков В.В., Злобин М.Н. Геотехнологические исследования для извлечения золота из минерального и техногенного сырья. - М: Горная книга, 2011. – 438 с.

5. 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.

6. Патент России № 2 700 139. Способ геологического исследования хвостохранилищ и устройство для его реализации / Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Федотенко В.С., Струков К.И., Залевская К.Н., 2019.

ВЫБОР СОСТАВА ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОНСОЛИДИРОВАННОГО ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВА ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ОТРАБОТКЕ ГРЕМЯЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Радченко Д.Н., Татарников В.И.

ИПКОН РАН

Гремячинское месторождение калийных солей характеризуется достаточно сложными горно-геологическими, гидрологическими, геомеханическими, газодинамическими и горнотехническими условиями разработки, что связано с большой глубиной залегания соленого пласта - около 1000 м, его неоднородностью структуры и литологического состава, сложного морфологического и тектонического, как по вертикали, так и по простиранию залежи. Кроме этого, значительная глубина залегания продуктивного пласта определяет повышенную температуру горных пород, на уровне горизонта добычи 35-42°С.

Для исключения проникновения подземных вод в рудник отработка запасов ведется с оставлением водозащитной толщи (ВЗТ), мощностью не менее 60 м. Для снижения деформаций налегающих пород и риска нарушения ВЗТ проектными решениями предусмотрена гидрозакладка всех очистных камер отходами обогатительной фабрики. К ним относятся твердые солеотходы, ангидритовые шламы, а также жидкие отходы, представленные оборотными рассолами. Предполагается, что закладка камер позволит повысить устойчивость междукамерных целиков, снизить оседания земной поверхности, минимизировать деформации водозащитной толщи и вероятность возникновения водопроводящих трещин.

Вместе с тем, анализ мирового опыта закладки камер в соляных рудниках показал, что гидравлическая закладка влечет дополнительные риски подземной добычи солей. Поэтому, при обосновании параметров технологии рассматриваются конкурирующие виды закладки: сухая, гидравлическая, твердеющая, пастовая, комбинированная. Каждый вид характеризуется, наряду с достоинствами, существенными недостатками.

При гидравлической закладке возникает проблема организации дренажа и отвода большого количества воды. Например, на шахте Величка (Польша), при применении гидравлической закладки было выявлено, что влага, поступающая в руднике вместе с рассолом, вызывает снижение прочностных характеристик соляных пород и влечет вспучивание глин, присутствующих в виде прослоек в соляном пласте [1].

Недостатком сухой закладки на основе солеотходов является сложность доставки и размещения сухих смесей в выработанное пространство рудника, неполнота его заполнения под кровлю и усадка массива, что влечет повышенный риск развития деформаций пород водозащитной толщи. Подача сухой закладочной смеси в камеру производится посредством примененем консолевых конвейеров, метательных машин и изыскания дополнительных решений по дозакладке камер под кровлю [2].

Пастовая закладка, наиболее широко апробированная на соляном руднике Боулби, способствует утилизации солеотходов, но низкоэффективна в части сохранения водозащитной толщи из-за повышенной деградации целиков и выдавливания перемычек, удерживающих пастовую смесь в выработанном пространстве заложенных камер [3].

Поэтому, для условий подземной разработки Гремячинского месторождения была высказана идея формирования консолидированного закладочного массива на основе солеотходов и местных материалов, обладающих связующими свойствами и способствующих набору прочности с формированием закладочных массивов, характеризующихся низким уровнем рассолоотдачи.

В качестве базового состава в смеси, наряду с солеотходами, в исследованиях были использованы ангидритовые шламы, не обладающие естественной вяжущей активностью. Однако, в ходе исследований оценена возможность активации вяжущих свойств химическим, термическим способами, механоактивацией, или их комбинацией.

Первый этап исследования проводился в малых цилиндрических формах объемом 70 см³ с дренажными отверстиями для отвода излишней влаги. Подача жидкости проводилась через ороситель непосредственно в смеситель. Полученные смеси помещались в указанные формы. Подготовленные образцы выдерживались в течении 28 суток в климатической камере при температуре 35°C и влажности среды 30%, что соответствует естественным условиям массива и атмосферы Гремячинского подземного рудника. На базе сравнительной оценки выбирались лучшие образцы закладочных смесей для проведения стандартных лабораторных исследований элементов формируемых закладочных массивов по ГОСТу 10180-2012 [4].

Принцип подбора закладочных смесей на основе солеотходов предусматривал шесть последовательных этапов исследований, по результатам которых были определены наилучшие составы для формирования консолидирующего массива (рис. 1.).



Рис. 1. Этапы исследований по подбору закладочных смесей на основе солеотходов

Первый этап предусматривал исследование возможности получения консолидированных закладочных массивов, характеризующихся отсутствием расслоотдачи на основе солеотходов и различных затворителей. При этом была установлена граница водоотдачи и зафиксировано количество затворителя, способствующего формированию консолидированного массива наибольшей прочности (рис. 2.).

Второй этап предусматривал оценку перспектив использования в качестве связующей добавки ангидридных шламов (отходов обогащения), активированных термическим путем, третий этап - активацию химическим способом, четвертый – путем введения дополнительных вяжущих компонентов. На пятом этапе исследований оценивалось влияние температуры затворителя на прочность формируемого массива.

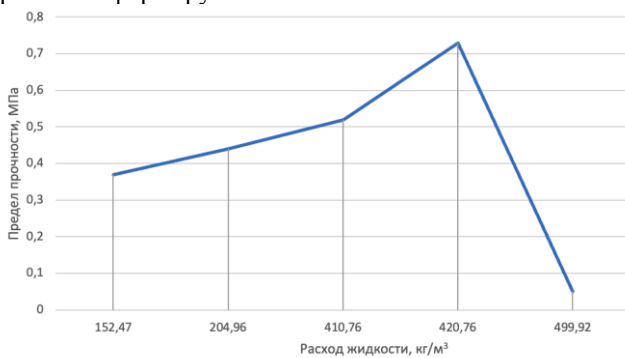


Рис. 2. Граница водоотдачи

Таким образом, направление формирования консолидированного массива на основе солеотходов при подземной отработке Гремяченского месторождения является перспективным, вопросы доставки являются отдельным вопросом.

Список литературы

1. Kajetan d'Obyrn, Wiesław Wiewiórka Selection of backfilling technology works in the Ksawer chambers complex of the Wieliczka Salt Mine.

2. Heiner Marx, Dittmar Lack, Wolfgang Krauke. Substantial Aspects of the Recycling of Industrial Wastes as Backfilling Material in Salt Mines // 20th WORLD MINING CONGRESS & EXPO2005, 7–11 NOVEMBER 2005, TEHRAN, IRAN. «Mining and Sustainable Development».

3. Snyman, B.J. (2017). Boulby Mine Backfill System. In: Yilmaz, E., Fall, M. (eds) Paste Tailings Management. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39682-8_11.

4. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МИКРОСТРУКТУРЫ УГЛЯ И ЕГО ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ ПОСЛЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЖИДКИМ АЗОТОМ

Рыбалкин Л.А.¹, Мезин А.А.^{1,2}, Сердюк И.М.¹, Шилова Т.В.¹

¹ ИГД СО РАН, ² ИНГГ СО РАН

Проведение операции дегазации при очистных работах зачастую сопряжено с необходимостью искусственного увеличения проницаемости углеводородного массива для поддержания необходимой степени извлечения газа метана. Наиболее распространенным инструментом интенсификации дегазации является гидроразрыв пласта (ГРП) [1, 2] с закреплением полученных трещин расклинивающими материалами [3].

Чрезмерный расход дорогостоящих жидкостей разрыва, тампонирующие фильтрационной системы пласта и загрязнение возвратной жидкости являются сопутствующими проблемами при проведении традиционного ГРП. Жидкий азот (LN2) считается одним из потенциально перспективных безводных агентов для гидроразрыва. Из-за его уникальных низкотемпературных характеристик, в процессе ГРП в призабойном пространстве могут возникать сильные термические напряжения [4, 5], создавая более сложную сеть вторичных трещин за счет эффекта теплового удара с проникновением криогенной жидкости в пласт, чем при обычном гидравлическом разрыве. Исследования показывают, что это растягивающее напряжение достигает десятков МПа, что может значительно снизить давление инициирования при ГРП LN2 [6].

Исследовательские работы в данном ключе направлены на изучение кратности увеличения пористости и трещиноватости угля в процессе одиарного или многократного воздействия порциями жидкого азота. Отличительной особенностью проводимых исследований является оценка результатов криообработки образцов неразрушающими методами измерения порового пространства. Так вывод о изменении проницаемости делается без непосредственных замеров скоростей фильтрации газа в образцах. Изменения, показанные сканами компьютерной томографии, показывают приращение общего числа открытых пор и каналов, однако не иллюстрирует прирост газопроницаемости в целом.

В данной работе были проведены серии исследований влияния глубокой заморозки на керны угля. Обработка кернов проводилась в циклическом режиме для установления зависимости развития новых трещин и пор от времени и количества циклов. Изменения в структуре образцов и их газопроницаемости устанавливали с помощью серий измерений на ЯМР релаксметре и установки по осевой фильтрации газа.

В качестве исследуемого материала использовался плотный уголь марки «D» из Пермьяковского разреза Караканского угольного месторождения (Кузнецкий бассейн), подготовленные керны были 30мм в диаметре и 60 мм длиной. На первом этапе исследования все керны были подвергнуты вакуумной сушке в течении 2 суток. На втором этапе проводили измерение газопроницаемости, коэффициент проницаемости рассчитывали по известной формуле линейного расхода газа и стационарного характера фильтрации [6]. На третьем этапе керны помещали в специальный сосуд с жидким азотом на 60 минут (отсчет вели после прекращения кипения LN₂) с последующей разморозкой в течении не менее 4 часов. Таких циклов заморозки – разморозки было произведено 4 для каждого керна. Далее следовал заключительный этап – исследования микроструктуры угля на ЯМР релаксметре, повторная сушка и повторное исследование газопроницаемости. В общей сложности было выполнено 2 эксперимента по 4 цикла для каждого керна.

Исследования по изменению газопроницаемости проводили на специальной установке, где осевое и радиальное давления, оказываемые на керн, изменялись поэтапно от 1 до 5 МПа, а затем уменьшались с шагом 1 МПа. Перепад давления газа составлял 0,1, 0,15, 0,2, 0,25 МПа. При каждом цикле нагрузки – разгрузки керна, в ходе фильтрационных измерений, производили измерение расхождения ветвей графиков газопроницаемости, принятая погрешность была не более 10%, однако стоит отметить, что в течении всех серий она составляла не более 6%, что свидетельствует о достоверности полученных измерений.

После обработки жидким азотом графики падения проницаемости при увеличении сжимающих напряжений меняли угол наклона переходя в более пологую форму, что может свидетельствовать о наличии магистральных трещин способных оставаться открытыми при увеличении нагрузки. Проницаемость образца до обработки LN₂ составляла от 5 до 20 мД. После многостадийной обработки образцов проницаемость увеличилась в несколько раз в зависимости от образца и составляла от 60 до 100 мД. Общая картина изменения проницаемости по всем кернам отражает снижение времени фильтрации газа не менее чем на 40% при первичной обработке жидким азотом, и еще на 10–15% при вторичной.

Экспериментальные исследования по определению ЯМР-характеристик проб насыщенного угля выполнялись на ЯМР-релаксметре «МСТ-05» с величиной индукции магнитного поля 500-530 Гс (0,05 Тл) и рабочей частотой

2,2-2,3 МГц, диапазон измеряемых времён поперечной релаксации (Т 2) – 600 мкс-10 с.

Основная доля воды находится в мелких порах, при этом появляется свободная вода в крупных порах. Наименьшая пористость у второго образца (9,44%), наибольшая – у третьего (10,65%).

После заморозки ЯМР-спектры первого и четвертого образцов приняли бимодальный вид, а у второго и третьего выделяются по три пика на спектрах. Такое поведение указывает на неравномерное распределение пор по размерам. Таким образом в образцах 1 и 4 имеются 2 группы размеров пор, а в 2 и 3 образцах – три. Возможно, при замерзании часть мелких пор разрушились под давлением расширяющейся воды, что и привело к образованию более крупных пор. После повторного цикла заморозки соотношения объема групп пор практически не изменилось, но сдвиг спектра в сторону больших времен релаксации указывает на увеличение размера пор в каждой группе. Также можно наблюдать увеличение амплитуды ЯМР-спектра в коротких временах после первого этапа заморозки, что указывает на увеличение суммарного объема пор, заполненных водой. Сравнение ЯМР-пористости образцов до и после заморозки показаны в таб. 1.

По данным в таблице видно, что общая пористость образцов после первого этапа заморозки увеличилась примерно в 2 раза. Повторная заморозка образца привела к небольшому уменьшения общей пористости (на 10-15%, пористость обр. 4 изменилась в пределах погрешности измерения), вероятно из-за образования каверн на поверхности образцов.

Таблица 1

Пористость образцов угля до и после заморозки

	Образец 1, % пор	Образец 2, % пор	Образец 3, % пор	Образец 4, % пор
Исходная пористость	5,71	6,4	5,69	5,3
После первого цикла обработки LN ₂	9,96	9,44	10,65	10,82
После второго цикла обработки LN ₂	9	7,87	9,96	10,6

Проведены серии экспериментов по захолаживанию кернов угля для создания в них новых систем трещин с целью увеличения газопроницаемости. Результаты демонстрируют многократный прирост проницаемости в следствии цикличной заморозки – разморозки. Дальнейшее исследование влияния жидкого азота на микроструктуру угля позволит установить более детальные зависимости время заморозки – количество циклов для оптимизации параметров ГРП жидким азотом в условиях угольной шахты.

Список литературы

1. Сердюков С.В., Курленя М.В., Рыбалкин Л.А., Шилова Т.В. Влияние гидроразрыва угля на фильтрационное сопротивление зоны дренирования дегазационной скважины // ФТПРПИ. – 2019. – № 2. – С. 3–13.

2. Сердюков С.В., Патутин А.В., Шилова Т.В., Азаров А.В., Рыбалкин Л.А. Технологии повышения эффективности разработки твердых полезных ископаемых с использованием гидроразрыва горных пород // ФТПРПИ. – 2019. – № 4. С. 90–97.

3. Шилова Т.А., Рыбалкин Л.А. Экспериментальное исследование влияния легкого проппанта на проницаемость угля // Интерэкспо Гео Сибирь. — 2018. — Т. 2. — №6. С. 338–365.

4. Yunpei Liang, Youting Tan, Fakai Wang, Yougjiang Luo, Zhiqiang Zhao Improving permeability of coal seams by freeze-fracturing method: The characterization of pore structure changes under low-field NMR // Energy Reports. – 2020. – №6. P. 550-561.

5. Bo Li, Lulu Zhang, Jianping Wei, Youngjie Ren Pore Damage Properties and Permeability Change of Coal Caused by Freeze-Thaw Action of Liquid Nitrogen // Hindawi Advances in Civil Engineering. – 2018. – Article ID 5076391.

6. ГОСТ 26450.2–85. Методы определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 17 с.

УДК 622.814

ЭФФЕКТ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЫ В РАЗЛИЧНЫХ КЛАССАХ КРУПНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНОГО УРАЛА

Федотенко Н.А., Гавриленко В.В.

ИПКОН РАН

Колчеданные руды представляют собой совокупность различных сульфидных минералов, имеющих важное промышленное значение [1-2]. Самовозгорание колчеданных руд и взрывы сульфидной пыли являются наиболее распространенной причиной возникновения аварийных ситуаций, которые вызывают ряд негативных последствий при разработке сульфидсодержащих месторождений. Когда сульфидные руды соприкасаются с воздухом, происходит реакция окисления и выделяется тепло. При определенных внешних условиях, выделяемое тепло может накапливаться до тех пор, пока не достигнет температуры воспламенения, вызывая таким образом самовозгорание руды и взрывы пыли. Самовозгорание сульфидной руды не только приводит к потерям уже вскрытой руды, но также к образованию большого количества SO₂ и может вызвать взрыв шахтной пыли, что представляет серьезную угрозу для безопасности персонала и производительности рудника. В том числе, описанные явления могут вынудить горнодобывающие компании отказаться от некоторых уже выполненных проектов или изменить существующие методы и процессы добычи полезных ископаемых. Таким образом, процессы окисления пыли, руд и пород, связанные с самовозгоранием сульфидных

минералов, могут вызвать ряд проблем с безопасностью, охраной окружающей среды, а также колоссальные экономические потери [3-6].

Основываясь на исследованиях ранее выполненных коллективом авторов [7-8], в работе исследован эффект перераспределения содержания серы в различных классах крупности горных пород медноколчеданного месторождения Южного Урала ранее не исследованных в части взрыво- и пожароопасности. Для выявления закономерности влияния строения структуры и текстуры сульфидных минералов на самовозгорание и взрывоопасность в процессе добычи, в работе изучено строение микроструктур сульфидных минералов.

Для проведения исследований был взят образец породы халькопирит-пиритового состава медно-колчеданного месторождения Южного Урала.

Дальнейшее проведение исследований предусматривало определение содержания серы в пробах измельченного материала различных классов крупности методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием прибора Olympus X-5000 MobileXRF, а также изучение текстурно-структурных особенностей образцов руд и пород методом оптико-геометрического анализа с применением оптического микроскопа Olympus BX51 (табл. 1).

Таблица 1

Минеральный состав образца медно-колчеданной руды

Минеральный состав	Содержание, об.%
FeS_2	38
$CuFeS_2$	30
$Fe_{(1-x)}$	20
ZnS	5
нерудная масса	7

Образец породы халькопирит-пиритового состава медноколчеданного месторождения Южного Урала представлен матрицей округлых и изометричных обособлений пирита, крупностью 500 мкм и мелких кристаллических обломков пирита, сцементированных халькопиритом (рис. 1).

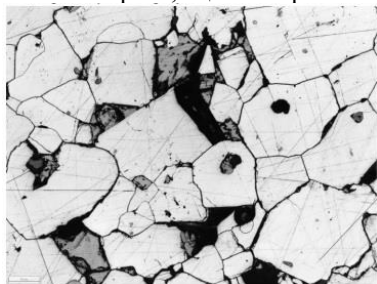


Рис. 1. Массивное сложение медно-колчеданной породы месторождения Южного Урала

На рисунке 1 видно, что халькопирит тесно ассоциируется с пиритом и представлен аллотриоморфными выделениями, как в виде отдельных зерен, так и в виде самостоятельных полей, цементирующих агрегаты пирита. Размеры агрегатов достигают 400 мкм.

Изменение содержания серы по классам крупности приведено (рис. 2).

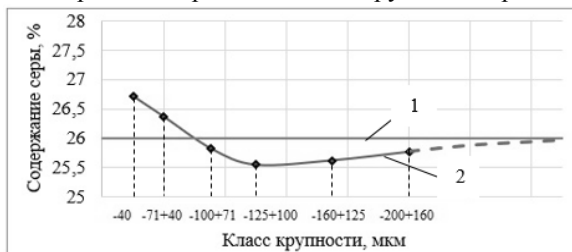


Рис. 2. Содержание серы в халькопирит-пиритовой породе месторождения Южного Урала: 1- среднее; 2 – в различных классах крупности

Из приведенного графика следует, что наиболее мелкие фракции руды, полученные в результате первичной дезинтеграции, характеризуются более высоким содержанием серы, что подтверждает выявленные ранее закономерности распределения содержания серы [8]. Однако, для пород, характеризующихся крупнозернистым, массивным строением, характерно незначительное изменение содержания серы по фракциям, образованным в результате первичного измельчения. Так, абсолютное изменение содержания серы в образце составило порядка 1%, что в относительном выражении составляет – 4,5%.

Значимость изучения эффекта перераспределения содержания серы при дезинтеграции колчеданных руд и пород носит весьма актуальный характер и приобретает особое значение с учетом наращивания производственных мощностей и вовлечения в процесс добычи руд с более низким содержанием полезным компонентов.

Список литературы

1. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Реализация концепции устойчивого развития горных территорий - базис расширения минерально-сырьевого комплекса России // Устойчивое развитие горных территорий. 2015. Т. 7. № 3. С. 46-50.
2. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2018 году. М.: Минприроды России, 2019. 424 с.
3. Prodan M., Lupu L-A., Ghicioi E., Nalboc I., Szollosi-Mota A. Pyrophoric sulfides influence over the minimum ignition temperature of dust cloud // Citation: AIP Conference Proceedings, №020001 - 2017.
4. Zhang W. D. In-situ pyrite trace element and sulfur isotope characteristics and metallogenic implications of the Qixiashan Pb-Zn-Ag polymetallic deposit, Eastern China // Ore Geology Reviews. 2022, vol. 144, pp. 30-63. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2022.104849
5. Родионов В.А., Карпов Г.Н., Лейсле А.В. Методологический подход к оценке взрывопожароопасных свойств сульфидсодержащих полиметаллических руд // ГИАБ. 2022. № 6-1. С. 198-213.

6. Liu, H., Pan, K., Xiang, C., Wang, H., Gou, X. Mechanochemical effect of spontaneous combustion of sulfide ore // *Fuel*. 2022. Т. 329, 125391. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.125391

7. Рыльникова М.В., Айнбиндер Г.И., Митишова Н.А., Гаджиева Л.А.С. Исследование закономерностей возгорания сульфидных руд и пород при комбинированной разработке месторождений // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2020. № 2. С. 341-356.

8. Митишова Н.А., Федотенко В.С., Горбатова Е.А., Айнбиндер А.Г. Геолого-структурный анализ колчеданных руд и пород при оценке взрывоопасности сульфидной пыли // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2020. № 4. С. 350-363.

УДК 622.03.05

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ РЕСУРСА ФУТЕРОВКИ СКИПОВ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Фролова А.Ю., Зотов В.В.

НИТУ «МИСисС»

С каждым годом увеличиваются производственные мощности подземных рудников за счет внедрения более высокопроизводительных очистных комплексов и за счет оптимизации технологических процессов. Для обеспечения транспортирования руды на поверхность и уменьшения удельных затрат на подъем применяют подъемные установки более высокой производительности со значительной грузоподъемностью скипов [1].

В последнее время достаточное количество работ посвящено оптимизации конструкций скипов или обоснованию процессов загрузки. Основная часть работ в данном направлении посвящена совершенствованию транспортных машин по повышению грузоподъемности, скорости транспортирования, снижения времени переходных процессов [2, 3, 4]. Появились работы, посвященные применению технологии регенерации энергии на вертикальном транспорте при движении тары под действием сил гравитации. Отсутствие интереса к данной теме обоснованно архаичными представлениями о материалах и технологиями их обработки. При загрузке полезного ископаемого в скипы происходит их износ. Ресурс скипов повышают за счет футеровки внутренней поверхности специальными пластинами. Для футеровки используют пластины из марганцовистой стали, высокопрочного чугуна и других дорогостоящих материалов. Футеровка набирается из отдельных элементов и крепится к корпусу скипов болтами. Износ футеровки происходит из-за истирания рудой при загрузке и выгрузке скипа. Но наибольший износ футеровки наблюдается на днище скипа вследствие ударов от падающих из дозатора кусков породы при загрузке. При значительной высоте падения, которая может составлять до 19 м, энергия удара приводит к деформации футеровки. Максимальный кусок руды может составлять до 300-350 мм, что может достигать массы в 350-400 кг [5,6].

В результате на сегодняшний день на рудниках включают в план работ простой на замену футеровки с периодичностью два раза в месяц, что оказывает влияние на снижение производительности предприятия в целом и повышает эксплуатационные затраты на подъем [4]. Кроме того, масса футеровочных пластин по сути своей, входящая в массу тары, представляет собой источник дополнительных затрат энергии на каждом цикле работы подъемной машины.

Повысить сроки службы футеровки скипов можно либо управлением способом загрузки для создания для крупных кусков породы демпфирующей подушки из не крупного материала, либо снабжением амортизаторами элементов футеровки, либо снижением ударной нагрузки от падения крупных кусков за счет управления их кинетической энергией [5, 6].

Загрузка скипа происходит в верхней части скипа посредством направления руды из дозатора по шиберу в скип под углами от 45 до 75 градусов. Скип может загружаться как в подвешенном состоянии, так и располагаясь на опорах. Наибольшее воздействие на футеровку будет наблюдаться в последнем случае.

На первом этапе многоитерационного моделирования с применением современных САПР был проведен сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния футеровочных пластин при условиях изменения нагрузок F и толщины применяемых пластин h (рис. 1).

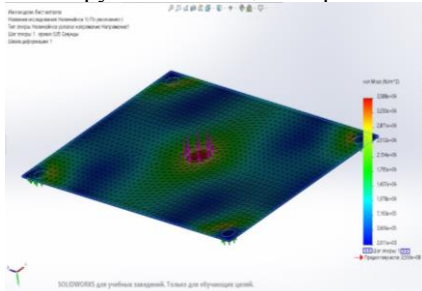


Рис. 1. Пример моделирования единичной ударной нагрузки футеровки скипа ($F=1000$ Н, $h=10$ мм)

В дальнейших сериях моделирование проводилось относительно пластин разного состава, но фиксированной толщины 10 мм различных марок стали: сталь холоднокатанная AISI-1020 (аналог Ст20), литая легированная сталь, сталь с повышенным содержанием Марганца 20MnCr5. По результатам исследований заметно, что с увеличением толщины футеровки величина напряжений снижается (рис. 2).

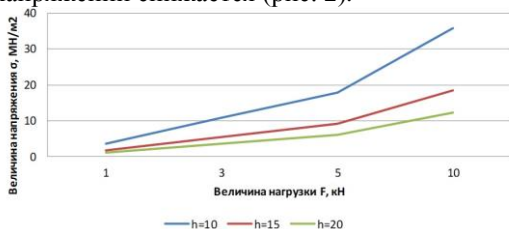


Рис. 2. Зависимость напряжения от нагрузки при изменении толщины футеровки

Заключение

Результаты исследования однозначно подтверждают необходимость применения технологических решений демпфирования ударных нагрузок в точках крепления листов футеровки в скипах. Однако сопоставимые результаты, показываемые серым чугуном и менее твердой сталью Hardox 450 дают основания для проведения дальнейших исследований с определением оптимальных углов подачи погружаемой массы. Кроме того, поскольку твердость образца не снижает нагрузку на точки крепления в дальнейших итерациях моделирования стоит проверить предположение о заменимости стальной футеровочной массы – полимерной.

Список литературы

1. Зотов В.В., Кузиев Д.А., Рыжов И.М. Основные направления повышения технического уровня шахтных подъемных установок // Горная Промышленность. 2014. №2 (114). С. 111.
2. Волков В.В. Значительное повышение производительности скиповых подъемных установок может быть получено минимальными затратами//Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2000. №4. — 6 с.
3. Волков В.В. Повышение производительности скиповой подъемной установки //Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2005. №3. — С. 306-309.
4. Прушак В.Я. Комплекс оборудования скиповой подъемной установки //Горный информационно-аналитический бюллетень. — Москва, 2014. № S6. — С. 176-178.
5. Вагин В.С., Гуров М.Ю. Совершенствование привода подъемных установок, применяемых при строительстве предприятий по добыче природного камня подземным способом//Сборник научных трудов. Под редакцией Першина Г.Д., Магнитогорск, 2006
6. Вагин В.С., Коперш А.А., Оценка возможности применения следящих систем управления гидроприводом подъемной машины при проходке стволов шахт при добыче природного камня//Сборник научных трудов Международной технической конференции. Под редакцией Першина Г.Д. 2018.

УДК 622

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАРОГОДНИХ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНО-КОЛЧЕДАНЫХ РУД КАК ОСНОВА ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИХ РАЗРАБОТКИ

Цупкина М.В.

ИПКОН РАН

Решение вопросов эффективного использования и утилизации техногенного сырья невозможно без детального изучения целого ряда его важнейших свойств и характеристик, учет влияния которых необходим для обоснования

горно-технических конструктивных параметров разработки техногенных образований. Решающая роль в этом, наряду с изучением гранулометрического и вещественного состава техногенного сырья, его химических свойств, принадлежит изучению физико-механических характеристик и структурных особенностей техногенного сырья [1,2].

Среди значительного количества формируемых техногенных минеральных образований, как в мировой, так и в отечественной практике, особый интерес представляют хранилища отходов переработки колчеданных руд, что, с одной стороны, связано с их высокой экологической опасностью для окружающей среды, с другой – тем, что при добыче и обогащении руд цветных металлов теряется около 15% золота и серебра, 25 % никеля и 15% меди, потери кобальта доходят до 40%, 20-25% цинка, 10-15% молибдена и свинца и других попутных компонентов [3].

В связи с тем, что интенсификация протекающих в старогодних отходах обогащения медно-колчеданных руд окислительно-восстановительных процессов с течением времени обуславливает изменение состояния сухих и гидравлических отвалов, как правило, связанное с уплотнением масс [4], произведена оценка физико-механических свойств техногенного материала, которая выявила изменение его характеристик по глубине и площади техногенного образования. Так, участки, расположенные вблизи дамб – более осушенные, представлены достаточно плотными песчаными разностями со сцеплением до $0,05 \text{ кг/см}^2$; центральная часть хвостохранилища сложена более глинистыми, весьма водонасыщенными фракциями, сцепление у проб с этих участков либо отсутствует ввиду высокой влажности, либо не превышает $0,01 \text{ кг/см}^2$.

Кроме этого, исследования показали, что в летний период влажность техногенного грунта увеличивается с глубиной, от 8 до 15,5%. А в зимний период в верхней части хвостохранилища влажность значительно выше, чем на глубине, и достигает 25%. Это, в свою очередь, также обуславливает изменение сцепления техногенного грунта, поэтому сезонный фактор должен обязательно учитываться при выборе параметров технологии разработки хвостохранилища.

Наличие зон с высокой обводненностью и низкой устойчивостью техногенного массива обуславливает повышение рисков утраты техники и аварийности, что определяет выбор специальных технологий разработки техногенных образований с учетом районирования техногенного образования по фактору устойчивости.

На основании исследований механических характеристик техногенного сырья для разработки ослабленных обводненных участков предложена принципиальная схема разработки, не предусматривающая расположение техники на теле хвостохранилища (рис.1).

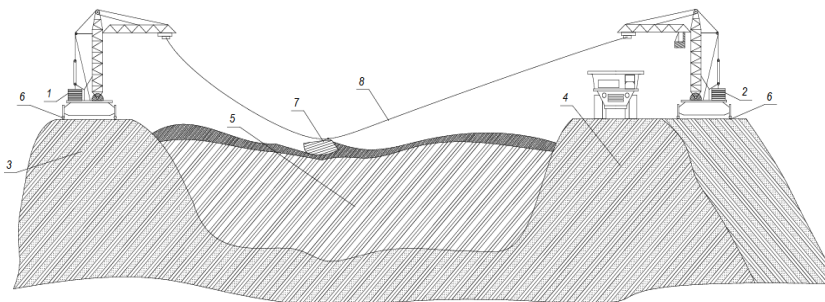


Рис. 1. Способ разработки хвостохранилища технологией мостового типа

Технология предусматривает расположение башенных опор с противовесом 1 и 2 на противоположных дамбах 3, 4 хвостохранилища 5. Опоры имеют рельсовое основание 6, которое служит как для их перемещения, так и для распределения массы конструкции на дамбы хвостохранилища, что позволяет значительно снизить затраты на укладку скальных пород в качестве основания под опоры. Перемещение рабочего органа 7, относящего к типу рабочих органов землеройных машин, осуществляется благодаря возвратно поступательному движению натянутых канатов 8 между противоположными башнями. Цикл функционирования схемы состоит из следующих итераций:

1. Перемещение рабочего органа от башни 1 к башне 2.
2. Опускание рабочего органа к массиву осуществляется снижением степени натяжения канатов 8.
3. Черпание верхнего окисленного слоя массива хвостохранилища.
4. Заполнение рабочего органа и перемещение его к башенной установке 2.
5. Высвобождение набранной массы из рабочего органа в кузов автосамосвала или приемного миксера для дальнейшей гидротранспортировки в цикл переработки.

Предложенная технологическая схема может найти эффективное применение для вовлечения в эксплуатацию техногенных образований, представленных неоднородностью физико-механических характеристик сырья, но зачастую близким по содержанию ценных компонентов к перспективным, вовлекаемым в эксплуатацию в настоящее время месторождениям полезных ископаемых.

Разработка техногенных образований с обязательной комплексной оценкой свойств, состава и структуры техногенного сырья будет способствовать эффективному вовлечению отходов обогащения руд, как дополнительных источников минерально-сырьевых ресурсов, а также позволит снизить экологическую нагрузку на горнопромышленные регионы.

Список литературы

1. Радченко Д.Н., Цупкина М.В., Джаппуев Р.К. Эколого-экономическая оценка техногенных минеральных образований для обеспечения устойчивого развития горнопромышленной индустрии // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2021, Вып. №1. — Тула: Издательство ТулГУ. С. 303-315.
2. Терентьева И.В. Обоснование параметров горнотехнических систем на завершающей стадии подземной разработки жильных золоторудных месторождений Урала [Текст] // дисс. раб. на соискание уч. степ. докт. техн. наук, специальности: 25.00.21 – «Теоретические основы проектирования 157 горнотехнических систем» 25.00.22 – «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)» Москва. 2018. – 311 с.
3. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Оценка ресурсного потенциала природных и техногенных месторождений медно-колчеданных руд Урала в связи с перспективами комплексного извлечения цветных, редких и благородных металлов / В кн. Геотехнологическая оценка минерально-сырьевой базы России. Под ред. академика К.Н. Трубецкого, академика В.А. Чантурия, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова. – М.: ИПКОН РАН, 2008. – С.86-89.
4. Hakkou, R., Benzazoua, M., Bussièrè, B., 2008. Acid mine drainage at the abandoned Kettara mine (Morocco): 1. Environmental characterization. *Mine Water Environ.* 27 (3), 145–159.

УДК: 622.271

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ВЫЕМКИ РУД ПРИ РАЗРАБОТКЕ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Чебан А.Ю.

ХФИЦ Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск

В настоящее время одним из основных направлений повышения эффективности горного производства является комплексное освоение недр, с применением малоотходных, энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий [1-2]. Разработка сложноструктурных месторождений без обеспечения необходимого уровня селекции при выемке руд различных сортов приводит к существенной пересортице и разубоживанию, что в дальнейшем ведет к увеличению затрат на флотационное обогащение и снижению сквозного извлечения полезных компонентов [3-5]. Так, при переработке медно-никелевых руд Талнахского месторождения рост содержания никеля в рудной массе с 2 до 3% приводит к увеличению извлечения с 72 до 76%, а снижение содержания с 2 до 1% ведет к уменьшению извлечения никеля в концентрат с 72 до 56% [3], таким образом, прирост извлечения в первом случае не компенсирует потери в последующем. Существенное влияние на полноту извлечения металлов при переработке руд оказывает изменчивость содержания металла в руде, так при уменьшении изменчивости содержаний

236

никеля с 0,1 до 0,01% в рудной массе рудника «Заполярный» его извлечение в концентрат возрастало с 65 до 78% [4]. Очевидно, что наибольшая изменчивость содержаний будет появляться при перемешивании богатых и особо богатых руд с рядовыми, что приведет к нестабильному качеству потока руды и снижению общего извлечения металла.

Для повышения качества селективной выемки целесообразно осуществлять разработку сложноструктурных массивов с применением безвзрывных технологий, современное оборудование позволяет достаточно эффективно вести разработку плотных и полускальных горных пород [6-7]. Для обеспечения приемлемой производительности механической выемки при разработке более прочных горных пород применяются комбинированные технологические схемы, предусматривающие предварительное разупрочнение массива с применением растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ), заливаемых в специально формируемые выработки в виде скважин, шпуров или щелей. Известны исследования по применению растворов ПАВ для разупрочнения кимберлитов, конгломератов, песчаников, аргиллитов, известняков [6, 8]. Анализ научно-технической литературы показал, что в настоящее время предварительному разупрочнению с применением растворов ПАВ подвергаются преимущественно легко разрабатываемые скальные породы с прочностью на одноосное сжатие 50-100МПа для повышения производительности последующей массовой механической выемки с применением карьерных комбайнов, рыхлительных агрегатов и гидравлических экскаваторов со специальным оборудованием. Металлорудные месторождения преимущественно сложены скальными породами средней трудности разрушения (кварциты, порфириты, березиты и др.) и трудноразрушаемыми скальными породами (андезитовые порфириты, роговики, скарны окремненные и др.). Поэтому их массовое механическое рыхление при нынешнем развитии технических средств даже после предварительного разупрочнения невозможно с требуемой производительностью и экономически нецелесообразно в сравнении с взрывным рыхлением. Однако локальная механическая глубокоселективная выемка особо богатых руд может быть приемлема, несмотря на относительно невысокую производительность.

В Институте горного дела ДВО РАН были проведены экспериментальные исследования по разупрочнению золотосодержащих руд одного из месторождений с определением прочности образцов на одноосное сжатие и растяжение с целью обоснования возможности реализации механической выемки скальных пород средней трудности разрушения. Обработка образцов руд раствором ПАВ привела к существенному снижению их прочностных характеристик, так прочность на одноосное сжатие березитов снизилась с 135,3 до 91,4 МПа, кварц-гидрослюдистых метасоматитов со 107,9 до 62,3 МПа, хлоритов с 99,3 до 78,2МПа.

Предлагается усовершенствованная технология разработки сложноструктурных месторождений применением комбинированной выемки, включающая

формирование сети взрывных скважин с одновременной сопровождающей разведкой, в результате которой выявляются зоны особо богатых, богатых, рядовых, бедных и особо бедных руд, а также пустых пород. При выявлении зон богатых и особо богатых руд осуществляется вторая стадия сопровождающей разведки, со сгущением сети скважин меньшего диаметра с поинтервальным опробованием, в ходе которой производится оконтуривание включений богатых и особо богатых руд в плане и по вертикали. Полученная сгущенная сеть скважин в дальнейшем используется для пропитки массива раствором ПАВ, таким образом, данные скважины имеют двойное назначение. Опережающее рыление и выемка локальных участков особо богатых руд производится гидравлическим экскаватором, оснащенным сменным оборудованием в виде гидромолота и грейфера. Применение гидромолота позволяет вести разработку массива в соответствии с фактическими контурами особо богатых руд, что уменьшает пересортицу и в последующем снижает изменчивость содержаний полезного компонента в рудной массе, а грейфер обеспечивает возможность извлечения включений особо богатых руд в стесненных условиях. При обеспечении приемлемых технико-экономических показателей работы гидромолота, возможно его использование для выемки богатых руд, также предварительно разупроченных с применением раствора ПАВ. В случае взрывной подготовки зоны богатых руд к выемке заряды ВВ размещаются в сгущенной сети скважин, что обеспечивает более равномерную проработку руды. Для оставшейся части массива используются взрывные скважины и их сеть с обычными параметрами. Особо богатые руды могут быть переработаны с использованием автоклавного выщелачивания, что позволит получить наиболее высокие показатели извлечения металла [9]. Богатые руды могут перерабатываться отдельно, либо подшихтовываться к рядовой руде для обеспечения оптимального содержания полезного компонента в рудной массе, поступающей на обогатительную фабрику [10].

Предлагаемая усовершенствованная технология разработки сложно-структурных месторождений позволяет уточнять контуры особо богатых и богатых руд, а также вести их выемку с обеспечением минимальной пересортицы, что увеличит извлечение полезных компонентов при последующей переработке ценного минерального сырья.

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. 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.

3. Кожиев Х.Х. Укрупненный расчет эффективности управления качеством руды // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. №8. С. 29-30.
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. Секисов Г.В., Чебан А.Ю. Малоотходная технология освоения сложно-структурных месторождений с применением комбинированных схем выемки и переработки руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2021. №6. С. 110-118.
6. Анистратов Ю.И., Штейнцга Р.М., Воронков Г.Я., Кузнецов А.Г., Хаспек-ков П.Р. Перспективы расширения сферы применения безвзрывных технологий в открытой угледобыче // Горная промышленность. 1998. №2. С. 14-19.
7. Чебан А.Ю. Селективная разработка Эльгинского угольного месторождения с применением выемочно-сортировочного комплекса // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2017. № 4. С. 247-254.
8. Шоболова Л.П., Коворова В.В. О создании комбинированной технологии разработки кимберлитов с применением жидких и газообразных ПАВ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. №1. С. 178-179.
9. Sekisov A., Rasskazova A. Assessment of the possibility of hydrometallurgical processing of low-grade ores in the oxidation zone of the Malmyzh cu-au porphyry deposit // Minerals. 2021. T.11. №1. С. 1-11.
10. Секисов А.Г., Лавров А.Ю., Рассказова А.В. Фотохимические и электрохимические процессы в геотехнологии. – Чита: Издательство ЗабГУ, 2019. – 306 с.

УДК 622.012.2

ПЕРЕХОД К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Юков В.А.

ИПКОН РАН

Специфика горного предприятия обусловлена сложными условиями производственного процесса и неопределённостью предмета труда, находящегося в недрах.

В настоящее время большинство предприятий сталкивается с решением двух проблем:

- с обеспечением устойчивой работы при убывающих балансовых запасах и недостатке разведанных;
- с усиливающейся тенденцией освоения глубоких горизонтов недр.

Для устойчивого функционирования предприятия необходимо обеспечить прирост запасов не ниже ежегодно расходуемого объёма: от 1/15 для высокоценного сырья до 1/30 для месторождений с наличием богатых руд. Целесообразно руководствоваться следующими положениями:

- при наличии ряда месторождений приоритетность вовлечения в разработку устанавливается экспертным анализом на основе оценки весомости месторождения.

- оценка пригодности к разработке месторождений в радиусе 300-500 км от действующего предприятия ведётся в условиях уже сложившейся инфраструктуры. Непрофильные полезные ископаемые в окрестностях предприятия оцениваются не на локальной, а на региональной основе;

- сведение многих природных типов руд на основе дополнительных геологических изучений и исследований, в том числе и на обогатимость, в несколько технологических сортов для системы их раздельной выемки;

- учёт дальности перевозок руды и концентрата ведётся для расширения минерально-сырьевой базы действующего предприятия и для определения затрат на получение конечной продукции для отдалённых месторождений.

Рудничная геологическая служба обеспечивает прирост (30-50%) ресурсов цветных, редких и благородных металлов на разрабатываемых месторождениях и в непосредственной близости от них. Основной прирост запасов (помимо разведки новых месторождений) идёт, главным образом, за счёт до-разведки эксплуатируемых месторождений, а также путём перевода запасов из предварительно оценённых в разведанные со снижением бортового содержания.

Определение производственной *мощности рудника* (по объёму выпуска металла), при убывающей минерально-сырьевой базе, выполняется на основе рационального сочетания потоков балансовых запасов, забалансового и техногенного сырья. Срок эксплуатации в условиях рынка должен определяться возможностью развития определённой мощности с определённым качеством руды. Если невозможно достичь определённой мощности, то это должно компенсироваться повышением качества

Оценка потенциальной экономической состоятельности проекта горного предприятия с учётом неопределённости исходных данных и будущих экономических показателей показала, что колебание текущей производительности рудника, карьера допустима в пределах 0,9-1,5 оптимальной, а содержания металла в руде в пределах 0,7-1,3 проектируемого.

В настоящее время наблюдается унификация геотехнологий. В зависимости от горно-геологических условий, ценности сырья, выбранного способа управления горным давлением применяются: разные модификации систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород (этажного и подэтажного обрушения); с искусственным поддержанием выработанного пространства: системы разработки горизонтальными слоями с закладкой, этажно-камерная с твердеющей закладкой, камерно-целиковая выемка; с естественным поддержанием выработанного пространства целиками – камерно-столбовая система с отработкой целиков, как правило, после закладки камер закладочными смесями различного состава, этажно-камерная, подэтажные штреки.

Были изучены пять вариантов отработки месторождения: горизонтальные слои с твердеющей закладкой, поэтажное обрушение, поэтажные штреки, подземное блоковое выщелачивание, скважинное подземное выщелачивание с содержанием условной меди 0,5, 1,5 и 3,0%. Наиболее эффективным оказался вариант разработки поэтажными штреками с последующим кучным выщелачиванием. Сопоставление на той же основе подземных блокового и скважинного выщелачивания показало некоторое преимущество блокового. по отношению к скважинному

Титульный список широко применяемых систем разработки фактически сведён к возможности эффективного использования высокопроизводительного самоходного оборудования в рассматриваемых горнотехнических условиях. Совершенствование и повышение эффективности очистной выемки достигается применением апробированных технологических новшеств:

- восходящий порядок отработки камер (через этаж) в сочетании с нисходящей очистной выемкой для увеличения фронта очистных работ;
- отработка сдвоенных по высоте камер дала лучшие технико-экономические показатели по сравнению с этажно-камерной системой разработки;
- отбойка руды горизонтальными слоями на нижнюю подсечку камер (метод VCR) существенно снизил разубоживание руды по сравнению с отбойкой вертикальными слоями особенно в зонах выклинивания рудных тел;
- переход на применение неэлектрической системы инициирования зарядов взрывчатых веществ «СИНВ»;
- использование шпуровых запирающих устройств для предотвращения взрывов сульфидной пыли и увеличения коэффициента использования шпура.

На удароопасных рудниках значительное увеличение применения камерных систем достигается созданием защищённых зон различного размера и конфигурации путём разгрузки массива скважинами большого диаметра. До 80% руды из камер отгружается через торцевые и (или) боковые заезды ПДМ в ручном режиме управления и до 28% вынимается с дистанционным управлением непосредственно в открытом очистном пространстве [1].

Порядок ведения горных работ на удароопасных рудниках определяет система непрерывного сейсмического мониторинга. Она обеспечивает минимальный уровень напряжений, позволяет поддерживать объёмы добычи руды на заданном уровне в усложняющихся геодинамических условиях и обеспечивает контроль и управление геомеханическим процессом [2] Изучается вопрос создания новых систем, объединяющих мониторинг горных ударов с сейсмонаблюдениями за технологическими землетрясениями на рудниках.

Существующие проектные решения по строительству подземных закладочных комплексов снижают себестоимость 1 м³ закладочной смеси в 1,14-1,45 раза, а стоимость их строительства в 1,17-2,25 раза по сравнению с поверхностной установкой Подземный горно-обогащительный комплекс является наиболее кардинальным ресурсосберегающим решением. Помимо

резкого снижения остроты экологической проблемы, на 20-30% снижаются затраты на транспорт, и сокращаются затраты на закладочные работы.

В общей себестоимости. затраты, связанные с собственно добычей, составляют всего 25-30%. В связи с этим большее внимание уделяется вспомогательным процессам.

Ставится вопрос создания единого информационного пространства на горнодобывающем предприятии. С одной стороны, это усовершенствование технологических процессов - построение качественного рабочего процесса предприятия, с другой – шаг к получению информации о работе всей компании on-line.

Обязательным становится создание двух систем: система непрерывного сейсмического мониторинга, обеспечивающая контроль и управление геодинамическими процессами на удароопасных рудниках (рациональные схемы разгрузки осваиваемых массивов и порядок ведения горных работ, обеспечивающие минимальный уровень напряжений): комплексной системы экологического мониторинга, включающей контроль атмосферного воздуха, подземных и поверхностных водных объектов, почвы и образования отходов.

Оценивать техногенные образования следует по сырьевой составляющей. Выполненная оценка показала, что наибольший эффект связан с переработкой хвостов обогащения как по металлу (в связи с их количеством), так и по высвобождению земли. Оценён также эффект нового строительства цеха выщелачивания для переработки хвостов обогащения и некондиционных руд и создания производства по переработке полезных пород.

Комбинированная схема радиометрического обогащения объединяет крупнопорционную сортировку и покусковую сепарацию. На 25-35% выхода хвостов при сортировке накладывается 30-40% при сепарации, что в благоприятных условиях может составить 50-55%. Для возвращения основного потерянного металла в дальнейшую переработку необходимо кучное выщелачивание. Получаемая оценённая дополнительная прибыль резко повышает показатели и позволяет компенсировать дополнительные затраты на сооружение участка выщелачивания

Оценка по методу учёта неопределённости показала, что снижение кондиционного куска руды с 0,4-0,5м до 0,2 м, достигаемое за счёт сгущения сетки скважин и увеличения расхода ВВ на отбойку, превращает сепарацию в эффективное средство предварительного обогащения. Дополнение его передвижными дробильными установками перемещает начало процесса предобогащения на места ведения горных работ. Последующее доизвлечение потерянного в хвостах сепарации металла только увеличивает преимущество. Кроме того, получаемый более мелкий материал сокращает необходимые площади обогатительной фабрики.

Вместо строительства новых хвостохранилищ на Гайском руднике заполняют выработанный пространство карьера (техногенный ресурс) текущими хвостами обогащения, а на Учалинском месторождении – *сгущёнными*.

Несмотря, на сооружение узла сгущения пульпы и строительство закладочного комплекса решение выгодно.

В структуре себестоимости готовой продукции энергозатраты составляют: на горно-металлургическом предприятии: добыча руды – 15-20%, обогащение – 30-36%, металлургия – 42-51%; на горно-обогатительном предприятии – добыча руды -30-35%, обогащение – 65-70%. Увеличивать энергозатраты целесообразно на менее энергоёмкие процессы добычи: бурение, взрывная отбойка, а увеличивать капитальные затраты следует на наиболее энергоёмкие переделы: внедрение новой техники на дроблении и измельчении руды, освоение новых технологий металлургического передела. На создание энергетических мощностей тратится 20% от общих капиталовложений. Окупаемость затрат только на создание энергетических мощностей в 4,5-5,0 раз выше для физико-технической и в 4,8-5,1 раз для физико-химической технологий [4].

Временным ограничением извлечения каждого последующего компонента (как правило редкоземельного) из комплексных руд в виде готовой продукции является снижение прибыльности предприятия в связи с затратами на его производство. Ранее принятое решение подлежит пересмотру в связи с разработкой и созданием новых технологий.

Некоторые обозначенные положения могут не выполняться или будут нарушены. Это не означает прекращения деятельности предприятия. Оно будет работать, даже с той же производительностью. Но только в длительной перспективе его на следует рассматривать как устойчиво функционирующее. В то же время могут быть приняты меры, позволяющие повысить уровень устойчивости.

Список литературы

1. Марысюк В.П., Корнейчук В.И., Фендер С.Н., Андреев А.А., Корецкий А.С. Совершенствование способов разгрузки массива скважинами большого диаметра при отработке сульфидных руд. Горный журнал, 2014, № 4, - С.15-18.
2. Наговицин Ю.Н., Какошина Л.В., Родионова Е.В., Мулёв С.Н. Система непрерывного сейсмического мониторинга на удароопасных месторождениях Норильска. Горный журнал, 2015, № 6,- С. 36-39
3. Юков В.А. Эффективность радиометрического предобогащения медных руд. ГИАБ, 2015, № 3 (Спец. Выпуск 15) «Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России», выпуск 3. - С. 86-95
4. Юков В.А. Энергоэффективность процессов горного производства. В кн. «Комбинированная геотехнология, ресурсосбережение и энергоэффективность. IX международная конференция. Магнитогорск, Изд-во МГТУ, 2017, С.51-52.

МЕТОДИКА РЕКОНСТРУКЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВНЕЗАПНОГО ВЫБРОСА УГЛЯ И ГАЗА НА ШАХТЕ «ЮНЫЙ КОММУНАР»

Бобин В.А.

ИПКОН РАН

Внезапный выброс угля и газа в забое северного квершлага горизонта 596 м шахты «Юный коммунар» (Донбасс) произошел 8 июля 1959 года из вскрытого взрывными работами угольного пропластка мощностью 0,25 м. Схема полости выброса приведена на рис. 1. При этом выбросило примерно 135 т угля, который распространился по квершлагу на расстояние до 55 м, а также 700 м³ метана. Метанообильность составляла 31,8 м³/т среднесуточной добычи шахты [1]. Предвестником выброса, как выяснилось позже, мог стать факт потемнения цвета штыва, чем обычно, кроме того, при бурении шпуров происходил зажим бура.

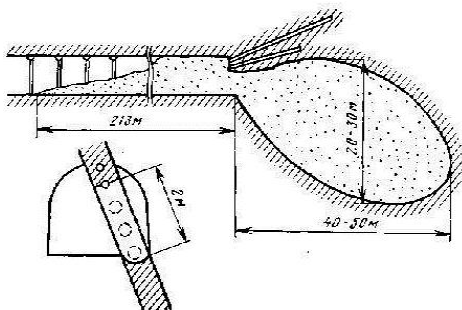


Рис. 1. Схема полости выброса на ш. «Юный коммунар» (Донбасс)

Сведений о марке выброшенного угля, его фракционном составе по длине квершлага и его заполненности по сечению выработки, а также о газоносности угольного пропластка и фракционном составе угля, оставшегося в полости, и его плотности нет.

Анализ произошедшего опасного газодинамического явления начнем с подсчета. Количество угля, оставшегося в полости выброса, так как на рис. 1 хорошо видно, что не весь уголь из пропластка вылетел в квершлаг. При определении объема полости будем считать ее цилиндром высотой 0,25 м эллиптического сечения с полуосями соответственно 20-25 и 15 м. Тогда объем полости составит соответственно (235,5–294,4) м³, а масса угля до выброса при плотности $\rho=1,3$ т/м³ оценивается соответственно в (306,2–367,4) т. В то же время в квершлаг оказалось только 135 т или всего соответственно 44 или 37% от массы угля, бывшего в полости до выброса.

Учитывая эти данные и принимая значение метаноносности угля в пропластке, равной 31,8 м³/т среднесуточной добычи шахты, получаем, что в

угле пропластка должно было содержаться, по крайней мере, 9737 м³ метана, и в течение выброса его большая часть должна была выделиться из угля и оказаться в выработке, однако, там зафиксировано только 700 м³ метана.

Этот результат позволяет сделать вывод о том, что в полости перед выбросом 700 м³ метана находились в свободном состоянии в поровом пространстве, а остальной метан из полости до выброса то ли диффундировал, то ли по транспортным каналам за счет фильтрации переместился в окружающий массив. Эту точку зрения подтверждает и расчет метаноносности угля в пропластке, который дает ее значение равное порядка (2-2,3) м³/т, полученное делением 700 м³ метана, выделившегося из полости, на массу угля в ней до выброса. Видно, что эта величина на порядок величины меньше метанообильности шахты равной 31,8 м³/т. Возникает парадоксальная ситуация, при которой метаноносность выброшенного угля меньше, метанообильности шахты в 15 раз, что противоречит всем представлениям о газовыделении метана из угольных пластов.

Следующий вывод касается состояния угля в пропластке до момента выброса. Действительно, из факта нахождения метана в полости в свободном состоянии следует, что в ней уже было сформировано за счет так называемой подготовительной стадии, а значит уголь в полости представлял собой не монолит, а дезинтегрированный на отдельные (блоковые частицы), разделенные транспортными каналами. Такое состояние угля в полости до выброса и позволило выбросить его на значительное расстояние от полости. При этом потенциальная энергия сжатого газа в этом конкретном случае передается выброшенной массе угля и вызывает движение потока блоковых частиц угля различного размера.

Для определения величины исходного значения давления метана в поровом пространстве будущей полости выброса необходимо численно решить систему дифференциальных уравнения газовой динамики для двухскоростного потока газа и частиц угля относительно давления при известных значениях продолжительности процесса, дальности отброса частиц угля, их формы и размеров и др. Но из этих величин достоверной является лишь дальность отброса [1], и поэтому оценим величину давления, используя упрощенный подход.

Суть такого подхода заключается в использовании уравнения Клайперона-Менделеева для описания состояния метана в поровом пространстве полости выброса. Она имеет вид:

$$pV = mRT/\mu \quad (1)$$

где m – масса метана в поровом пространстве λ полости выброса ($\rho=0,71$ кг/м³ – плотность метана, V – объем порового пространства, $R=8,314$ Дж/моль, K – газовая постоянная, $T = 300$ К – температура газа, $\mu = 16$ г/моль – молекулярный вес метана. При этом $V=\lambda V_{\text{пол}}$, где λ – пористость угольного вещества в полости до выброса, а $V_{\text{пол}}$ – объем самой полости, и он, как было подсчитано выше, равен (235,5–294,4) м³, а правая часть уравнения (1) равна $77,5 \cdot 10^6$ Дж.

Свободный газ в полости обладает энергией равной $77,5 \cdot 106 \text{ Дж} = 77,5 \text{ МДж}$. Эта энергия при выбросе реализуется в основном в виде кинетической энергии потока газа и угля (Екин.) Численное значение этой величины сделаем исходя из оценочных значений скорости газоугольного потока, зная, что 135 т выброшенного угля распростирались на 55 м за время 1,5-2 с. Тогда получим, что среднее значение скорости составляет $V = (27,5-36,7) \text{ м/с}$, что вполне соответствует значениям, полученным в работе [2]. Тогда $E_{кин} = m \cdot V^2/2 = 135000 \cdot (27,5-36,7)^2/2 = (51,05-90,9) \text{ МДж}$, а ее среднее значение составит $E_{кинср} = 70,9 \text{ МДж}$, что всего на 6% отличается от ее значения подсчитанного по формуле (1). В той же работе [2] численными расчетами установлено, что такие средние значения скорости газоугольной смеси достигаются при давлении свободного газа в полости выброса равном 0,9-1,2 МПа. Эта оценка давления газа в полости выброса позволяет в свою очередь вычислить и значение свободного фильтрационного объема в полости будущего выброса, которая согласно формуле (1) составит порядка 60 м³, а пористость соответственно составит величину $\lambda=0,2$, что свидетельствует о развитости фильтрационного пространства и дезинтеграции угольного вещества внутри полости на подготовительной стадии на отдельные блоковые частицы различного фракционного состава.

Таким образом, в ходе анализа данных о последствиях внезапного выброса на шахте «Юный коммунар», а также результатов численных расчетов параметров газодинамической стадии внезапного выброса была разработана методика, позволившая не только оценить основные параметры процесса выброса, но и реконструировать состояние полости выброса и газа в ней.

В итоге было установлено, что перед внезапным выбросом угля и газа в пропластке угля уже была сформирована полость выброса объемом 294,4 м³, содержащая 367,4 т разрушенного угля. При этом в поровом пространстве полости находилось 700 м³ свободного метана при давлении 0,9-1,2 МПа, которому удалось при вскрытии пропластка выбросить в квершлаг на расстояние 55 м только 135 т угля из 367,4 т, находившегося в полости.

Список литературы

1. Люев А.И. Об аварии на донецкой шахте «Юнком». // Безопасность труда в промышленности. — 1960. — № 10. — с. 7-9.
2. Бобин В.А. Разработка теоретических основ и методик расчета движения угля и газа при внезапных выбросах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 1980, 16 с.

СОРБЦИОННАЯ ЧАСТИЦА – БАЗОВЫЙ ЭЛЕМЕНТ БЛОКОВОЙ СТРУКТУРЫ УГОЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА

Бобин В.А.

ИПКОН РАН

С точки зрения современной геологии [1,2] угольный пласт, как любая другая геологическая разновидность, представляет собой блоковую среду, находящуюся в предельном по упругой энергии состоянии.

Согласно теории структурной трансформации газонасыщенного угольного вещества базовым элементом блоковой структуры угольного пласта является сорбционная частица (СЧ) – первичный компонент макроструктуры угольного вещества [3].

Оценка размера СЧ по измерению общей внутренней поверхности углей по азоту [4] и по размерами окружающих СЧ транспортных каналов и значениям диффузионных параметров кинетики десорбции [5], показала, что в первом методе размер сорбционных частиц (r) составил $d=2r = (4,1-7,8)$ мкм, а во втором - $R=1-10$ мкм., т.е. в обоих методах численное значение этого параметра макроструктуры не превышает 10 мкм.

Объединение СЧ в макроструктуре угля формирует и другие элементы блочной структуры, которые называются фильтрационно-сорбционными частицами (ФСЧ) различного ранга, которые при разрушении угля идентифицируются как его фракционные частицы. В работе [5] было показано, что их размер $r_{\text{фс}}=10-50$ мкм и совпадает с размером так называемой «бешенной муки» - наименьшей фракции угля отбрасываемого в выработку при внезапном выбросе угля и газа и накапливаемого в тупиковых выработках как невесомый угольный пух, который не смачивается и не тонет.

В отсутствии опасных газодинамических явлений (ГДЯ) блоковая структура угольного пласта плотно упакована, причем в самих блоках метан находится в сорбированном, а между блоками в транспортных каналах в подвижном состоянии [6].

В то же время вопрос о том, каким образом метан попадает в угольный пласт и в каком состоянии он там находится, до сих пор остается дискуссионным.

Существующие гипотезы образования, нахождения и выделения метана как из неразгруженных, так и разрабатываемых угольных пластов не допускают влияния и роли вертикального метано-водородного переноса газов и их энергии из самых земных глубин [7].

Впервые эту идею для сложных геологических сред высказали в 50-х годах 20 века академик Григорий Гамбурцев [8] и член-корреспондент Академии наук СССР Юрий Ризниченко [9], а в начале 80-х годов академик Михаил Садовский [10], и профессор Виктор Николаевский [11], развили эти идеи, дополнив эти представления.

Согласно им конкретно для угольных пластов следует, что неоднородный и непостоянный как в пространстве, так и во времени метано-водородный поток непрерывно изменяет напряженно-деформированное состояние пластов за счет набухания угольного вещества при сорбции им метана, диффундирующего через угольный массив, включая и вмещающие породы типа аргелитов и песчаников.

В результате метано-водородный поток может совершенно непредсказуемым образом изменить состояние угольного вещества в пласте за счет перестройки структуры его порового и фильтрационного пространства,

формирования газовой пористости и изменения физико-механических свойств. При этом формирующееся внутреннее напряженно-деформированное состояние за счет набухания углей может проявляться в ползучести и изменении объема угольного пласта.

Кроме того, при диффузии газов сквозь пласты большая часть метана сорбируется блоковыми сорбционными частицами, а большая часть водорода взаимодействует с их твердой фазой и в целом уменьшает прочность вещества угольного пласта как в теле угольного пласта, так и на контактах с вмещающими породами.

Таким образом, метано-водородный вертикальный поток, генерируемый в недрах Земли и диффундирующий к ее поверхности через угольные пласты, формирует внутреннее состояние угольного пласта, а также определяет его коллекторские свойства [12].

Блоковая структура угольного пласта требует рассматривать его не как исключительно однородный твердый отражающий акустические колебания объем, а как сложную неоднородную колебательную систему.

Исследованиями, проведенными в работе [2], было показано, что сейсмические каналовые проходящие волны дают основную информацию об особенностях геологического строения угольного пласта. При этом установлено, что оба исследованных угольных пласта в зонах изучения представляют собой в акустическом плане колебательные системы с полосой пропускания от 40 до 350 Гц. При этом для пласта Польшаевского значения добротности не превышает значения $Q=6,4$ в диапазоне частот от 80 до 350 Гц, а для пласта Байкаимовского – $Q=8-25$ в диапазоне частот от 40 до 180 Гц.

В дополнение к этому в работе [13] установлено, что реальные значения добротности в зонах тектонической нарушенности, где угольный пласт сильно деформирован и дезинтегрирован могут достигать значений от 50 до 100, и такое возрастание амплитуды естественно чревато внезапными ГДЯ в этих зонах.

Выводы

1. Угольный пласт представляет собой блоковую среду, находящуюся в предельном по упругой энергии состоянии.

2. Базовым элементом блоковой структуры угольного пласта являются сорбционные частицы различного ранга.

3. Угольные пласты в зонах их нарушенности представляют собой в акустическом плане колебательные системы с индивидуальной полосой пропускания и добротностью.

Список литературы

1. Новоселов О.Н., Гуфельд И.Л. Прогнозирование состояния динамической системы по результатам измерений // Измерит. техника. 2015, № 10, С. 11–15.

2. Бобин В.А. Сейсмочастотная характеристика угольного пласта как прогнозный параметр состояния его блокового геологического строения. Инженерная физика, 2020, №6, с.26-32. DOI: 10.25791/infizik.07.2020.1146.

3. Бобин В.А. 18 лекций по теории трансформации природной наноструктурной системы «уголь-метан». М., Библио Глобус, 2019, 100 с.
4. Захаров В.Н., Малинникова О.Н. Исследование структурных особенностей углей выбросоопасных пластов. Записки горного института. СПб – 2014. Т. 210. - С. 43-52.
5. Бобин В.А. Сорбционные процессы в природном угле и его структура. АН СССР, ИПКОН АН СССР. М., 1987, 104 с.
6. Бобин В.А., Ланюк А.Н. Необходимость определения гранулометрического состава ископаемых углей для технологии извлечения угольного метана. ГИАБ, 2006, № S5, с. 364-368.
7. Булат А.Ф. и др. Физико-химическая модель генерации метана угольным пластом. Труды НАУ, 2009, №11, с. 53-58.
8. Гамбурцев Г.А. Избранные труды. Изд. АН СССР, М., 1960, 462 стр.
9. Ризниченко Ю.В., Косминская И.П. О природе слоистости земной коры и верхней мантии // Докл. АН СССР. 1963, Т. 153, № 2, С.323–325.
10. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1987, 100 с.
11. Николаевский В.Н. Земная кора, дилатансия и землетрясения. М.: Мир, 1982, С. 133–215.
12. Грицко Г.И. Внезапны ли внезапные выбросы и взрывы в угольных шахтах? «Наука в Сибири», № 32-33 (2867-2868), 23 августа 2012 г.
13. Гликман А.Г. Об исследованиях угленосной толщи помощью спектрально-акустических измерений или современная угольная геофизика. Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. №6, 2009, с. 25-29.

УДК 622.4

АЭРОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ РАБОТЕ МАШИН С ДВС

Гришин Е.Л.

ГИ УрО РАН

В настоящее время в рудниках ввиду широкого использования техники с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) основной вредностью, выделяющейся в рудничную атмосферу, являются техногенные ядовитые газы, а именно окислы азота и угарный газ. В условиях большого количества источников выделения этих газов они представляют опасность не только непосредственно в рабочих зонах, как местах их образования, но и в пределах добычных участков (подсечных горизонтов). Для рассматриваемых техногенных ядовитых газов в рамках действующей нормативной базы промышленной безопасности имеются следующие вопросы:

- Отсутствие точного состава контролируемых газов. В правилах безопасности [1], а также в нормативных документах, определяющих требования к воздуху рабочей зоны [2,3], нормируется содержание окислов азота NO_x в пересчете на диоксид азота NO_2 . При этом не указывается какие именно

окислы азота необходимо контролировать. Имеющиеся приборы измерения окислов азота NO_x рассчитывают содержание на основе содержания монооксида NO и диоксида азота NO_2 .

- Наличие в нормативной документации двух не связанных ПДК NO_x (в пересчете на NO_2) и непосредственно NO_2 . При этом NO_2 является составной частью NO_x . Это создает путаницу, усложняет оценку условий труда. Кроме того, если руководствоваться исключительно требованиями правил безопасности [1] и измерять только оксиды азота NO_x , например индикаторными трубками, то можно допустить превышение непосредственно диоксида азота.

- Отсутствие ПДК на NO . В нормативных требованиях в настоящее время отсутствует нормирование содержания монооксида азота несмотря на то, что именно монооксид азота NO является основным продуктом выхлопных газов ДВС. Образование же диоксида азота NO_2 происходит в результате химической реакции отработанных выхлопных газов с воздухом в рудничной атмосфере. Таким образом в рабочей зоне находится не условный искусственный NO_x , а вполне конкретные, обладающие каждый своим влиянием на здоровье человека, монооксида NO и диоксида азота NO_2 .

- Отсутствие конкретики в понятии *Оксиды азота NO_x* . Это искусственное понятие, целью которого является учесть процесс перехода оксидов азота из простых в сложные при наличии достаточного количества кислорода. При этом нормирование NO_x производится в пересчете на диоксид азота NO_2 как газ, обладающий наиболее негативным влиянием на здоровье человека. Ввиду нестабильности и обратимости процесса образования сложных оксидов азота из простых является неочевидным какое именно количество NO_2 образуется в результате. Исследования показывают, что в рудничной атмосфере не более 20% выделившегося монооксида азота окисляется до диоксида азота NO_2 , а непосредственно в рабочей зоне – не более 15%.

- Отсутствие методов прямого измерения NO_x ввиду искусственности самого понятия. Приборы по измерению содержания NO_x производят доокисление всего имеющегося монооксида азота до диоксида азота после чего происходит измерение количества всего диоксида азота с учетом его непосредственного содержания. Данный подход справедлив для учета атмосферных выбросов, но совершенно не подходит для расчета вредных факторов рабочей зоны.

- Отсутствие методики расчета суммарных окислов азота NO_x по данным содержания в воздухе монооксида и диоксида азота NO_2 . Вследствие чего прямые измерения содержания монооксида NO и диоксида азота NO_2 в рабочей зоне не позволяют произвести оценку условий труда.

- Размазанные границы рабочей зоны машины с ДВС, что затрудняет оценку условий и труда и обеспечение аэрологической безопасности.

- Отсутствие прозрачного алгоритма расчета требуемого количества воздуха для рабочих зон машин с ДВС, ввиду различного технического

состояния, наложения маршрутов движения как между собой, так и на основные воздухоподающие выработки рудников.

- Сложность определения физических параметров выхлопных газов в производственных условиях, влияющих на аэрологическую безопасность таких, как расход выхлопных газов, их температура. Также в реальных условиях сложновыполнимым является учет зоны диффузионного перемешивания выделяющихся отработанных газов и ее влияния на промышленную безопасность.

- Применение систем разработки с буровзрывным способом отбойки т транспортом машинами с ДВС, при которых организация проветривания подсечного рабочего горизонта затруднена ввиду разветвленности и непостоянства трактов движения воздуха, потребителей воздуха, наличия последовательного проветривания и рециркуляционных контуров на ВМП и вспомогательных вентиляторах.

Вышеописанные аспекты требуют комплексного исследования газовой динамики в рудниках при работе машин с ДВС.

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 8.12.2020 N 505.

2. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

3. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

ВЛИЯНИЕ СОРБЦИОННО-КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УГЛЯ НА СТРУКТУРУ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Гусева И.П.

НИТУ МИСиС, г. Москва

Одним из главных факторов, определяющих природную газоносность угольных пластов, является газовое давление, которое в основном зависит от глубины залегания. Газоёмкость угля определяет количество газа, которое может поглотить уголь, важное значение имеет физико-химическая структура угольного вещества.

Если бы в системе «метан-уголь» имело место лишь заполнение газом трещин и пор всех размером, то суммарный объем поглощенного метана соответствовал бы объему несорбирующегося газа, заполняющего поровое пространство угля при тех же термических и барических условиях [1].

Большую роль в кинетике установления и нарушения равновесия в системе «уголь-метан» играет своеобразие пористой структуры ископаемых углей [2].

При выборе и обосновании технических решений по повышению безопасности одной из основных задач является прогноз метановыделения на угольных шахтах, что требует оперативной и корректной оценки сорбционно-кинетических и фильтрационных свойств угля очистных забоев угольных шахт с дальнейшим использованием полученных значений в расчётах газообильности.

Одним из важнейших параметров, определяющих уровень газовыделения, является проницаемость [3].

Основой для определения проницаемости является закон фильтрации Дарси:

$$v = \frac{Q}{F} = k * \frac{\Delta p}{\mu L} \quad (1)$$

где v - скорость линейной фильтрации;

Q – объёмный расход жидкости в единицу времени;

F – площадь фильтрации;

k – проницаемость, м²;

Δp – перепад давления;

μ – динамическая вязкость жидкости;

L – длина пути фильтрации.

Исходя из уравнения (1) коэффициент проницаемости можно выразить формулой (2)[4]:

$$k = \frac{Q\mu L}{\Delta p F} \quad (2)$$

Величина проницаемости зависит не только от коллекторских характеристик пород, но и от горно-геологических условий залегания, физико-механических характеристик и напряженно-деформированного состояния, изменяясь в очень широких пределах [5]. Например, проницаемость углей, измеренная специалистами Австралии, колеблется на шесть порядков и составляет от нескольких микродарси до нескольких Дарси. Этот диапазон во многом зависит от частоты, взаимосвязи и открытости сети трещин. В случае снижения проницаемости ухудшаются условия фильтрации флюидов из угольного пласта и, соответственно снижается газовыделение [6].

Исследования сорбционно-кинетических параметров, которые наряду с проницаемостью определяют интенсивность газовыделения (точнее его динамику) в угле и процессов его массопереноса дают физическую основу для обоснования допустимой нагрузки на очистные забои по фактору газа, и усовершенствования методов воздействия на угольный массив с целью повышения эффективности дегазации [7].

Абсолютная проницаемость горных пород, как правило, зависит от характера (структуры) пористости, т.е. коллекторских характеристик,

физико-механических свойств и НДС, при прохождении жидкостей по породе, проницаемость зависит также от физико-химических свойств жидкостей.

При определении проницаемости кернов существуют проблемы интерпретации лабораторных результатов, это происходит из-за значительного разброса, а также в результате значительного изменения свойств керна после его извлечения [8].

Заключение

Угольный пласт необходимо рассматривать как трехкомпонентную систему «уголь-метан-вода», по абсорбционным и кинетическим свойствам, которые могут существенно отличаться от свойств системы «уголь-метан». Наличие метана и воды в поровом пространстве угля изменяет его газодинамическую активность.

Определено, что для корректной оценки уровня газовыделения необходимо учитывать сорбционно-кинетических параметров угля, зольности, влажности и температуры угля. Это поможет повысить точность определения газовыделения и вмещающих горных пород на горном предприятии.

Нет единой точки зрения о возможности достаточно точного определения сорбционно-кинетических параметров. Поэтому уточнение данного вопроса имеет важное значение.

Существующие методы определения сорбционно-кинетических и фильтрационных свойств угольного пласта во многом не отвечают требованиям практики. Основными методами исследования сорбционных свойств углей являются лабораторные методы, предполагающие извлечение проб угля из массы, с вытекающими отсюда недостатками, например нарушением проб угля и др., а натуральных методов определения желаемых свойств практически нет. Существует необходимость совершенствования лабораторных методов определения сорбционных свойств углей, а также разработки новых методов определения этих свойств.

Список литературы

1. Эттингер И.Л. Газоемкость ископаемых углей — М.: Издательство «Недра», — 1966. —223 с.
2. Эттингер И.Л., Шульман Н.В. Распределение метана в порах ископаемых углей— М.: Издательство «Наука», — 1975. —111 с.
3. Бжицких Т.Г. Определение физических и фильтрационно-емкостных свойств горных пород// Бжицких Т.Г., Санду С.Ф., Пулькина Н.Э. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 90 с.
4. Кузнецов С.В., Кригман Р.Н. Природная проницаемость угольных пластов и методы ее определения/ М.: Наука, 1978. – 122 с.
5. Ian Gray. Mining Gassy Coals// 2012 Coal Operators' Conference The University of Wollongong. pp. 250 – 260.
6. Подильчук Ю.Н. К теории деформирования газонасыщенных пористых сред// Прикладная механика, 1976. – №12. – С.42–47.

7. Слостунов С.В., Каркашадзе Г.Г., Коликов К.С., Ермак Г.П. Методика расчета допустимой нагрузки на очистной угольный забой по газовому фактору // ФТПРПИ. 2013. - №6, С.53-59.

8. Назаров Л.А., Назарова Л.А. Определение фильтрационных свойств и напряжений в угольном пласте на основе решения обратной задачи // ФТПРПИ, 2000. – №2. С. 15-22.

УДК 622.831

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ НАДРАБОТКИ ВЫБРОСООПАСНЫХ ПЛАСТОВ

Денисенко В. П.¹, Абакумова Е.В.²

¹ ГОУ ВО ЛНР «Донбасский государственный технический институт»,
²ООО «АКРИМА-ФЕНИКС»

Работа посвящена обоснованию и разработке способа определения эффективности защитного действия опережающей надработки выбросоопасных угольных пластов.

Внезапные выбросы угля, породы и газа метана в угольных шахтах являются природно-техногенными факторами разработки угольных пластов, которые представляют серьезную опасность функционированию производственных объектов. Исследование закономерностей дегазации угольных пластов в зоне влияния очистной выемки под действием влияющих факторов, обоснование и разработка способа определения эффективности защитного действия с учетом газодинамических характеристик угольных пластов является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит в производственных условиях оперативно определять участки пласта с различной степенью защиты.

Работа выполнялась по результатам исследований, проведенных в Донецком бассейне для условий ГП ДНР «Шахта Комсомолец Донбасса». Важным звеном в решении проблемы борьбы с выбросами является надежное определение дальности и степени защищенности надрабатываемого пласта ℓ_3 в изменяющихся условиях ведения горных работ. Нормативный способ [1], согласно которому расчетным путем определялась степень разгрузки пласта от горного давления, на практике не дает должного результата [2].

Защитное действие опережающей надработки сближенных пластов заключается в разгрузке пород междупластовой толщи от горного давления за счет деформирования, то есть поднятия слоев пород с образованием техногенных трещин и естественной дегазации подзащитного пласта ℓ_3 . Степень защиты пласта от выбросов определяется размерами зоны разгрузки от горного давления (В.П. Коптиков, В.П. Евдокимова [3]) и радиусом газового дренирования в почву защитного пласта ℓ_4 . (предложено А.Т. Айруни [4]). Эти процессы взаимосвязаны.

Цель работы – исследование и обоснование способа определения эффективности защитного действия опережающей надрабтки выбросоопасного пласта ℓ_3 для повышения уровня промышленной безопасности.

Идея работы состоит в использовании газодинамических характеристик пластов для установления влияния защитного действия опережающей надрабтки пл. ℓ_3 .

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

– определить и сравнить расчетную (прогнозную) метанообильность выемочных участков защитного и подзащитного пластов с фактической в различных условиях разработки;

– установить факторы, влияющие на дальность и степень эффективности защитного действия опережающей надрабтки;

– обосновать способ определения эффективности защитного действия опережающей надрабтки пл. ℓ_3 с учетом динамики выделения метана в горные выработки выемочного участка.

Результаты исследования показали, что на дальность и степень защиты влияют такие факторы разработки как: тектоническая нарушенность междупластья, литологический состав и структура междупластья, водонасыщенность пород.

Метаноносность пласта является одним из основных факторов, влияющих на выбросоопасность [5]. Надежное определение величины остаточной метаноносности позволяет установить степень дегазации и, соответственно, степень эффективности защищенности пласта от внезапных выбросов угля и газа метана. Определение защитного действия опережающей надрабтки выбросоопасного угольного пласта ℓ_3 согласно предложенному способу выполнялось в следующем порядке.

1. На первом этапе, при разработке защитного угольного пласта ℓ_4 , который в условиях шахты отрабатывается с опережением подзащитного пласта ℓ_3 на 2-3 выемочных столба, после момента первичной осадки основной кровли производят определение фактической метанообильности горных выработок выемочного участка с учетом расхода метана, каптируемого подземной системой дегазации участка [$I_{\phi}(\ell_4)$, м³/мин.]. Величину фактической метанообильности определяют как среднюю, не менее чем за три месяца стабильной работы лавы, то есть с плановой нагрузкой по добыче угля, по

$$I_{\phi}(\ell_4) = I_{\text{уч.}\phi} + 0.835 \cdot I_{\text{д.с.}}, \text{ м}^3/\text{мин.}, \quad (1)$$

где $I_{\text{уч.}\phi}$ – средний расход метана в исходящей струе выемочного участка, м³/мин.; $I_{\text{д.с.}}$ – средний расход метана, каптируемого подземной системой дегазации участка, м³/мин.

На основании исходных горно-геологических и технологических данных, характеризующих отрабатываемый участок выемочного столба, с использованием программного комплекса рассчитывают: прогнозную метанообильность горных выработок $I_p(\ell_4)$; метановыделение из пластов-спутников, расположенных

на интервале зоны газового дренирования в кровле и почве; остаточную метаноносность пластов-спутников после их под- или надработки.

В зависимости от величины отклонения прогнозной величины метанообильности горных выработок от фактической, определяемого по формуле

$$\Delta I = I_p(l_4) - I_\phi(l_4), \text{ м}^3/\text{мин}. \quad (2)$$

определяют размеры защищенной зоны в почву подзащитного пласта по фактору дегазации согласно методике.

$$I_p(l_4) = I_\phi(l_4), \text{ м}^3/\text{мин}; \quad I_p(l_3) = I_\phi(l_3), \text{ м}^3/\text{мин}. \quad (3)$$

размер защищенной зоны по нормали к напластованию в почву пласта l_4 , при надработке пласта l_3 , определяется по формуле

$$M_n = k_a \cdot M_p, \text{ м}, \quad (4)$$

где k_a – коэффициент, учитывающий влияние ширины выработанного пространства (длины лавы) на образование свода разгрузки, д. ед.; M_p – размер зоны газового дренирования по нормали к напластованию в почву пласта l_4 при тонкослоевой структуре междупластовой толщи пород, м. $M_p = 60$ м.

$$k_a = 1 - \frac{250 - a}{25} \cdot 0,03 \quad (5)$$

При безнишевой охране выемочных выработок защитного пласта l_4 следует принимать: $a = l_{oc}$, в случае $k_a > 1$ – значение $k_a = 1$.

Показателем защитного действия является величина остаточной метаноносности надработанного (подзащитного) пласта l_3 , для определения степени эффективности защиты, которая определяется по формуле

$$x_{oz}^1 = x_{oz} + (x_2 - x_{oz}) \frac{h_m}{M_n}, \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}, \quad (6)$$

где x_{oz} – остаточная метаноносность угля, выданного за пределы выемочного участка, $\text{м}^3/\text{т с.б.м.}$. Принимается согласно [2]; x_2 – исходная природная метаноносность угольного пласта до его надработки, $\text{м}^3/\text{т с.б.м.}$; h_m – мощность междупластовой толщи, м.

Степень эффективности защитного действия надрабатываемого пласта оценивают путем сравнения величины рассчитанной остаточной метаноносности надрабатываемого пласта l_3 (x_{oz} , $\text{м}^3/\text{т с.б.м.}$) с величиной критической метаноносности, которая для условий ГП «Шахта Комсомолец Донбасса» составляет $15 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$ Границы участков (с указанием пикетов) с различной степенью защитного действия в плоскости пласта l_4 устанавливают по мере отработки выемочного столба.

На втором этапе в процессе разработки надработанного пласта l_3 определяют метановыделение в горные выработки фактическое и расчетное,

окончательно уточняют степень эффективности защитного действия опережающей наработки.

В организационном плане в рамках технической службы прогноза выбросоопасности создается и функционирует автоматизированная система регионального текущего прогноза определения защитного действия опережающей наработки выбросоопасного угольного пласта.

Научная новизна полученных результатов. 1. Обосновано использование показателя газоистощения надработанного массива – интенсивности выделения газа метана в выработки выемочных участков защитного и надработанного пластов для установления защитного действия опережающей наработки выбросоопасных угольных пластов. 2. Установлено, что слои плотных алевролитов и мелкозернистых песчаников мощностью более 9,0 м с коэффициентом крепости по шкале М.М. Протодяконова 7-8 и выше проявляют газокранирующие свойства и препятствуют дегазации надработанного пласта. На участках с интенсивной малоамплитудной нарушенностью межпластовой толщи пород эффект «литологического экрана» исчезает. 3. Впервые предложено в качестве критерия степени защиты выбросоопасного пласта использовать величину остаточной метаноносности пласта после его наработки, которая надежно определяется непосредственно в процессе ведения очистных работ.

Научное значение — развитие теории защитного действия опережающей наработки выбросоопасных угольных пластов. Разработана математическая модель, характеризующая связь между влияющими факторами и степенью дегазации угольных пластов в зоне влияния очистной выемки.

Практическое значение работы заключается в обосновании способа установления эффективности защитного действия, который по сравнению с нормативным (ныне действующим) позволяет: повысить надежность определения степени защитной наработки; осуществлять текущий контроль защищенности посредством использования данных о динамике метанообильности горных выработок выемочных участков, которая постоянно контролируется на шахтах системой аэрогазового контроля; оперативно выявлять границы участков разрабатываемого угольного пласта с различной степенью защиты в процессе разработки.

Список литературы

1. Денисенко В.П. Совершенствование методики прогнозирования метанообильности очистных выработок в условиях глубоких горизонтов шахт (на примере Северо-Западного Донбасса) /В. П. Денисенко // сб. научн. трудов ДГМИ. – Алчевск, 2001. – С. 100-115.
2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт./ С.В. Янко, С.П. Ткачук, Л.Ф. Баженова. – К.: Основа, 1994. – 312 с.
3. Коптиков В.П. Статистический способ определения эффективности защитного действия опережающей разработки пластов / В.П. Коптиков, В.П. Евдокимова, И.А. Южанин // Уголь Украины. – 2007. – № 2. – С. 12-15.

4. Айруни А.Т. Газообильность каменноугольных шахт СССР. Комплексное освоение газоносных угольных месторождений /А.Т. Айруни, Р.А. Галазов, И.В. Сергеев. – М.: Наука, 1990. – 200 с.

5. Денисенко В.П. Установление размеров зоны газового дренирования в надработанном массиве с учетом литологического состава пород / В.П. Денисенко//Сб. научн. трудов ДонГТУ. – Алчевск, 2008. – Вып. № 27. – С. 57-68.

ПОДБОР ВВОДНЫХ ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ОЦЕНКЕ СКЛОННОСТИ УГЛЕЙ К САМОВОЗГОРАНИЮ

Докучаева А.И., Малинникова О.Н., Долгова М.О.

ИПКОН РАН

Среди множества методов оценки склонности ископаемых углей к самовозгоранию, наибольшую популярность приобрели тепловые методы, основанные на определении температуры начала быстрого разогрева либо воспламенения углей. В России и странах СНГ склонность углей к самовозгоранию, в соответствии с нормативной методикой, оценивают по их химической активности по поглощению кислорода, по величине константы скорости сорбции кислорода углями (U , см³/г·ч). Расчеты химической активности углей по Методике [1] довольно трудоемкие, затратные по времени и не всегда достоверные.

В последнее время большое внимание уделяется методу термогравиметрического анализа (ТГА), позволяющему фиксировать изменение массы угля во времени при изменении его температуры и оценить механизм самонагревания исследуемых образцов углей. По полученным термограммам можно определить температуры, при которых регистрируются основные процессы, происходящие при трансформации угольного вещества, а также изменение массы угля в любой момент времени, что может быть применено в расчетах химической активности углей.

Применение ТГА в качестве самостоятельного метода при определении склонности углей к самовозгоранию осложняется отсутствием экспериментальных установленных критериев для исследуемых процессов, поскольку основные параметры этих процессов существенно зависят от вводных условий проведения эксперимента: скорости нагрева камеры, фракции и начальной массы исследуемого угля, вида и скорости подачи газа в камеру анализатора.

Нами исследовались склонные и не склонные к самовозгоранию каменные угли Печерского месторождения со схожими техническими показателями (влаги, выход летучих, зольность) [2] на термогравиметре Leco TGA-701. Определялись зависимость показателя максимального прироста массы образцов M , предположительно отвечающего за сорбцию кислорода, от скорости нагрева прибора соответственно 3, 5 и 10°С в минуту и характерные температуры: $T_{\text{нач}}$ - температура начала реакции прироста массы и T_M – температура,

соответствующая точке максимального прироста массы на термогравиметрической кривой. Нагрев проводился до 1000°C с доступом кислорода.

В таблице 1 представлены экспериментально полученные температуры $T_{нач}$ и T_M , определенные по ТГ-кривым, и рассчитанная величина максимального прироста массы (M) для трех выбранных скоростей нагревания образцов угля.

Таблица 1

Количественная оценка параметров поглощения углями кислорода при нагревании их с доступом воздуха

№	3°C/мин			5°C/мин			10°C/мин		
	$T_{нач}, °C$	$T_M, °C$	$M, \%$	$T_{нач}, °C$	$T_M, °C$	$M, \%$	$T_{нач}, °C$	$T_M, °C$	$M, \%$
1	180	267	0.60	192	256	0.19	202	257	0.04
2	176	269	0.63	194	241	0.18	206	261	0.01
3	183	277	0.58	212	260	0.23	210	238	0.02
4	149	219	0.87	167	245	0.74	191	247	0.34
5	139	209	0.92	169	232	0.34	168	251	0.37
6	147	216	0.83	155	234	0.46	164	275	0.40
7	145	267	1.52	157	269	0.96	168	252	0.45

Наилучшее разделение образцов склонного к самовозгоранию угля (№ 4-6) и не склонного (№ 1-3) было установлено при скорости нагрева 3°C/мин. На стадии низкотемпературного окисления образцы угля № 1-3 поглощают кислорода около 0.6%, а склонные к самовозгоранию образцы № 4-6 – до 1%. Образец №7 показал наибольшую активность, увеличив свою массу больше чем на 1.5% за счет поглощения кислорода. При скорости нагрева 5°C/мин также видны различия в поведении склонных и не склонных к самовозгоранию образцов углей. По-прежнему, прирост массы образцами 1-3 колеблется в районе одной точки и не превышает 0.3%. Образцы склонного к самовозгоранию угля демонстрируют разброс в приросте массы до 1%. При скорости нагрева 10°C/мин значения прироста массы образцов 1-3 близки к нулю, а образцов 4-7 колеблются около 0.4-0.5%. Но учитывая то, что скорость нагрева 10°C/мин не позволила на ТГ-кривых точно вычислить искомые температуры ($T_{нач}$ и T_M), результаты нельзя считать достоверными. Образец №7 демонстрирует наибольший прирост массы при скоростях нагрева 3 и 5°C/мин. Температуры $T_{нач}$ и T_M также различны у образцов углей склонных и не склонных к самовозгоранию. Реакция сорбции кислорода образцами 4-7 начинается при более низких температурах, что отчетливо представлено при скоростях нагрева 3 и 5°C/мин (таблица 1). При этом чем медленнее скорость нагревания камеры термогравиметра, тем существеннее разрыв между характерными температурами образцов склонных и не склонных к самовозгоранию углей, что позволяет сформировать критерии для разделения углей по склонности к самовозгоранию методом ТГА. При выборе скорости нагрева камеры анализатора для изучения склонности углей к самовозгоранию методом ТГА немаловажным является время, затрачиваемое на

проведение испытания. Эксперимент показал, что оптимальной является скорость нагрева 5°С/мин.

Выводы.

1. Увеличение массы в диапазоне температур 190-250°С присутствует на всех термограммах при скоростях нагрева камеры анализатора 3, 5 и 10 °С/мин.

2. Максимальная сорбция кислорода без сгорания образца (при температурах до 300°С), характеризующаяся величиной максимального прироста массы M , может служить одним из оснований оценки химической активности образцов (при температурах, превышающих 100°С).

3. Наибольшие значения сорбированного кислорода при рассматриваемых скоростях нагрева 3, 5, 10°С/мин демонстрируют образцы склонного к самовозгоранию угля, что свидетельствует о возможности применения метода ТГА при оценке химической активности углей при определении их склонности к самовозгоранию.

4. При изучении механизма самонагревания угля методом ТГА в качестве вводного параметра скорости нагрева рекомендуется использовать величину 5°С/мин.

Список литературы

1. Методика оценки склонности шахтопластов угля к самовозгоранию. Введена приказом Минтопэнерго РФ от 29 апреля 1998 г. № 151. М., 1998.

2. Докучаева А.И., Пашичев Б.Н., Долгова М.О. Особенности углей, склонных к самовозгоранию / Инновационные процессы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения – 2020) — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2020. — с. 260.

УДК 622.2

РЕСУРСЫ УГОЛЬНОГО МЕТАНА

Забурдяев В.С., Харченко А.В.

ИПКОН РАН

В России прогнозные ресурсы угольного метана на сегодняшний день превышают ресурсы сланцевого газа и по разным оценкам достигают 83 трлн. м³ [1,2]. Принимая во внимание, что подсчёт ресурсов метана угольных пластов производится для пластов с природной газоносностью свыше 10 м³/ т с.б.м., горнотехнические ресурсы метана на 16 шахтах Кузнецкого бассейна оцениваются в 30 млрд м³ [3, 4].

Однако эти объемы метана практически извлечь невозможно, поскольку коэффициенты извлечения метана на шахтах Воркуты с применением средств дегазации составляют 0,15-0,62 (возможные 0,3-0,62), а на шахтах Кузбасса – от 0,1 до 0,8 (возможные – 0,3-0,8).

Отсутствие достоверных данных о ресурсах метана может привести к затруднениям и даже ошибкам при составлении проектов с целью извлечения и

использования угольного метана. Поэтому необходимо знать объемы и время обильного выделения метана в угольных шахтах и его эффективного улавливания через дегазационные скважины, а также содержание метана в каптируемых различными способами газозвоздушных смесях с тем, чтобы выбирать наиболее подходящие способы утилизации метана, как для отдельных шахт, так и в угольных регионах России.

Метан, содержащийся в угольных пластах, извлечь и использовать в объеме геологических запасов не представляется возможным, так как он находится преимущественно в сорбированном состоянии и может быть извлечен, главным образом, в процессе разгрузки угольных пластов и углевмещающих пород от горного давления, когда создаются благоприятные условия для десорбции и истечения газов. Такие условия формируются во время разработки угольных месторождений подземным способом и при опережающем обустройстве массива скважинами [5].

Потенциально возможные для извлечения и использования объемы шахтного метана содержатся в угольных пластах и метаноносных породах в зоне разгрузочного влияния выемочных участков, то есть в контурах разгрузочного действия горных работ и интенсивного метановыделения. При существующих технологиях добычи угля и извлечения шахтного метана в горные выработки и дегазационные скважины выделяется только часть этого объема. Значительная его доля остается в сорбированном состоянии в частично подрабатываемых и надрабатываемых угольных пластах и пропластках, а также в свободном состоянии в выработанных пространствах, полостях и трещинах, формируемых в процессе ведения горных работ и разгрузки угленосного массива. Кроме того, небольшие количества метана, заключенного в разрабатываемых угольных пластах, выдаются на дневную поверхность в добытом угле и остаются в шахтах в потерянном угле.

При существующих технологиях добычи угля, схемах проветривания горных выработок и дегазации углевмещающих толщ потери метана от потенциально возможного его выделения в шахтах составляют в различных условиях в среднем 15-30%, а потери метана как топлива в случаях его неиспользования достигают на большинстве шахт Кузбасса 90-100% и только на шахтах Воркуты с дегазацией – до 75-80%.

Ресурсы метана, рассчитанные на основе метода прогноза метанообильности участков по метаноносности разрабатываемых угольных пластов и долевого их участию в газовом балансе шахты и определенные по ретроспективному методу, основанному на анализе фактических данных о добыче угля и объемах выделившегося из шахт метана, сопоставимы между собой, но на порядок меньше объемов метана, содержащегося в угленосных отложениях. Результаты этих исследований привели к выводу, что объемы метана, выделяющегося в горные выработки и дегазационные скважины, – это реально доступные ресурсы, на которые можно ориентироваться при составлении проектов на добычу и использование шахтного метана, прежде всего метана дегазации [3].

Используя фактические данные об абсолютном метановыделении I ($\text{м}^3/\text{мин}$) на угольной шахте и среднесуточной добыче угля A ($\text{т}/\text{сут}$) в течение года, относительная метанообильность шахты $q_{\text{ш}}$ ($\text{м}^3/\text{т}$) определяется по формуле [3]

$$q_{\text{ш}} = \frac{1440I}{A}, \quad (1)$$

а ресурсы метана $R_{\text{м}}$ (м^3)

$$R_{\text{м}} = K \cdot q_{\text{ш}} \cdot Z, \quad (2)$$

где K – коэффициент извлечения промышленных запасов угля;

Z – запасы угля, т.

Величина коэффициента K зависит от условий залегания и системы разработки угольных пластов и численно изменяется в пределах 0,7-0,9.

Прогноз ресурсов метана на действующих шахтных полях основных угольных бассейнов России выполнен с учетом данных о промышленных запасах углей и достигнутых показателей угледобычи применительно к перспективным шахтам при существующих технологиях разработки угольных пластов и извлечения шахтного метана.

Для научного обоснования технологически доступных ресурсов угольно-го метана, выделяющегося в процессе подземной разработки газоносных пластов угля, были проанализированы ежегодные данные по установлению категории шахт по метану. Исходные данные по производственной проектной мощности шахт, промышленным запасам углей, прогнозируемым срокам работы шахт, газоносности пластов угля и метанообильности перспективных шахт Воркуты и Кузбасса позволили установить средние в течение года расходы метана, извлекаемого дегазационными установками с применением вакуумных насосов (шахты Воркутского месторождения), и извлекаемые на шахтах Кузбасса газоотсасывающими вентиляторными установками совместно с дегазационными.

С учетом численных величин коэффициентов извлечения шахтного метана, установленных для 20 метанообильных шахт Воркуты и Кузбасса с учетом промышленных запасов угля и среднего значения газоносности пластов, определены ресурсы метана в углях, а также доступные для извлечения объемы метана в целом на шахтных полях и средние величины в течение года [6].

Проведенные исследования показали, что основными и наиболее освоенными являются месторождения Кузбасса и Воркуты. Высокая газоносность здесь определяется незначительной глубиной залегания поверхности зоны метановых газов и высокий сорбционный потенциал углей.

Список литературы

1. Пармузин П.Н. Зарубежный и отечественный опыт освоения ресурсов метана угольных пластов. – Ухта: УГТУ, 2017. –109 с.

2. Шахтный метан в России //Информационная статья. International Energy Agency, 2010. – 73 с.

3. Метан в шахтах и рудниках России: прогноз, извлечение и использование / А.Д.Рубан, В.С.Забурдяев, Г.С.Забурдяев и др. – М.: ИПКОН РАН, 2006. – 312 с.

4. Оценка ресурсов и объемов извлечения метана при подземной разработке угольных месторождений России /А.Д.Рубан, В.С.Забурдяев и Г.С.Забурдяев. – М.: ИПКОН РАН, 2005. – 152 с.

5. Забурдяев В.С. Зарубежный опыт промысловой добычи угольного метана и ее перспективы в Кузнецком бассейне //Уголь, 2003. - №2. – С. 21-24.

6. Харченко А.В., Забурдяев В.С. Метанообильность шахт и категории их опасности по метану //Материалы XXVI Международной школы имени академика С.А.Христиановича. – Симферополь, 2016. – С. 201-204.

УДК 622.831.322:63

АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ РАСЧЕТА ПРИРОДНОЙ ГАЗОНОСНОСТИ УГЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО МАРОЧНОГО СОСТАВА

Камбурова Л.А.¹, Радченко А.Г.¹, Киселев Н.Н.¹, Радченко А.А.²

¹ РАНИМИ, г. Донецк, ДНР, ² ООО «Лемакс», г. Таганрог

В статье приведены формулы расчета природной газоносности углей различного марочного состава для случаев, когда отсутствуют данные геолого-разведочных скважин о газоносности по данному участку шахтопласта.

В настоящее время ПАО ш/у «Покровское» обрабатывает одиночный угольный пласт d_4 , который на площади шахтного поля относительно выдержанный, характеризуется мощностью $m = 0,60 \text{ м} - 2,50 \text{ м}$, углы падения составляют $\alpha=3-8^\circ$, природная газоносность $X_{\text{пр}}=6,1\div 25,0 \text{ м}^3/\text{т}$. с. б. м. Весовой выход летучих $V^{\text{daf}}=25-35\%$, зольность угля $A_1^{\text{d}}=4,5-15,5\%$, содержание серы $S_1^{\text{d}} = 0,9-1,6\%$; удельный вес $\gamma = 1,3 \text{ т/м}^3$; содержание влаги $W^{\text{a}}=3-7\%$; марки углей – Ж, К, ОС.

Наиболее значимыми тектоническими нарушениями на площади шахтного поля являются: Криворожско-Павловский сброс, серия Удачнинских надвигов и Котлинский надвиг, которые разделяют шахтное поле на разные блоки. Амплитуда Котлинского надвига изменяется как по простиранию, так и по падению пласта, вертикальная амплитуда смещения пород достигает $A=100 \text{ м}$ на верхних горизонтах ($H_1=150 \text{ м}$), при ширине зоны дробления пород до $80-85 \text{ м}$. На нижних горизонтах ($H_2=750 \text{ м}$) амплитуда надвига составляет $A=45-50 \text{ м}$ при ширине зоны дробления $45-75 \text{ м}$. Зона нарушенных пород на участке Котлинского надвига представлена интенсивно трещиноватыми породами с углами падения $\beta=10^\circ-70^\circ$. В блоке №10 в висячем крыле надвига изменяются абсолютные отметки залегания угольного пласта d_4 , выход летучих веществ - V^{daf} и газоносность - $X_{\text{пр}}$.

Целями настоящей работы являются: 1) определение значения природной газоносности - $X_{\text{пр}}$ пласта d_4 в блоке № 10 в зоне влияния Котлинского надвига; 2) анализ факторов, влияющих на абсолютные значения газоносности $X_{\text{пр}}$.

В блоке № 10 вдоль линии простириания надвига была построена параллельно ей профильная линия имеющихся геологоразведочных скважин: №№ 3760, 4067, 4041, 2766, 4039, 4233, 4053, 3685, 3892, 3847, 3846, 2844 и 4256, которые расположены в зоне влияния надвига на расстоянии $R=100-200$ м от него. Анализ данных показал, что по скважине № 4039 в центральной части профильной линии получены максимальные значения $V^{daf}=35,1\%$. Данные о природной газоносности - $X_{\text{пр}}$ пласта d_4 по указанной линии скважин отсутствуют. Рассчитаем значения $X_{\text{пр}}$ для скважины № 4039. Согласно работе [1] значения $X_{\text{пр}}$ можно определить по формулам:

а) для углей с $V^{daf} > 21\%$:

$$X_{\text{пр}} = \frac{(0,000359 t^2 - At + B)p}{1 + (C - 0,0022t)p} \cdot \left(\frac{100 - A^c W^a}{100} \right) + \frac{p(d-s)}{K_t ds}; \quad (1)$$

б) для углей с $V^{daf} < 21\%$:

$$X_{\text{пр}} = \frac{(0,000443 t^2 - At + B)p}{1 + (C - 0,0027t)p} \cdot \left(\frac{100 - A^c W^a}{100} \right) + \frac{p(d-s)}{K_t ds}. \quad (2)$$

где: t - температура газа в угольном пласте на глубине, для которой определяется $X_{\text{пр}}$, °С; A, B, C - коэффициенты, зависящие от V^{daf} , их значения приведены в работе [1]; p - давление газа в угольном пласте, ат;

A^c, W^a - содержание золы и влаги в пласте, %; d, s - истинный и кажущийся удельный вес угля, $\text{т} / \text{м}^3$; K_t - коэффициент сжатия метана. Температура газа t определяется по формуле:

$$t = t_{\text{cp}} + \frac{H - H_n}{d_t}, \quad \text{°С} \quad (3)$$

где: t_{cp} - среднегодовая температура на поверхности земли, для Донбасса $t_{\text{cp}}=+8^\circ\text{С}$; H - глубина разработки, $H=750$ м; H_n - глубина залегания зоны постоянных температур, для Донбасса $H_n=30$ м; d_t - геотермическая ступень, для Донбасса $d_t = 33 \text{ м} / ^\circ\text{С}$. Давление газа в угольном пласте p определяется по формуле:

$$p = p_o + \frac{H - H_o}{d_p}, \text{ ат} \quad (4)$$

где: p_o - давление газа в угольном пласте на глубине верхней границы метановой зоны, $p_o=2$ ат; H_o - глубина залегания верхней границы метановой зоны, $H_o = 300$ м; d_p - ступень газового давления, $d_p=10 \text{ м} / \text{ат}$.

Истинный удельный вес угля определяется по формуле:

$$d = \frac{V^r}{0,778V^r - 0,665} + 0,01 A^c, \text{ Т/м}^3;$$

Кажущийся удельный вес угля определяется для углей с содержанием золы до 20% по формуле:

$$s = \frac{1,53}{(V^r)^{0,06}} + 0,01 A^c, \text{ Т/м}^3;$$

Определим значение X_{np} по скважине № 4039 при $V^{daf} = 35,1\%$ подставив необходимые данные в формулу (1).

$$X_{np} = \frac{(0,000359 * 30^2 - 0,0823 * 30 + 4,612)47}{1 + (0,2079 - 0,0022 * 30)47} \cdot \left(\frac{100 - 10 * 5}{100} \right) + \frac{47(1,42 - 133)}{1,02 * 1,42 * 1,33} = 9,8 \text{ м}^3 / \text{т.с.б.м}$$

Выводы. Анализ литературы [1, 2, 3] показал, что газотермодинамические параметры угольных пластов (X_{np} , t , p) на текущем уровне зависят от региональных параметров (H , V^{daf}) и неразрывно с ними взаимосвязаны. С ростом глубины ведения горных работ растут значения температуры угольных пластов, давления газов и температура газов. При совместном росте значений глубины залегания пластов и степени метаморфизма углей возрастают значения X_{np} . Теоретическое обоснование необходимости развития нового перспективного направления – геомеханическая газотермодинамика выбросоопасных угольных пластов приведено в работе [3].

Список литературы

1. Михайлов В.И. Определение ожидаемой метанообильности шахт Донбасса [Текст] / В.И. Михайлов, Д.В. Кузьмин // В кн.: Вопросы безопасности в угольных шахтах. Труды МакНИИ, том XVIII. Под общ. редак. к.т.н. В.Л. Божко. М.: Недра, 1968, С. 59–70.
2. Радченко А.Г. Новые модели формирования выбросоопасных зон в угольных пластах на региональном и текущем уровнях [Текст] / А.Г. Радченко, Н.Н. Киселев, С.М. Федотов, Т.А. Решетняк, А.А. Радченко // Журнал теоретической и прикладной механики. – Донецк, ДонНУ, 2021. – № 3 (76). С. 53–68.
3. Анциферов А.В. Анализ условий формирования и проявления внезапных выбросов угля и газа на региональном и текущем уровнях [Текст] / А.В. Анциферов, Н.Н. Киселев, А.Г. Радченко, С.М. Федотов, А.А. Радченко // Проблемы горного давления. – Донецк: ДонНТУ. – 2021. – № 1-2 (40-41). – С. 65–88.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕСТНЫХ И ЛОБОВЫХ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ НА ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ

Кобылкин С.С.¹, Кузнецов И.И.¹, Федоров Д.А.², Кобылкин А.С.³

¹ГИ НИТУ «МИСиС», ²ФГУП «ВГСЧ», ³ИПКОН РАН

В настоящее время вопросы проветривания горных выработок угольных шахт и рудников выходят на первый план в связи с крупными авариями (например, взрывы на шахтах «Северная» и «Листвяжная»). При проектировании и эксплуатации горных предприятий учет местных и лобовых аэродинамических сопротивлений осложняется отсутствием соответствующих коэффициентов. При этом местным сопротивлениям в настоящее время уделяется внимание только для рудников [1-3]. Как показал проведенный анализ литературы для угольных шахт современные исследования по определению коэффициентов местного и лобового аэродинамического сопротивления давно не проводились. Однако вопросами обеспечения надежности шахтных вентиляционных сетей, тактическим правилам по устранению отказов в них где учитываются сопротивления занимаются в Горном институте НИТУ «МИСиС» [4, 5]. Исследования по влиянию местных сопротивлений воздухопроводов при проветривании тупиковых горных выработок [6] показали, что этот вид сопротивления может достигать до 50% от общего аэродинамического сопротивления. Лобовым сопротивлениям практически не занимаются ни в России, ни за рубежом. Отдельно есть работы по учету лобовых сопротивлений в стволах при нахождении в них клетки (скипа).

В данной работе были проведены исследования для условий шахты Анжерская-Южная. По составленной аэродинамической схеме были рассчитаны величины местных сопротивлений для нормального и аварийного режима проветривания. На данной шахте применяется совместная работа трех главных вентиляторных установок. По имеющимся сведениям, по рабочей характеристике шахтной вентиляционной сети и по аэродинамической характеристике вентилятора были определены расчётные значения общешахтного аэродинамического сопротивления. При этом местные сопротивления учтены коэффициентом запаса (10% от сопротивления трения). Расчёт отдельно всех местных сопротивлений по существующим методикам показал, что для некоторых случаев рабочая точка работы вентилятора на шахтную сеть будет существенно отличаться от ранее рассчитанного значения. Для примера, на рисунке 1 показаны три характеристики (слева на право): первая – с учетом местных сопротивлений при реверсе, вторая – с учетом местных сопротивлений, и третья – проектная.

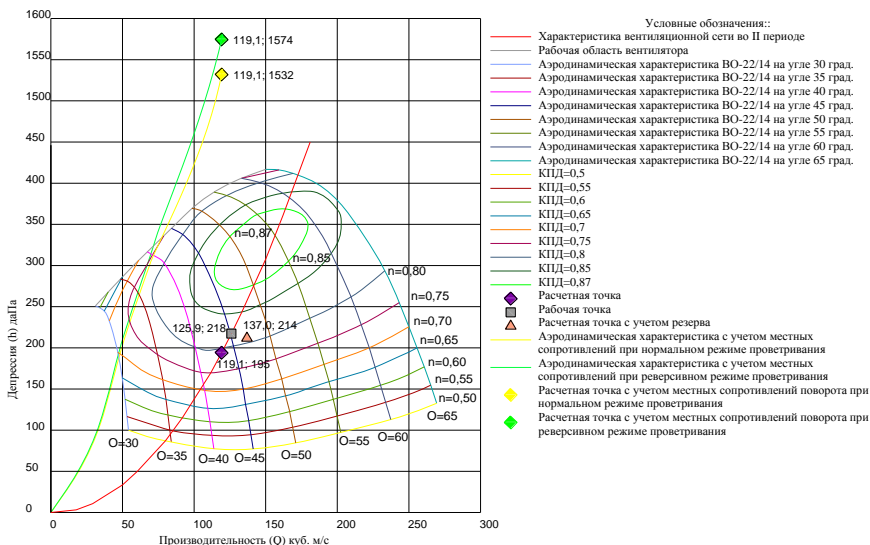


Рис. 1. Аэродинамическая характеристика совместной работы вентиляционной сети и ВГП 2ВО-24/14 во II периоде с учетом местных сопротивлений (маршрут I)

Прирост общешахтного аэродинамического сопротивления при учете местных сопротивлений варьируется от 15,2% до 775,9% при нормальном режиме проветривания; и от 15,8% до 835% при реверсивном.

При переводе шахты на реверсивный режим проветривания наблюдается увеличение величины местных сопротивлений поворотов на значения от 3,6% до 25,6%. Это означает, что при реверсе существенно увеличится общее сопротивление и в шахту будет поступать меньше воздуха при большей депрессии.

Необходим пересчет параметров работы центрального вентилятора главного проветривания 2ВО-24/14, а также ВГП 4ВЦ-15. Так как их характеристики (после учета местных сопротивлений) не подходят для подачи необходимого расчетного количества воздуха. Хотя у некоторых вентиляторов увеличивается КПД.

Существуют и более сложные схемы проветривания угольных шахт с большим количеством местных сопротивлений (камерно-столбовая система разработки на шахте ООО «УК «Межегейуголь» [7]). Здесь вопросы учета ещё более актуальны.

Третий вид аэродинамического сопротивления (лобовое сопротивление) при проектировании вентиляции не учитывается и не регламентируется. Если и встречаются научные работы в этой области, то они как правило посвящены лобовым сопротивлениям во вскрывающих выработках (стволах).

Когда выбирают параметры горных выработок, для сокращения затрат на проходку и поддержание, стараются сечение сделать минимальным. Часто высоту и ширину горной выработки определяют, отталкиваясь от габаритов оборудования и требований Правил безопасности по минимальному расстоянию до бортов и кровли.

Проведенные исследования показали, что лобовые сопротивления существенно влияют на распределении воздуха в шахтной вентиляционной сети. Для учета лобовых сопротивлений нужны новые методики. Эти методики могут быть основаны на современных подходах системного проектирования вентиляции горных предприятий [8].

Список литературы

1. Левин Л.Ю., Семин М.А., Клюкин Ю.А. Расчет местных аэродинамических сопротивлений в моделях вентиляционных сетей шахт и рудников // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2018. № 3. С. 265-278.

2. Левин Л.Ю., Зайцев А.В. Современные тенденции в области исследования местных аэродинамических сопротивлений в рудничных вентиляционных сетях // Научные исследования и инновации. 2010. Т. 4. № 2. С. 55-58.

3. Семин М.А. Обоснование параметров систем вентиляции рудников в реверсивных режимах проветривания: дисс.. канд. техн. наук. Пермь, 2016. 151 с.

4. Ушаков В.К. Тактические правила по устранению отказов в шахтных вентиляционных системах для управления аэрологической безопасностью // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 4. С. 5-15.

5. Ушаков В. К. Динамическая иерархическая сегментация шахтных вентиляционных систем при моделировании способов повышения аэрологической безопасности труда // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 12. С. 76-85.

6. Кобылкин С.С., Каледин О.С., Кобылкин А.С., Дядин С.А. Оценка влияния местных сопротивлений на общее аэродинамическое сопротивление воздухопроводов // Сборник тезисов докладов Международной научно-практической конференции «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование 28-29 октября 2015 г. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». - 2015. – 201 с. (91-92 стр.) ISBN 978-5-94211-743-6

7. Кобылкин С.С., Харисов А Р. Особенности проектирования вентиляции угольных шахт, применяющих камерно-столбовую систему разработки // Записки Горного института. 2020. Т. 245. С. 531-538. DOI:10.31897/PMI.2020.5.4

8. Кобылкин С.С. Системное проектирование вентиляции горных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ). Труды международного научного симпозиума «Неделя горняка – 2015» – М.: Изд. «Горная книга» – 2015 г. С. 150-157.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ КОМБАЙНА

Кормщиков Д.С., Кузнецов А.И.

ГИ УрО РАН, г. Пермь

Современные технологические объекты и производственные процессы на предприятиях характеризуются непрерывным ростом скоростей, размеров и мощностей машин и агрегатов. Для повышения эффективности управления современным технологическим оборудованием и технологическими процессами разрабатываются специализированные системы автоматического управления.

Автоматизация технологических процессов в горной промышленности отстает от темпов автоматизации общей промышленности. Это обуславливается тяжелыми условиями работы технологического оборудования под землей: ограниченность пространства горных выработок, повышенная влажность, сильная запыленность, повышенные температуры, а также взрывоопасность окружающей среды. Такие условия накладывают ряд особых требований к элементам и системам горной автоматики, основными из которых являются обеспечение высокой надежности и безопасности эксплуатации оборудования.

Одним из проблемных вопросов автоматизации технологического оборудования в горных выработках, является автоматизация комбайновых комплексов на калийных рудниках.

В настоящее время автоматический контроль направления при работе комбайнового комплекса является актуальной задачей. Проходка камеры сопряжена с большими затратами времени на контроль направления движения комбайна. В рабочем цикле эта процедура занимает от 8 до 18% от общего времени. При этом время выполнения данной процедуры при ручном контроле направлении движения комбайна зависит от опыта комбайнера. Внедрение системы автоматического контроля заданного курса комбайна позволит исключить влияние опыта комбайнера (любого субъективного фактора) и снизить время проходки камеры. Для обеспечения навигации комбайна в подземных условиях может служить опыт, используемый на поверхности, например в авиационной и морской навигации. В настоящее время можно выделить следующие методы счисления пути: обзорно-сравнительные, позиционные (метод поверхностей и линий положения) и инерциальные. По типу измерителей методы счисления пути можно подразделить на воздушный, доплеровский и инерциальный.

На практике методы инерциального счисления пути реализованы с помощью специальных технических средств – инерциальных навигационных систем (ИНС). Основное назначение последних заключается в движении

объекта к заданной точке при автоматическом или полуавтоматическом управлении и ориентации.

К достоинствам ИНС можно отнести их автономность от внешних источников данных, высокую информативность, более эффективную защиту от помех, быстрое действие при передаче информации, отсутствие необходимости постоянного обслуживания.

Однако ИНС имеют некоторые недостатки. К ним можно отнести ошибки, которые накапливаются с течением времени. Это могут быть как ошибки, вызванные неправильной исходной настройкой оборудования, так и методические ошибки. С целью коррекции ошибок создают комбинированные навигационные системы, где данные, получаемые ИНС, дополняют информацией, поступающей от неавтономных систем (системы контрольных реперных точек, спутниковые системы навигации и др.). Системы оснащены дополнительными корректирующими приборами (например, датчиками бокового сноса на самолетах).

В рамках настоящего исследования создан первый образец системы контроля направления движения комбайна. В основе системы лежит метод инерциального счисления пути. Описаны исследования по подбору технических компонентов для системы контроля направления движения комбайна. Подобранные компоненты проверены на возможность удовлетворения требуемой точности. Рассмотрено несколько серийных вариантов БИНС компании «Гиrolаб»: ГЛ-80, ГЛ-180 и ГЛ-300. В результате лабораторных тестов на прототипе системы было установлено, что БИНС ГЛ-80 не обладает достаточной точностью, а БИНС ГЛ-180 может обеспечить требуемую точность в лабораторных условиях, но не сможет ее обеспечить в условиях эксплуатации. Ошибка определения дирекционного угла, может привести к отклонению до 0,45 м на 300 метров, без использования средств дополнительной коррекции. Однако, опробование системы показало, что система контроля направления движения имеет необходимый функционал для контроля движения комбайна в рудничных условиях. Наилучший результат был показан при использовании системы БИНС ГЛ-300, которая обладает более точными характеристиками по определению координат и высоты в режиме работы с коррекцией от датчика пройденного пути. Получено, что для данной системы ошибка по отклонению координаты не превышает 20 см на 300 метров пройденного пути. В результате проведенных на прототипе лабораторных исследований получено, что БИНС ГЛ-300 обеспечит корректную работу комбайна, с удержанием угла курса, крена, тангажа в допустимом диапазоне, после продолжительного простоя между рабочими сменами. Определены условия, соблюдение которых обеспечит требуемую точность при размещении БИНС на комбайне.

АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ НАКОПЛЕНИЯ И ВЫНОСА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ОТ МАШИН С ДВС В ТУПИКОВЫХ КАМЕРООБРАЗНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Накаряков Е.В.

ГИ УрО РАН, г. Пермь

В российской нормативной документации описан ряд требований по проветриванию тупиковых горных выработок месторождений твердых полезных ископаемых. Действующие выработки должны непрерывно проветриваться активной струей воздуха, за исключением тупиков длиной до 10 м, проветриваемых за счет диффузии. Расстояние от конца нагнетательного трубопровода до забоя не должно превышать 10 м. Однако выполнение этих требований в ряде случаев может быть существенно затруднено, – например, для камерообразных выработок, образующихся за счет расширения разрезной выработки при обратном порядке отработки.

Очистное пространство камерообразной выработки не имеет крепления. В связи с опасностью обрушения пород кровли камерного пространства нахождение людей внутри него запрещено. Детальные экспериментальные исследования газовыделений в очистном пространстве камеры и его проветривания невозможны в связи с вышеописанным запретом нахождения людей в камерном пространстве, а также невозможности одновременного выполнения производственных процессов по добыче полезных ископаемых и экспериментальных измерений. Альтернативой натурных исследований является численное моделирование процесса выноса ядовитых примесей выхлопных газов ПДМ из камерного пространства на параметризированной модели, с помощью которого возможно исследовать динамику вредных компонентов выхлопных газов ПДМ и проветривание очистного пространства камеры. Параметризация модели происходит с использованием натурных измерений в нарезной выработке, где произведение замеров возможно.

Для моделирования процесса накопления и выноса вредных компонентов, образующихся при работе машин с двигателем внутреннего сгорания (СО и NO_x) из камерного пространства вследствие работы в тупиковых горных выработках ПДМ с ДВС использован модуль CFX программного комплекса ANSYS. В модуле SpaceClaim программного комплекса ANSYS построена модель обобщенной очистной камеры. Геометрические параметры, использованные в модели, соответствуют геометрическим параметрам очистных тупиковых горных выработок подземных рудников Талнахского рудного узла (РФ, Красноярский край), в которых производились экспериментальные измерения.

Для определения динамики концентрации газов в газовой смеси Ворониным В.Н. предложена и с различными модификациями до настоящего

времени используется простая балансовая модель. Полученные по результатам моделирования зависимости концентрации газа на рабочем месте машиниста от времени работы машины в камерном пространстве аппроксимированы в программном комплексе Wolfram Mathematica (рисунок 1).

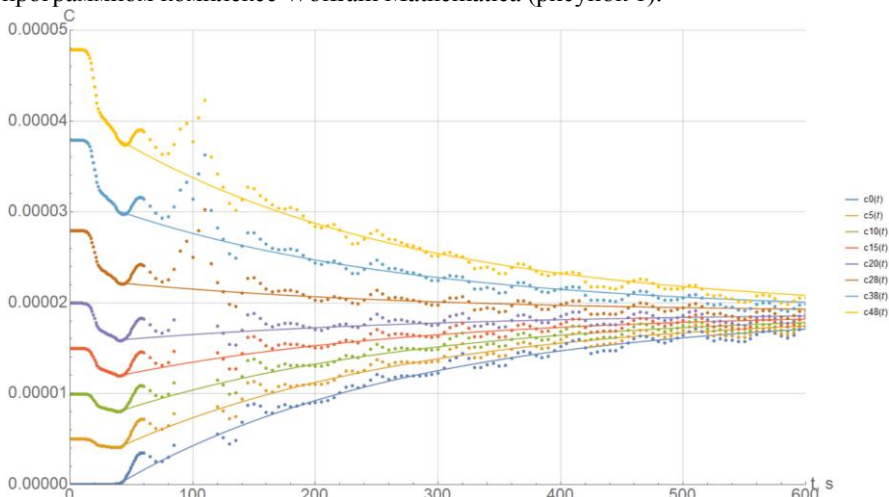


Рис. 1. Зависимости концентрации газа на рабочем месте машиниста ПДМ от времени работы машины, полученные по результатам моделирования (точки) и результатам аппроксимации (линии)

Колебания рассчитанных численно кривых концентрации (рисунок 2) связаны с принципиальной нестационарностью массопереноса в очистном пространстве, постоянном изменении структуры вихрей в очистном пространстве и на его сопряжении с разрезной горной выработкой.

Произведена оценка возможности применения коэффициента $k_T=1$ при аналитическом расчете концентрации газа от времени. Рассмотрены случаи, когда $k_T \gg 1$ (случаи, когда начальная концентрация в камере равна: $C_0=0,0000175$, $C_0=0,0000183$, $C_0=0,0000191$). Среднее отклонение аналитически определенных кривых зависимости концентрации газа на рабочем месте машиниста от времени работы машины в камерном пространстве при коэффициентах эффективности проветривания k_T , определенных по результатам аппроксимации, и $k_T=1$ в данных случаях составило не более 1%.

В результате можно сделать вывод, что модель, описывающая процесс выделения газа при производстве отгрузки руды из очистного пространства тупиковых камер, следующая:

$$C(t) = C_{\max} - (C_{\max} - C_0) \cdot e^{-\frac{Q}{V} \cdot t}.$$

Таким образом, определен коэффициент эффективности проветривания k_T , используемый в аналитической модели изменения концентрации газа на рабочем месте машиниста ПДМ при ее работе в очистном пространстве, учитывающей аэродинамические параметры проветривания, геометрические параметры очистного пространства и параметров газовой выделенности ПДМ. Результаты численного моделирования показали, что коэффициент эффективности проветривания k_T одинаков для возрастания и снижения концентрации газов от времени.

В работе проведена серия численных расчетов проветривания тупиковой камерообразной горной выработки. Полученные численные зависимости изменения средней концентрации выхлопных газов на рабочем месте машиниста ПДМ от времени позволили найти коэффициент эффективности проветривания, используемый в аналитической модели В.Н. Воронина – он может быть принят равным единице как в случае возрастания концентрации при работе ПДМ в камере, так и в случае снижения концентрации при проветривании камеры после выезда ПДМ. Это говорит об одинаковых закономерностях протекания процессов накопления и выноса вредных примесей в тупиковой горной выработке.

УДК 625.42+697.95

РАСЧЁТ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ВОЗДУХА

Ощепков Т.С.

ИГД СО РАН, г. Новосибирск

Метрополитен является местом массового пребывания людей, в следствие чего, к нему предъявляются высокие требования по поддержанию нормативных параметров микроклимата и качеству воздуха, в частности содержание взвешенной пыли в воздухе не должно превышать значения предельно допустимой концентрации (ПДК) [1, 2]. На самом же деле воздух метрополитена содержит твердые частицы во взвешенном состоянии в концентрации, превышающей ПДК, что показал ряд проведенных исследований [3-5]. Мелкодисперсная пыль, содержащаяся в воздухе в высокой концентрации, приводит к возникновению болезней органов дыхания [6] и является благоприятной средой для распространения патогенных бактерий [7]. Из всего ранее сказанного следует вывод о необходимости дополнительной фильтрации и обеспыливания воздуха в сооружениях метрополитенов.

Для поддержания концентрации взвешенной пыли в нормативных пределах следует использовать воздушные фильтры. Данное оборудование предлагается устанавливать в пристанционных вентиляционных сбойках в потоке воздуха от поршневого эффекта движущихся поездов, поскольку значительная часть тоннельного воздуха проходит именно через вентсбойки [8, 9],

образуя циркуляционное кольцо, причем расход воздуха, вовлекаемый в циркуляцию, увеличивается с повышением количества встреч поездов.

Для определения геометрических, конструктивных и эксплуатационных характеристик фильтрационного оборудования проведен ряд численных экспериментов [10], в результате которых определены закономерности изменения скорости тоннельного воздуха, инициируемого поршневым эффектом от движения поездов, через вентиляционные сбойки в зависимости от положения поездов в тоннеле и скорости их следования. Для моделирования аэродинамических процессов в сооружениях метрополитена был применен оригинальный способ топологической декомпозиции, а именно использование кольцевой модели линии метрополитена. Под декомпозицией в данном случае понимается разделение решения одной задачи на несколько более простых, а именно переход от полной линейной модели к замкнутой кольцевой. Применение кольцевой модели было обосновано в работе [11]. Геометрические характеристики расчетной модели представлены на рисунке 1.

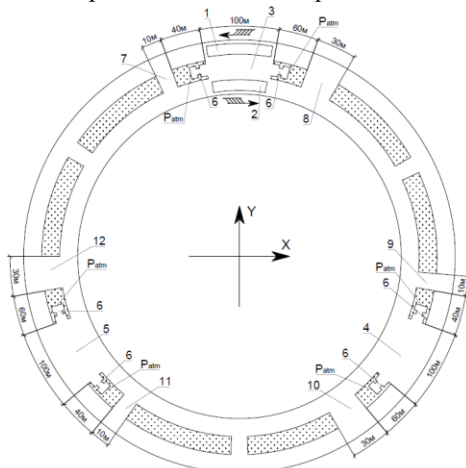


Рис. 1. Геометрические характеристики расчетной модели метрополитена. На рисунке: 1 – поезд №1, 2 – поезд №2, 3 – станция №1, 4 – станция №2, 5 – станция №3, 6 – выход к вестибюлю, 7, 8, 9, 10, 11, 12 – вентсбойка №1.1 №1.2, №2.1, №2.2, №3.1, №3.2 соответственно, P_{atm} – атмосферное давление

В результате проведенного исследования определена структура поля скорости воздушного потока в пристанционной вентсбойке. Полученные данные позволяют определить месторасположение фильтрующего оборудования и его тип. На основе этих данных фильтрационное оборудование следует размещать в зоне потока воздуха, с однонаправленными векторами скорости, для эффективного улавливания взвешенной пыли. Размер зоны приблизительно составляет половину сечения вентиляционной сбойки, что видно на рисунке 2.

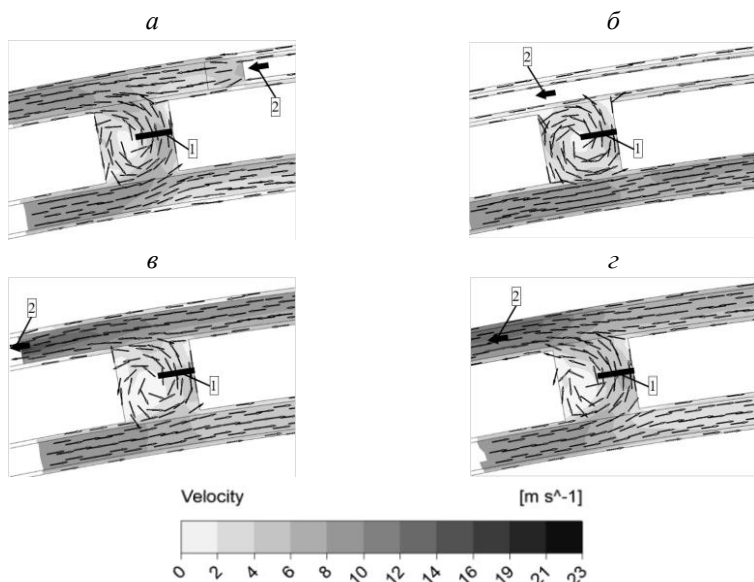


Рис. 2. Векторы и поле скоростей в вентиляционной сбойке №1.1:
а – момент времени, когда поезд подходит к вентиляционной сбойке;
б – момент времени, когда сечение вентиляционной сбойки перекрыто движущимся мимо поездом; **в, г** – момент времени, когда поезд преодолел вентиляционную сбойку. На рисунках стрелками указано направление движения потока воздуха; 1 – место размещения фильтрационного оборудования; 2 – направление движения поезда

Таким образом, в ходе ряда вычислительных экспериментов были определены закономерности изменения поля скорости тоннельного воздуха в пристанционных вентиляционных сбойках и направление воздушного потока, что позволяет обосновать требуемые рабочие параметры фильтрационного оборудования тоннельного воздуха для дальнейшего подбора или их разработки, а также определено место расположения этого оборудования.

Список литературы

1. СП 120.13330.2012. Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003 [Текст]: утв. Приказом Минрегион РФ 30.06.2012: дата введ. 01.01.2013. — М.: [б.и.], 2013. — 260 с.
2. СП 2.5.3650-20 Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры [Текст]: утв. Пост. Главного государственного санитарного врача РФ от 16.10.2020: дата введ. 01.01.2021. — М.: [б.и.], 2020. — 101 с.
3. Сазонова А.М. Исследование пылевого фактора производственной среды метрополитена / А.М. Сазонова // Гигиена и охрана труда транспортной отрасли. – 2016. – с. 79-85.

4. Winnie Kam, Kalam Cheung, Nancy Daher, Constantinos Sioutas. Particulate matter (PM) concentrations in underground and ground-level rail systems of the Los Angeles Metro // *Atmospheric Environment*. Volume 45, 2011, Pages 1506-1516.

5. Senlin Lu, Dingyu Liu [and others]. Physico-chemical characterization of PM_{2.5} in the microenvironment of Shanghai subway // *Atmospheric Research*. Volume 153, 2015, Pages 543-552.

6. Сачкова О.С. [и др.] Разработка мероприятий по оздоровлению условий труда тоннельных рабочих / О.С. Сачкова, Т.В. Матвеева, Н.И. Зубрев, М.В. Устинова, В.Л. Кашинцева // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего*. – 2018. – Т. 7. – №3 (43). – с. 145-149.

7. Копытенкова О.И., Шилова Е. А., Сазонова А.М. Комплексный подход к оценке биодеструктивных факторов при освоении подземного пространства / О.И. Копытенкова, Е.А. Шилова, А.М. Сазонова // *Интернет-журнал «Науковедение»*. – Том 7. – №1 (январь - февраль 2015). – с. 1-16.

8. A. M. Krasnyuk. CIRCULATORY AIR RINGS AND THEIR INFLUENCE ON AIR DISTRIBUTION IN SHALLOW SUBWAYS // Krasnyuk A.M., Lugin I.V., Pavlov S.A. // *Journal of Mining Science*, 2010. Т. 46. № 4. С. 431-437.

9. Krasnyuk A.M., Lugin I.V., Pavlov S.A. Experimental research into air distribution in a terminal subway station// *Tunnelling and Underground Space Technology*. Volume 85, March 2019, Pages 21-28.

10. Ощепков Т.С., Кияница Л.А., Лугин И.В. К вопросу определения поля скоростей воздуха в тоннельных сооружениях линии метрополитена с использованием кольцевых моделей как способа топологической декомпозиции / Т.С. Ощепков, Л.А. Кияница, И.В. Лугин // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2020. – Т. 2. – С. 129-137.

11. Lugin I.V., Kiyantsa L.A., T.S. Oshchepkov. Circular models of air distribution due to piston effect in subways // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 773 (2021). – 7 p. doi:10.1088/1755-1315/773/1/012046

УДК 622.4

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ В РУДНИЧНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЯХ ПО ФАКТОРУ ТЕПЛОВОЙ ДЕПРЕССИИ ПОЖАРА

Попов М.Д.

ГИ УрО РАН, г. Пермь

В современных условиях добыча полезных ископаемых подземным способом сопряжена с вероятностью возникновения аварийных ситуации, а в частности подземных пожаров. Анализ данных аварийных ситуации как при проектировании горных выработок, так и при непосредственной ликвидации аварии на действующих горных выработках является обязательным мероприятием. Основная опасность, которую вызывает подземный пожар для системы вентиляции шахты, это изменение режима проветривания и соответственно изменение направления движения продуктов горения по горным выработкам. В свою очередь, расчет всех возможных сценариев появления и развития

подземное пожара в ручном режиме на сегодняшний день практически невозможен. В месте с этим пункт 26 Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности “Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы” требует производить расчеты устойчивости проветривания в вертикальных и наклонных горных выработках с использованием специализированных программных продуктов. Это приводит к необходимости разработки автоматизированных расчетных алгоритмов и проработки необходимых исходных данных, позволяющих проводить расчеты влияния тепловой депрессии на проветривание всех горных выработок для шахтных вентиляционных сетей произвольной геометрии.

Основными исходными данными необходимыми для проведения расчетов устойчивости проветривания горных выработок по фактору тепловой депрессии пожара являются протяженность горной выработки, в которой протекает пожар, разница высотных отметок начала и конца выработки, а также мощность источника тепловыделения. Получение исходных данных связанных с топологией горных выработок, в условиях современных горнодобывающих предприятий обладающих трехмерными моделями вентиляционных сетей не составляет проблем. В то время как мощность тепловыделения пожара является величиной переменной и трудно определенной без накопления обширной экспериментальной базы. Проведением экспериментов, связанных с горением техники в шахтных условиях с целью определения кривых тепловыделения, занимались шведские ученые Rickard Hansen & Naukur Ingason [1]. При этом вид кривой тепловыделения зависит от многих факторов, к которым относится как вид и количества горючей нагрузки, так и местоположение источника возгорания и параметры вентиляции в горной выработке. Таким образом полученные кривые тепловыделения применимы только для отдельно взятого сценария протекания подземного пожара.

Таким образом в условиях быстрого протекания подземных пожаров, связанных с горением дизельной техники, деревянной крепи или конвейеров возникает необходимость разработки инструментов позволяющих производит инженерные расчеты мощности тепловыделения для прогнозирования направления распространения продуктов горения, определения устойчивости проветривания, а также планирования путей движения горнорабочих и горноспасателей в случае аварийной ситуации.

Размер источника теплообмена характеризует величину поверхности теплообмена между рудничным воздухом и источником. По характеру распространения горючей нагрузки источники тепловыделения подразделяются на точечные и рассредоточенные [2].

К точечным источникам теплоты при рассмотрении шахтных пожаров можно отнести возгорание самоходной техники. В этом случае вся пожарная нагрузка занимает достаточно короткий участок горной выработки по отношению к ее длине. С другой стороны, согласно проведенным исследованиям довольно хорошим приближением принято считать, что начальная стадия

развития очечного пожара продолжается в течение короткого промежутка времени по отношению к времени ее выгорания [3]. Таким образом при разработке модели горения принимается допущение, что выгорание горючей нагрузки происходит равномерно и вся горючая нагрузка в начальный момент времени охвачена пламенем. При этом основным параметром, определяющим количество выделяемого тепла, является *скорость выгорания* горючей нагрузки, которая при горении в условиях достаточного кислорода, является величиной постоянной по времени. В этом случае время выгорания горючей нагрузки может быть определено:

$$t_{cp,i} = \frac{m}{\psi_{yo} 4 \cdot \pi \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot \frac{m}{\pi \cdot \rho}\right)^{\frac{2}{3}}}, \text{ сек}$$

где m , ρ — масса (кг) и плотность (кг/м³) горючего материала;

ψ_{yo} — удельная скорость выгорания (кг/сек) материала.

Однако если рассматривать процесс горения распределенных пожарных нагрузок, которые могут воспламениться в подземных условиях таких как конвейерная лента или деревянная крепь, то методика определения тепловыделения точечного источника из-за принятых допущений к данной ситуации не применима. Это обусловлено тем, что процесс воспламенения всей горючей нагрузки конвейерной ленты или крепи из-за большой протяженности занимает длительный промежуток времени. Весь объем горючего материала выгорает постепенно по мере продвижения фронта огня. Таким образом при расчете тепловыделения распределенных источников определяющим параметром является *скорость распространения пламени* [4]. При известной скорости распространения пламени время выгорания распределенной горючей нагрузки может быть определено:

$$t = \frac{L}{v} + \frac{h \cdot \sqrt{v^2 + \tau^2}}{v \cdot \tau}, \text{ сек}$$

где v , τ - скорость выгорания (м/с) и скорость распространения пламени (м/с)

L - длина распределённой нагрузки (м);

h - толщина распределённой нагрузки (м).

При известном времени полного выгорания материала мощность источника тепловыделения может быть определена отношением удельного тепловыделения к времени горения:

$$W = \frac{m \cdot Q}{t}, \text{ Вт}$$

где m - масса горючего вещества, кг;

Q - низшая теплота сгорания вещества, Дж/кг.

Общий вид прогнозируемой кривой тепловыделения приведен на рисунке 1.

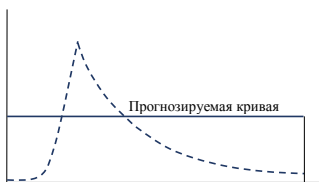


Рис. 1. Прогнозируемая кривая тепловыделения

Рассчитанные данные тепловыделения могут быть использованы для проведения инженерных расчетов при определении устойчивости проветривания в вертикальных и наклонных горных выработках по фактору тепловой депрессии.

Список литературы

1. Hansen R., Ingason H. Full-scale fire experiments with mining vehicles in an underground mine. – 2013.
2. Гришин Е.Л. Научное обоснование способов повышения надежности вентиляционных сетей подземных рудников: дис. канд. техн. наук – ГИ УрО РАН, 2013.
3. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. / С.В. Пузач. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005.
4. Шалимов А.В. Теоретические основы прогнозирования, профилактики и борьбы с аварийными нарушениями проветривания рудников: дисс. ... д-ра техн. наук: 25.00.20 / Шалимов Андрей Владимирович. – Пермь, 2012. – 329 с.
5. Cheong M. K. et al. Heat release rates of heavy goods vehicle fires in tunnels //15th International Symposium on Aerodynamics, Ventilation & Fire in Tunnels. – BHR Group Barcelona, Spain, 2013. – С. 779-788.

УДК 622.831.322:635

ИЗМЕНЕНИЕ ДАВЛЕНИЙ ГАЗА В РЯДУ МЕТАМОРФИЗМА УГЛЕЙ И С ГЛУБИНОЙ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ ДОНБАССА

Радченко А.Г.¹, Киселев Н.Н.¹, Донченко Э.В.¹, Радченко А.А.²

¹ РАНИМИ, г. Донецк, ДНР, ² ООО «Лемакс», г. Таганрог

В настоящее время в Донбассе при ведении горных работ наблюдаются следующие тенденции: высокая тектоническая нарушенность углеродного массива, рост глубины разработки угольных пластов, рост горного давления, увеличение газоносности и высокие значения давлений газа в угольных пластах. Для практики ведения горных работ важной задачей является знание закономерностей изменения давлений газов для углей разного марочного состава и с ростом глубины. Обобщение опыта ведения горных работ на шахтах Донбасса показало, что наиболее представительная база шахтных экспериментальных

данных о давлениях газа в угольных пластах имеется в Донбассе по пластам крутого падения.

Поэтому, целью данной работы является установление объективного характера изменения давлений газа в ряду метаморфизма углей и с глубиной в Центральном геолого-промышленном районе Донбасса.

В работе [1] был приведен график изменения давлений газа – $P_{г}$ в ряду метаморфизма углей Донбасса (рисунок 1, график 1). Следует подчеркнуть, что в работе [1] ссылка на исходные статистические данные о давлениях газа отсутствует. Авторы работ [2, 3] указывают на взаимосвязь между давлением газа – $P_{г}$ в угольных пластах и внезапными выбросами угля и газа. Исследования, проведенные в Китае, показали, что внезапные выбросы угля и газа на шахтах происходят при следующих условиях: 1) при значениях природной газоносности углей - X_{np} более $8 \text{ м}^3/\text{т}$; 2) для неглубоких шахт при $P_{г}$ свыше $0,74 \text{ МПа}$; 3) для глубоких шахт при $P_{г}$ свыше $0,60 \text{ МПа}$ [3].

Анализ показал, что при выполнении статистического анализа в работе [1] были ошибочно взяты максимальные динамические значения $P_{г}$ при прохождении комбайна ($P_{г \text{ дин}} = 130 \text{ атм}$), а не фактические, статические значения $P_{г}$ в нетронутом угольном забое ($P_{г \text{ ст}} = 60\text{--}65 \text{ атм}$), которые были измерены за $38\text{--}11 \text{ м}$ до подхода очистного забоя к манометрам. Следовательно, полученный нами график 2 является более объективным.

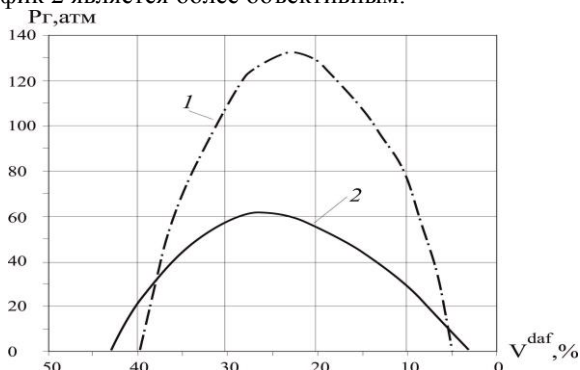


Рис. 1. Графики изменения давлений газа – $P_{г}$, атм в ряду метаморфизма углей: 1 – по данным работы [1]; 2 – по результатам статистического анализа данных работы [3]

В результате статистического анализа данных [4] был построен график изменения средних арифметических значений $P_{г}$, атм на крутых угольных пластах в зависимости от глубины разработки - H , м (рисунок 2). Для интервала глубин $H = 400\text{--}900 \text{ м}$ этот график в первом приближении может быть описан уравнением прямой: $P_{г} = 2 + 0,05H$, атм; при $r = 0,64$.

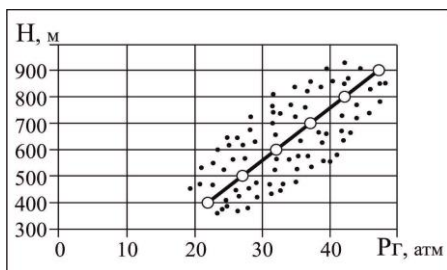


Рис. 2. График изменения давлений P_g , атм с глубиной – H , м

Выводы.

1. Приведенный в работе [1] график изменения давлений газа в ряду метаморфизма углей с максимумом $P_{г \text{ дин}}=130$ атм в диапазоне значений $V^{daf}=20-22\%$ является ошибочным. Более объективным и достоверным является график 2, приведенный на рисунке 1, парабола имеет максимум при $P_{г \text{ ст}}=60-62$ атм в диапазоне значений $V^{daf}=24-26\%$.

2. Для Центрального геолого-промышленного района Донбасса в интервале глубин $H=400-900$ м график изменения давлений газа в первом приближении может быть описан уравнением прямой: $P_g=2+0,05H$, атм; при $r=0,64$.

Список литературы

1. Ткач В.Я. Методы прогноза выбороопасности шахтных пластов [Текст] / В.Я. Ткач. – К.: Техніка, 1980. – 190 с.
2. Минеев С.П. Горные работы в сложных условиях на выбороопасных угольных пластах: [монография], [Текст] / С.П. Минеев, А.А. Рубинский, О.В. Витушко, А.Г. Радченко // Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010. - 603 с.
3. Dong Guowei. A new method for predicting coal and gas outburst [Text] / Dong, Guowei; Liang, Xuanming; Wang, Qixiang // Journal: Shock and Vibration, 2020, Article ID 8867467, 10 pages.
4. Хорунжий Ю.Т. Систематизация и некоторый анализ имеющегося материала по газовому давлению в угольных пластах Центрального района Донбасса [Текст] / Ю.Т. Хорунжий. В кн.: Вопросы безопасности в угольных шахтах. Труды МакНИИ, том XVIII. Под общей редакцией к.т.н. В.Л. Божко. М.: Недра, 1968, С. 173–194.

УДК 622.831.322:63

ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО И ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЙ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ПРИ ПЕРЕХОДЕ ЛАВОЙ ЗОНЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО НАРУШЕНИЯ

Радченко А.Г.¹, Киселев Н.Н.¹, Донченко Э.В.¹, Радченко Д.Ю.²

¹ РАНИМИ, г. Донецк, ДНР, ² ООО «Лемакс», г. Таганрог

Изучением изменения напряжений в недрах Земли и в горном массиве в зонах геологических нарушений занимались многие исследователи: Бобров И.В.,

Кричевский Р.М. (1962); Бовсуновская А.Я. (1968); Гзовский М. В. (1971, 1975); Николин В. И., Балинченко И. И., Симонов А.А. (1981); Петухов И.М., Линьков А.М. (1983); Корчемагин В.А. (1984); Привалов В.А. (1987); Осокина Д.Н. (2008); Тверитинова Т.Ю. (2010); Ильинец А.А. (2021) и др.

В работах этих исследователей большое внимание было уделено только изменению напряжений в недрах Земли. С позиций теории и практики горных ударов главным управляющим параметром-фактором является горное давление. А с позиций теории и практики борьбы с внезапными выбросами угля и газа главным является газовый фактор, так как нет газа в пласте – нет и выбросов. В работе В.В. Ходота (1961) указывается, что в формировании выбросоопасности угольных пластов участвуют три взаимно связанных фактора: 1) физико-механические свойства пласта – ФМС (крепость, разрушаемость, коэффициент сцепления, трещиноватость); 2) газо-кинетические свойства угольного пласта – ГКС (природная газоносность, давление газа, скорость газоотдачи, газопроницаемость); 3) напряженно-деформированное состояние пласта – НДС (вертикальное горное давление вкрест простирания пласта). Зоны геологических нарушений оказывают существенное влияние на изменения свойств всей триады: ФМС, ГКС, НДС. Весьма часто зоны горно-геологических нарушений (ГГН) являются участками повышенной потенциальной выбросоопасности угольных пластов. Следует отметить, что при проведении горных выработок по углю происходит взаимное наложение, суперпозиция полей горного и газового давлений, образуемых впереди проводимой выработки, с существующими в зонах геологических нарушений полями напряженного состояния и газового давления.

Поэтому, целью работы является рассмотрение взаимодействия, суперпозиции полей НДС и ГКС, образуемых при проведении горных выработок, с полями горного и газового давлений, существующими в зонах геологических нарушений.

В работе [1] было рассмотрено распределение НДС в зоне разрывного ГГН и не учитывалось влияние газового фактора. А в работе [2] рассмотрены физические процессы, фиксируемые при выемке угля в лаве. Так, в работе [2] указывается, что при работе лавы впереди движущегося комбайна в призабойной части угольного пласта движется ядро, участок повышенных значений газового давления – P_g . В работе [3] экспериментально установлен дополнительный рост газового давления впереди работающего движущегося очистного комбайна. Ранее измеренное в угольном пласте установившееся, статическое давление газа составляло $P_g = 60$ атм, а при подходе комбайна к месту установки манометров давление газа (динамическое) возросло до значения $P_g = 130$ атм. Бурение геолого-разведочных скважин в Донецко-Макеевском геолого-промышленном районе в зонах тектонических дислокаций (пликативных и дизъюнктивных) сопровождалось значительными газопроявлениями (сильные фонтаны газа, суфляры), [4]. Таким образом,

зоны геологических нарушений весьма часто играют роль газовых ловушек и газовых коллекторов и являются участками повышенной выбросоопасности.

С увеличением глубины горных работ наблюдается рост потенциальной энергии угля – $W_{\text{угл}}$, кинетической энергии горных пород – $W_{\text{пор}}$, энергии газа, заключенного в угле – $W_{\text{газ}}$. В связи с этим возрастают запасы энергии горного массива – W_o : $W_o = W_{\text{пор}} + W_{\text{угл}} + W_{\text{газ}}$.

Следовательно, с ростом глубины особо важно учитывать суперпозицию полей НДС и ГКС, образуемых при проведении горных выработок, с полями горного и газового давлений, существующими в зонах геологических нарушений.

На рисунке 1 приведены эпюры изменения горного давления – σ и давления газа – P_2 при переходе зоны ГГН. Сама зона тектонически нарушенного угля характеризуется интенсивной трещиноватостью, пониженными значениями горного и газового давлений. На смежных участках от зоны нарушения фиксируется рост горного давления – σ_2, σ_3 и газового давлений – P_{22}, P_{23} (рисунок 1-б). При подходе лавы к зоне нарушения сокращаются размеры целика с крепким углем, наблюдается рост горного давления – σ_4 и газового давления – P_{24} (рисунок 1-в). При этом происходит суперпозиция полей напряжений и полей газового давления:

$$\sigma_4 = \sigma_1 + \sigma_2; \text{ и } P_{24} = P_{21} + P_{22}.$$

При отходе выработки от зоны нарушенного угля в зону крепкого угля также происходит наложение полей, наблюдается рост эпюр горного и газового давлений:

$$\sigma_5 = \sigma_1 + \sigma_3; \text{ и } P_{25} = P_{21} + P_{23}.$$

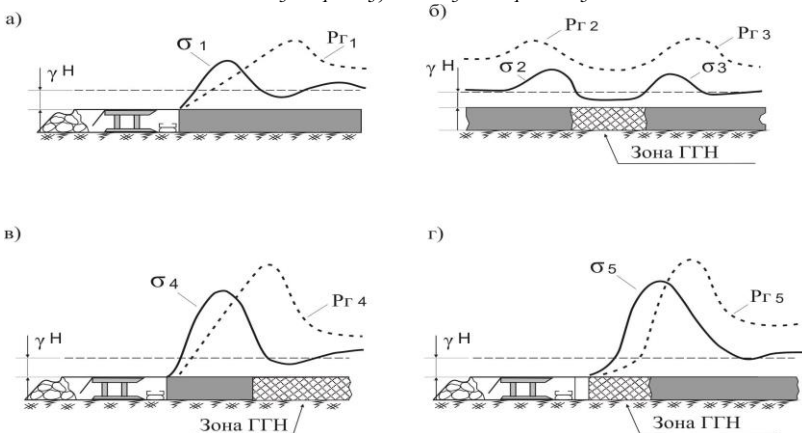


Рис. 1. Изменения горного давления – σ и газового давления – P_r при переходе лавой зоны геологического нарушения:

- а) работа лавы на участке крепкого угля – σ_1, P_{r1} ; б) изменения горного давления σ_2, σ_3 и давлений газа P_{r2} и P_{r3} на крыльях нарушения;**
- в) рост напряжений – σ_4 и давления газа – P_{r4} при подходе к зоне ГГН;**
- г) рост напряжений – σ_5 и давления газа – P_{r5} при отходе от зоны ГГН**

Выводы. При ведении горных работ в тектонически нарушенных зонах необходимо учитывать взаимодействие полей горного и газового давлений, образуемых при проведении выработок в горном массиве, с полями горного и газового давлений, существующими в зонах геологических нарушений. Для этого необходимо через 0,5 м выполнять поинтервальные измерения начальной скорости газовыделения из шпуров на глубину до 5,0–6,0 м.

Список литературы

1. Николин В.И. Борьба с выбросами угля и газа в шахтах [Текст] / В.И.Николин, И.И. Балинченко, А.А. Симонов // – М. Недра, 1981. – 300 с.
2. Петросян А.Э. Причины возникновения внезапных выбросов угля и газа [Текст] / А.Э. Петросян, Б.М. Иванов // Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. – М.: Недра, 1978. – С. 3 – 61.
3. Волошин Н.Е. Борьба с внезапными выбросами угля и газа на шахте №7/8 им. Калинина треста Куйбышевуголь [Текст] / Н.Е. Волошин. В кн.: Борьба с внезапными выбросами в угольных шахтах. Москва, Госгортехиздат.–1962. – С. 347–371.
4. Корчемагин В.А. Структурно-тектонифизическая позиция скоплений метана в угленосных отложениях Донецко-Макеевского района [Текст] / Корчемагин В.А., Павлов И.О., Никитенко А.В. // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». Вип. 13(178). – 2011. С. 25–30.
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.- 603 с.

УДК 622.333: 622.817.4

СВЯЗЬ НЕОДНОРОДНОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ УГОЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА С ОПАСНЫМИ ПРОЯВЛЕНИЯМИ В ШАХТОПЛАСТАХ

Ульянова Е.В., Малинникова О.Н., Пашичев Б.Н., Докучаева А.И.

ИПКОН РАН

Введение

В долгосрочную программу развития угольной промышленности введено требование к снижению удельного показателя смертельного травматизма до уровня 0,05 чел/млн т. Для этого необходимо снизить до минимума риск возникновения взрывов метана, вызванных загазированием выработок, повысить достоверность прогноза выбросоопасности и склонности к самовозгоранию угольных пластов, то есть минимизировать все опасные явления, спровоцированные ведением подземных горных работ, которые приводят к большому числу жертв [1]. Несмотря на многочисленные исследования в этой области, взаимосвязи опасных явлений со свойствами углей, еще недостаточно изучены из-за сложности учета большого количества взаимодействующих факторов, определяющих кинетику горных процессов, которая зависит не только

от количества и распределения пор и микротрещин в угле [2, 3], но, в большей степени, от неоднородности структуры угля на микроуровне и сорбционными центрами, находящимися непосредственно в структуре угля [1, 5]. Целью проведенной работы является определение различий в структурах угольного вещества связанных со склонностью углей к самовозгоранию, к выбросоопасности и к разной газонасыщенности призабойной зоны углей одной марки.

Методика и обсуждение результатов

Для исследования неоднородности микроструктуры угля использовался метод построения диаграмм «энтропия – сложность», рассчитанных по цифровым снимкам поверхности углей при тысячекратном увеличении [6, 7]. Неоднородность, хаотичность микроструктуры углей отражена в рельефе изломов естественной поверхности угольных образцов, снимки которой делались на сканирующем электронном микроскопе Jeol JSM-6610LV, не менее 10 цифровых изображений в разных точках для каждого кусочка угля (образца). Из каждой пробы угля отбирались кусочки наиболее полно ее представляющие: с блестящей поверхностью, матовой и полосчатой, не менее 3–4 образцов из пробы. Это позволяло получить 30–40 снимков для каждой пробы (рис. 1).

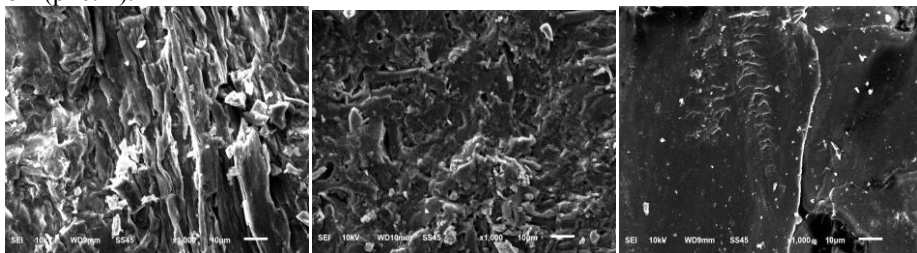


Рис. 1. Снимки различных участков поверхности угля из одной пробы, сделанных при тысячекратном увеличении

На рисунке хорошо прослеживается разнообразие рельефов поверхности углей одной пробы. Во всех пробах присутствуют участки с большим количеством мелких образований и довольно гладкие, однородные поверхности. Метод построения диаграмм «энтропия – сложность» при обработке снимков позволяет выявить некоторые закономерности в этом структурном хаосе, причем чем выше статистическая энтропия системы H , тем меньше ее элементы подчинены какому-либо порядку. Статистическая сложность C , вводится как произведение энтропии на расхождение между наблюдаемым и равновероятным распределением шварлет–признаков, описывающих структурные элементы сканерных изображений поверхности угольных образцов [7, 8]. Для расчётов использовалась программа «Shearlexity». Пример результатов исследования показан на рис. 2.

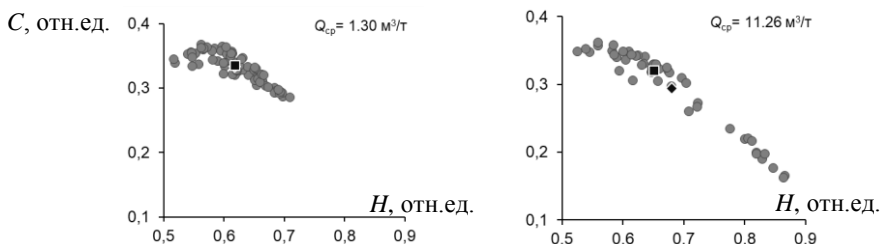


Рис. 2. Диаграммы распределения значений «энтропия – сложность» для серий снимков поверхности образцов угля

Проведенная оценка упорядоченности микроструктуры углей с разной газонасыщенностью призабойной зоны (рис. 2) с использованием диаграмм «энтропия – сложность», показала, что для пластов с меньшими значениями газонасыщенности (в среднем $1,3 \div 3,7 \text{ м}^3/\text{т}$), характерна более упорядоченная микроструктура, на что указывают меньшие значения энтропии, тогда как микроструктура углей с высокой газонасыщенностью (в среднем $11\text{--}12 \text{ м}^3/\text{т}$) является значительно менее упорядоченной [5]. Это объясняется тем, что неоднородность микроструктуры угля связана с разрывом химических связей и образованием не скомпенсированных групп (свободных радикалов), увеличение которых, видимо, и позволяет углю удерживать большее количество метана.

Самонагревание вызывается окислением угля, однако конкретные условия и механизм этого процесса ещё недостаточно ясны. Поэтому метода прогноза, позволяющего достаточно надёжно предсказать самонагревание и самовозгорание углей, до сих пор нет. Склонность каменных углей к самовозгоранию исследовалась на пробах, отобранных из шахт АО «Воркутауголь». Метод диаграмм «энтропия – сложность» показал, что структура углей склонных к самовозгоранию (разброс значений энтропии около 0,4 отн. ед.) является сочетанием упорядоченных участков с более хаотично организованными структурными элементами, то есть элементами угля с повышенной удельной поверхностью, для которых контакт с кислородом происходит на большей площади, чем для углей не склонных к самовозгоранию (разброс значений энтропий около 0,2 отн. ед.), обладающих заметно более однородной микроструктурой (рис. 3).

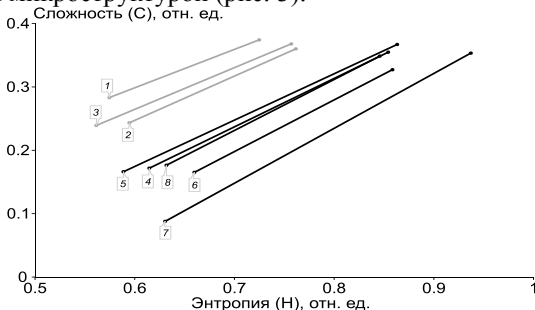


Рис. 3. Диапазон разброса значений энтропии и сложности для исследуемых углей склонных к самовозгоранию (черные линии) и не склонных (серые)

Определение степени упорядоченности микроструктуры углей Донецкого бассейна, взятых из опасной и неопасной по внезапным выбросам зон пласта и из выброшенной массы показало, что образцы из выбросоопасной зоны сочетает в себе как высоко упорядоченные области структуры, характерные для неопасным по выбросам областям, так и наиболее хаотично организованные, что, видимо, и создается условия для повышения вероятности развязывания газодинамических явлений [6]. В выброшенном угле хаотично ориентированные элементы, присутствующие в выбросоопасной зоне, практически исчезают, очевидно, что именно они подвержены наибольшему разрушению в процессе выброса.

Выводы

Метод оценки степени упорядоченности пространственной ориентации элементов в системе координат «энтропия – сложность» проведенный по цифровым изображениям поверхности углей показал, что он является перспективным методом исследования микроструктуры угольного вещества.

Список литературы

1. Алексеев А.Д. Физика угля и горных процессов. – Киев: Наукова думка, 2010. – 424 с.
2. Feng Yan-Yan, Jiang Cheng-Fa, Liu Dai-Jun, and Chu Weib. Microstructure and its influence on CH₄ adsorption behavior of deep coal, Chinese Physics B, 2014, Vol. 23, No. 2 (2014) 028201.
3. Tang Z., Yang S., Zhai C., Xu Q. Coal pores and fracture development during CBM drainage: Their promoting effects on the propensity for coal and gas outbursts, J. Natural Gas Science and Engineering, 2018, Vol. 51. – P. 9–17.
4. Лукинов В. В., Пимоненко Л. И., Барановский В. И. и др. Петрографические и физические характеристики угольного вещества из кинкбандов // Уголь Украины. – 2012. – № 2. – С. 36–38
5. Ульянова Е.В., Малинникова О.Н., Долгова М.О. и др. Структура и метаносность ископаемых углей // ХТТ. – 2016. – № 4. – С. 3 – 8
6. Ульянова Е.В., Малинникова О.Н., Пашичев Б.Н., Малинникова Е.В. Микроструктура ископаемых углей до и после газодинамических явлений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – № 5. – С. 10–17. DOI: 10.15372/FTPRP120190502.
7. Brazhe A. Shearlet-based measures of entropy and complexity for two-dimensional patterns, Phys. Rev. E, 2018, Vol. 97.- № 6. - P. 061301- 061307. DOI: 10.1103/PhysRevE.97.061301.
8. Malinnikova O., Uchaev Dm., Uchaev D., Malinnikov V., and Ulyanova E. «Complexity-entropy» diagrams and their application to the study of coal tectonic disturbance, E3S Web of Conf., 2019, Vol. 129. — P. 01016-01023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912901016>.

ТИПЫ ПЛАСТОВЫХ ГАЗОВ И ФОРМА ИХ НАХОЖДЕНИЯ ВО ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОДАХ В ПРЕДЕЛАХ ЗОН ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАОСНОВНОГО МАГМАТИЗМА (НА ПРИМЕРЕ ДАЛДЫНО-АЛАКИТСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО РАЙОНА)

Янников А.М.

Институт «Якутнирпроалмаз» АК «АЛРОСА» ПАО

Далдыно-Алакитский кимберлитовый район состоит из двух кимберлитовых полей Далдынского и Алакит-Мархинского. Главным месторождением Далдынского кимберлитового поля является трубка Удачная, а Алакит-Мархинского трубки Айхал и Юбилейная.

Коренные месторождения алмазов – кимберлитовые трубки Айхал, Юбилейная и Удачная являются основой минерально-сырьевой базы Айхальского ГОКа и Удачинского ГОКа соответственно. Дальнейшая отработка месторождений требует изучения гидрогеологических условий глубоких горизонтов (1000–1700 м от дневной поверхности). Вмещающие породы в изучаемых отметках представлены раннепалеозойскими породами верхнего, среднего и нижнего кембрия [1, 2]. Приведем их отдельную гидрогеологическую характеристику.

В пределах шахтного поля трубки «Айхал» породы мархинской (C_3 *mrh*) свиты, содержащие пластовые углеводородные газы, залегают на глубинах 600–1000 м от дневной поверхности [3]. В процессе изучения газодинамических условий месторождения притоки пластовых газов составляли до 3,0 м³/час, при расходе рассолов менее 0,1 м³/час. Также было подтверждено преобладание объёмов выделившегося газа над объёмом пластовых рассолов: по скважине 2гр излилось 43 м³ рассола и 1 650 м³ пластовых газов; по скважине 3гр – 14,5 м³ рассола и 1 200 м³ пластовых газов. Зафиксированные скопления пластовых углеводородных газов, как правило, обусловлены литологическими и структурно-тектоническими факторами:

- наличием в мархинской свите пластов-покрышек (плотных карбонатных и терригенно-карбонатных пород), способствующих накоплению газов;
- влиянием разноранговых тектонических нарушений, являющихся источниками дополнительного «обогащения» разреза углеводородными газами из нижезалегающих генерирующих отложений. Причём дополнительный привнос углеводородов на стадии тектонической активизации, внедрения магматических пород и сопутствующих гидротермальных процессов имел доминантную составляющую на их формирование;
- наличием в изучаемых отложениях биогенного материала, приводящего к образованию УГВ в незначительных количествах в самих породах.

В пределах шахтного поля трубки Юбилейная были выделены четыре зоны, газо- нефтепроявлений, приуроченных к насыщенным флюидами коллекторам:

- Зона № 1, интервал 860–1 440 м (-74,1/-523,5 м абс.) – умеренные нефтепроявления: $\max \Gamma_{\text{СУМ}}=1,209 \%$, $C_{\text{СУМ}}=1,03 \%$;
- Зона № 2, интервал 1 440–1 460 м (-523,5/-538,7 м абс.) – умеренные нефтепроявления: $\max \Gamma_{\text{СУМ}}=0,006 \%$, $C_{\text{СУМ}}=0,008 \%$;
- Зона № 3, интервал 1 460–1 545 м (-538,7/-602,8 м абс.), 1 445–1 490 м (-527,3...-561,5 м абс.); 1 490–1 545 м (-561,5/-602,8 м абс.) – умеренные нефтепроявления: $\max \Gamma_{\text{СУМ}}=0,33 \%$, $C_{\text{СУМ}}=0,278 \%$;
- Зона № 4, интервал 1 545–1 559 м (-602,8/-613,2 м абс.) – умеренные, скудные нефтепроявления: $\Gamma_{\text{СУМ}}=0,033 \%$, $C_{\text{СУМ}}=0,025 \%$.

Газонасыщенность кимберлитов и вмещающих пород составила: - для пород олдондинской (*O_{1ol}*) 0,19–0,53 м³/м³; - пород моркокинской (*C_{3 mrk}*) 0,2–0,56 м³/м³; - пород мархинской (*C_{3 mrh}*) 0,13–0,60 м³/м³; - порфировых кимберлитов 0,12–1,14 м³/м³; - кимберлитовых брекчий 0,1–1,33 м³/м³.

Углеродородное насыщение вмещающих пород трубки Удачная, как правило, связано со вскрываемыми водоносными комплексами. Первый от поверхности верхнекембрийский водоносный комплекс приуроченный к коллекторам моркокинской и мархинской свит не формирует скоплений углеводородов и характеризуется невысокой газонасыщенностью от 0,01 до 0,3 м³/м³, причём газы имеют преимущественно азотно-метановый состав. Ниже залегающие средне- и нижнекембрийские водоносные комплексы отличаются высокой водообильностью и, как правило, достаточно высокими параметрами проницаемости от 10 до 150 м²/сут. Для коллекторов рассматриваемых комплексов характерно повсеместное углеводородное газонасыщение. Причём газонасыщенность рассолов составляет от 1 до 3,5 м³/м³, закономерно увеличиваясь с глубиной. Фактически полученные при осушении трубки Удачной до отм. - 465 м притоки пластовых углеводородных газов соответствуют притокам природных рассолов, с учётом средней газонасыщенности 1-1,5 м³/м³.

Анализируя представленную информацию, необходимо отметить следующие отличия:

– пластовые газы трубок Алакит-Мархинского кимберлитового поля приурочены к слабопроницаемым коллекторам свит верхнего кембрия и нижнего ордовика, причём анализируя полученные, при проведении разведочных работ, притоки флюидов необходимо говорить о неструктурных литологически- и структурно-тектонически экранированных микрозалежах, незначительных объёмов (первые тысячи м³);

– в пределах шахтного поля трубки Удачная, напротив, основное количество газов находится в растворённой форме рассолов среднекембрийского и нижнекембрийского водоносных комплексов, и поступление УГВ в ПГВ связано с прямой дегазацией рассолов.

Необходимо отметить, что причины возникновения выявленных микрозалежей УГВ на месторождениях Алакит-Мархинского кимберлитового поля (тр. Айхал и Юбилейная) несомненно требуют дополнительного рассмотрения и непосредственного доизучения.

Список литературы

1. Гидрогеология СССР. Том XX. Якутская АССР. – М.: Недра. – 1970. – 384 с.
2. Колганов В.Ф., Акишев А.Н., Дроздов А.В. Горно-геологические особенности коренных месторождений алмазов Якутии. – Мирный: Мирнинская типография. – 2013. – 568 с.
3. Гиниятулин И.М., Блажкун Д.В., Ивашина Е.И., Коробков Г.В. Материалы к легенде Ботуобинской серии листов геологических карт масштаба 1:50000. Министерство геологии РСФСР. – Мирный. – 1989. – 70 с.
4. Бодунов Е.И., Белецкий В.Л., Фрадкин Г.С. Геология, гидрогеология и геохимия нефти и газа южного склона Анабарской антеклизы. – Якутск: изд. ЯФ СО АН СССР. – 1986. – 176 с.
5. Янников А.М. Гидрогеология Алакит-Мархинского кимберлитового поля. Мирный: Изд-во ЗЯНЦ/ЯНА, 2022. 132 с.
6. Янников А.М., Зырянов И.В., Янникова С.А. Корепанов А.Ю. Перспективы использования глубокозалегающих водоносных горизонтов для закачки слабо-минерализованных вод // Горная промышленность. Москва. 2022. №1. С. 76-81.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР

УДК 622.33:0056

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ УГЛЯ НА МАЛЫХ РАЗРЕЗАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Гаврилов В.Л.^{1,2}, Фёдоров В.И.¹

¹ИГДС СО РАН, г. Якутск, ²ИГД СО РАН г. Новосибирск

Высокая конкуренция на рынке топливно-энергетических ресурсов в стране и общее ухудшение состояния сырьевой базы угледобывающих предприятий предполагает объективную необходимость улучшения качества поставляемой потребителям продукции. В полной мере это относится к разрезам малой производственной мощности, работающим в цепочках обеспечения удаленных, энергоизолированных районов Дальнего Востока.

Успешному решению задач расширения объёмов производства и роста его конкурентоспособности здесь противодействует комплекс природно-климатических, горно-геологических и организационно-экономических факторов, удорожающих любую деятельность и формирующих значительные технологические, транспортно-логистические и социально-экономические риски. Наиболее ярко они проявляются в северных районах Якутии, где из-за не развитой инфраструктуры, разбросанности по огромной площади разведанных угольных месторождений, малого количества населенных пунктов, очень сложной логистики, сезонности и несовпадения сроков доставки грузов водным и автомобильным транспортом условия нормального обеспечения всеми видами ресурсов резко усложняются.

Выполненный анализ показывает, что в России с той или иной степенью эффективности функционирует ряд угольных предприятий, участвующих в локальных топливно-энергетических комплексах Крайнего Севера, которые обеспечивают труднодоступные районы тепловой и электрической энергией.

Горно-геологические условия и технические возможности каждого из семи действующих в центральной и арктической зонах Якутии разрезов («Джебарики-Хая», «Зырянский», «Кангаласский», «Кировский», «Кемпендэйский», «Мироновский», «Харбалахский») позволяют при появлении устойчивого спроса в сжатые сроки значительно увеличить объемы добычи, которые в настоящее время для каждого из них находятся в диапазоне 15-200 тыс. т. В число основных причин ограниченного внутри регионального использования угля входят: его более низкая топливная эффективность по сравнению с жидкими углеводородами; сравнительно невысокий уровень качества отгружаемого и сжигаемого угля; действие ГОСТов и технических

условий на уголь для пылевидного и слоевого сжигания, ориентированных в основном на учёт интересов добывающих предприятий; формируемые при длительных циклах его доставки и хранения потери по количеству и основным потребительским свойствам.

При кажущемся внутреннем единстве цепочки добычи, поставок и использования угля каждым из их участников рассматриваются с позиций собственной выгоды. Отсутствует практическая интеграция работы. Основными оценочными показателями выступают объёмы добытого, перевезенного и сгоревшего угля, а качество угля на месте потребления и количество потребленной и оплаченной потребителем тепловой или электрической энергии, как общие для всех участников цепочек критерии эффективности, остаются за кадром.

Изучение научно-технической литературы, натурные наблюдения на разрезах региона, складах угля (разрезов, промежуточных, береговых, котельных, ТЭЦ) открытого хранения, входящих в цепочки поставок угля в труднодоступные районы региона, а также выполненные лабораторные исследования, в том числе с использованием оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН в рамках гранта №13.ЦКП.21.0016, позволили оценить уровень управления качеством угля на малых разрезах Крайнего Севера и сделать выводы об его недостаточной эффективности.

Основные объёмы угля добываются из расположенных в криолитозоне пластов в основном в холодное время года, а отгружаются на речной транспорт летом в рядовом виде, даже при наличии в ряде мест дробильно-сортировочных установок. При имеющихся технологических возможностях повсеместно осуществляется валовая выемка угля даже на сложных по строению пластах и из угленасыщенных зон. Отсутствует сортировка, сухое или мокрое обогащение, а глубокая переработка на протяжении десятков лет только обсуждается. Ряд разрезов отрабатывает месторождения бурого угля марок Б1-Б3 или повышенной зольности, или характеризующиеся сравнительно низким уровнем теплоты сгорания рабочего топлива.

Из-за ярко выраженной сезонности потребления, необходимости быстрого вывоза удаленным потребителям в очень ограниченные сроки навигации и работы «автозимников» возникают потребности накопления и длительного хранения угля на складах. Склады организуются на естественных или техногенных площадках с минимальным уровнем инженерной подготовки. Если в холодное время года с хранимым углем не происходит видимых изменений, то летом свойства добытого топлива на воздухе могут быстро изменяться из-за окисления и интенсивного саморазрушения крупных и средних по размерам кусков с появлением большого количества углей мелких классов, неэффективных для широко используемого в регионе слоевого сжигания. Более характерно это для поверхностных слоев штабелей первичного хранения на разрезах и всех объёмов на удаленных от мест добычи складах. Основная

причина – потеря внутренней и внешней влаги и окисление угля, нередко представленного низкометаморфизованными марками Д, Б3, Б2.

На малых разрезах практически везде отсутствуют собственные службы контроля качества. Мониторинг свойств угля по ограниченному перечню показателей (зольность, рабочая влажность, содержание минеральных и опасных примесей) осуществляется периодически во внешних лабораториях или выполняется только формально. Это сильно затрудняет оперативную количественную оценку качества угля в местах добычи. При использовании угля оценка его свойств за исключением ограниченного количества крупных предприятий не производится. С учётом несовершенства управления на разрезах и происходящих с углем изменений в цепочках поставок это ставит потребителей в невыгодное положение.

В самых сложных по логистике схемах поставок фактические потери угля при транспортировании и хранении (до 20% без учета потерь по качеству) часто превышают нормативные (8,4-11,3%). Применение некоторых марок угля не в полной мере учитывает требования современных технологий сжигания к его качеству. Существует определённое несоответствие качества используемых углей проектным параметрам при сжигании. Засорение угля породой при добыче, грунтом при неоднократным перевалках, посторонними предметами ведет к повышенным затратам.

В такой ситуации наряду с необходимостью изменения существующих подходов к управлению качеством угля требуется корректировка и нормативных документов, регламентирующих требования к качеству поставляемого потребителям Крайнего Севера угля. В соответствии с современными требованиями оценку запасов и отгружаемой продукции следует производить с учётом увеличения количества одновременно контролируемых и управляемых параметров. В отношении угольных месторождений, обрабатываемых малыми разрезами, это дополнительно могут быть показатели, характеризующие, например, теплоту сгорания на рабочее топливо; скорость окисления угля; содержание мелких классов в рядовом добытом угле и после его хранения на открытых складах. В контексте ресурсосберегающего комплексного использования потенциала угля этот перечень может быть изменён и дополнен.

Изучение первичной и обобщенной геологической и геотехнологической информации на основе сформированных баз данных и цифровых моделей угольных месторождений региона, оценка условий отработки запасов угля действующими и перспективными разрезами показывает, что при учёте возможностей и согласовании интересов всех участников цепочек поставок угля имеется достаточно большой потенциал для совершенствования управления качеством при добыче и подготовке угля к поставкам. Это предопределяет целесообразность поиска, оценки и использования различных технических и технологических решений, методов организации и управления, направленных на сглаживание противоречий между природной изменчивостью свойств сырья в недрах, возможностями малых разрезов и необходимостью поставок

на рынок продукции со свойствами, обеспечивающими стабильную работу энергетических предприятий и долгосрочный спрос на региональное твёрдое топливо.

УДК 622.3:553(571.6)

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ГОРНОГО КОМПЛЕКСА – ОСНОВА ОПТИМАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕДРАМИ

Крюков В.Г.

ХФИЦ Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск

Цель исследования заключается в анализе ситуации с подготовкой, добычей и переработкой руды и концентратов полезных ископаемых и совершенствовании деятельности горного комплекса на основе оптимального государственного управления недрами.

Горная промышленность для регионов Дальнего Востока России является одним из основных направлений в экономике. Устойчивое развитие горного комплекса, на предприятиях которого трудятся десятки тысяч специалистов, в том числе местных жителей, является прерогативой органов государственной власти соответствующих территорий. Стабильность производства геологоразведочных, горнодобывающих и перерабатывающих предприятий в определенной мере зависит от программного обеспечения горного комплекса (Стратегия).

Суть Стратегии отражается в разделах: формирование минерально-сырьевой базы, инновационные особенности развития горного комплекса, территориальное планирование и возможность кооперации предприятий комплекса, социально-экономические и экологические аспекты недропользования. При этом органы государственной власти получают документ для долгосрочного планирования добычи и переработки минерального сырья и планового управления отраслью, а также решения социальных проблем региона. Для добывающих и перерабатывающих компаний Стратегия является основой при выборе новых рудных объектов и корректировке объемов производства металлов на действующих предприятиях.

В работе использованы подходы, апробированные автором для различных регионов. Так, для Камчатского края Стратегия была разработана в 2008 году. Следует отметить две важные проблемы существующих в субъектах документов: 1) отсутствие достоверной и современной информации о состоянии природных, трудовых и финансовых ресурсов; 2) отсутствие интегрированных проектов.

К особенностям пространственного положения месторождений, рудопоявлений и пунктов минерализации относится дискретность их распределения, что позволяет оконтуривать ареалы по сгущениям объектов. Так, например, в пределах Хабаровского края, на территории площадью около

787 тыс. кв. км, выделяются 13 ареалов. Они отличаются друг от друга металлогенической специализацией, различной освоенностью, потенциалом основного металла и сопутствующих полезных ископаемых. Конфигурация ареалов обусловливается изометричными сводово-блоковыми, а также линейными структурами, контролирующими магматизм и оруденение.

Основополагающим направлением при разработке Стратегии является анализ выделенных ареалов, в частности, перспективы и возможности как монометалльного, так и комплексного освоения территории. При этом рассматриваются не только месторождения высоколиквидной продукции, но и остальные виды минерального сырья. Возможности использования минеральных ресурсов увязываются с финансовой потребностью и обеспеченностью трудовыми ресурсами.

Наиболее изученным из золотоносных территорий Хабаровского края являются Нижнеамурский ареал, который может рассматриваться как эталон для различных построений. Эксплуатируются четыре месторождения, в последние годы оценены пять месторождений и ещё более десяти объектов могут быть переведены в категорию средних или крупных месторождений. Нижнее Приамурье является одной из наиболее перспективных площадей Хабаровского края на обнаружение крупнообъемного золотого и медно-порфирирового оруденения. Ареал выделяется также как район концентрации месторождений алунитовых вторичных кварцитов – источника алюминиевого сырья. Выявлены полиметаллические, редкометалльные, молибденовые и вольфрамовые объекты, в том числе крупнообъемного порфирирового типа.

Освоение Нижнеамурского ареала, как и любого другого минерального центра, включает ряд стадий. Первая стадия – *стадия наращивания производственного потенциала*. К существующему Многовершинному ГОКу добавились Белогорский, Албазинский и Полянкинский комбинаты. Объем выпуска продукции, начиная с 2014 г, возрос с 5-7 т до 12-14 т золота. На второй стадии – *стадии развития минерально-сырьевой базы ареала и освоения новых месторождений* – в эксплуатацию вовлекается 6-7 золоторудных и золотосодержащих объектов. В их числе: Дяппе, Делькенское, Кутынское, Малмыж, Чульбаткан, Учаминское. В результате, начиная с 2022-2025 гг. ГОКи, эксплуатирующие указанные 6 месторождений, смогут ежегодно производить от 8-12 до 20 т золота, а также медь и другие металлы. Третья стадия – *стадия комплексного освоения минерально-сырьевой базы территории* – наиболее сложная в части прогнозирования экономики. Она опирается на наличие перспективных проявлений различных полезных ископаемых с крупнообъемным оруденением. Это месторождения золота Агни-Афанасьевское, Дыльменское, Кабачинское, Леводжегдагское, Покровско-Троицкое, медно-порфирировые с золотом проявления Золотая Гора, Зимовье, Понийское, вторичнокварцитовые Шелеховское, Искинское, Гряда Каменистая. Освоение их может начаться в 2025-2030 гг. Все ГОКи смогут производить до 40 т золота, около 325 тыс. т. медного концентрата, 0,1 млн. т алюминия и другую продукцию.

Важной составляющей Стратегии является её инновационная часть. Для горного комплекса в качестве новаций рассматриваются вопросы использования мобильных технических средств и освоение стратегических видов сырья – редких и редкоземельных элементов.

В крае необходимо поддерживать стационарные перерабатывающие производства: нефтеперерабатывающие и гидрометаллургическое предприятия. Вместе с тем, учитывая мировой опыт пространственного совмещения добывающих предприятий и металлургических производств, актуальным становится перемещение перерабатывающих производств к местам добычи и заготовки ресурсов. В настоящее время [1] разрабатываются или уже используются минипредприятия по переработке продукции горнодобывающей промышленности: плазменные котлы, электрошлаковый переплав, установки типа MACRO и др. Успешно функционируют предприятия по переработке вольфрамового сырья на основе металлотермии, порошковой металлургии. В России это, по сути, пионерное направление исследований, позволит привлекать финансовые ресурсы специализированных государственных корпораций.

Освоение редких и редкоземельных металлов: Дальний Восток России, территориально соседствующий со странами АТР, имеет уникальную возможность содействовать быстрому вхождению России в число развитых стран. При этом в качестве катализатора процесса рассматривается получение и использование в отечественной промышленности редких и редкоземельных элементов. Рудопрооявления, реже месторождения этих металлов имеются практически во всех дальневосточных субъектах России. К настоящему времени относительно хорошо подготовлено для освоения месторождение Томтор в республике Саха (Якутия). Все остальные объекты требуют дополнительных геолого-технологических исследований. Их доизучение и разработка будет определяться готовностью государства к переходу на новый технологический уклад в экономике.

Кооперация предприятий: Очень большое значение при разработке Стратегии имеет проблема кооперации предприятий. В процессе развития минерального комплекса станет востребованной территориальная и отраслевая кооперация. Вершиной альянсов являются кластеры [2], которые пока ещё не нашли должного развития в горной промышленности Российской Федерации. Это объясняется недостаточной открытостью технической и экономической информации отечественных предприятий. В условиях своеобразной рыночной экономики России для объединения необходимы: наличие территориально-сгруппированных источников сырья, а также трудовых, финансовых и производственных ресурсов; наличие действующих и перспективных для освоения в ближайшие 3-4 года инвестиционных проектов; общность транспортной и энергетической инфраструктуры; возможность и необходимость кооперации предприятий; поддержка объединения органами государственной и муниципальной власти.

Таким образом, планомерное развитие минерального комплекса, являющегося одним из основных направлений в экономике дальневосточных

субъектов России, требует разработки программного обеспечения его деятельности. Для оперативного планирования на первом этапе достаточно сформировать Стратегию развития горного комплекса. Она должна опираться на районирование территории субъекта, анализ выделенных ареалов, взаимную скоординированность минеральных, трудовых и финансовых ресурсов при синтезе материалов по конкретным ареалам. В результате Стратегия должна определить последовательность действий, в том числе первоочередные объекты для эксплуатации, а также финансовые вложения и соответствующие поступления.

Стратегия охватывает практически все виды минерального сырья конкретного региона, поскольку освоение максимального количества видов полезных ископаемых обеспечивает устойчивость деятельности горной промышленности. Однако финансирование проекта по разработке Стратегии имеет решение в случае привлечения средств инвесторов. У государства в настоящее время нет заинтересованности в региональных Стратегиях (Программах) развития горного комплекса. Дальневосточные субъекты Российской Федерации вынуждены самостоятельно разрабатывать документы планирования, чаще всего отвечающие статусу Плана развития горной промышленности.

Список литературы

1. Materials Week. International Conference of Minerals and Materials Society // Rosemont (Chicago) - USA // 1994. P.1 183.

2. Porter M.E. Clusters and the New Economics of competition//Harvard Business Review, November – December, 1998. P.220

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ПОЛНОТЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ ИЗ НЕДР ^{*)}

Панфилов Е.И., Сабянина Т.В.

ИПКОН РАН

Согласно стратегии развития минерально-сырьевой базы (МСБ) РФ до 2035 года калийные соли отнесены к первой группе полезных ископаемых. Государственным балансом запасов полезных ископаемых учитываются 8 месторождений и по состоянию на 01.01.2021г. составляют: по категории А+В+С₁ чуть менее 17 млрд. т т.н. «сырых» солей (более 3 млрд. т К₂O); С₂ – почти 100 млрд. т (свыше 14 млрд. т К₂O); забалансовые запасы почти 40 млрд. т сырых солей (4,6 млрд. т К₂O).

^{*)} Оценка выполнена на основе изучения материалов, содержащихся в государственных докладах «Состояние и использование минерально-сырьевых ресурсов РФ за 2007–2020 г.г.», данных Государственного фонда недр и имеющихся публикаций по этой теме.

Прогнозные ресурсы выявлены в 9 регионах: Коми, Калининградская обл., Калмыкия, Астраханской, Волгоградской, Саратовской, Оренбургской, Иркутской областях и Пермском крае и содержатся в 34 объектах (участках, районах, площадях, узлах). Оцениваются в количестве более 21 млрд. т, причем в распределенном фонде недр находится около 26%, в т.ч. P_1 – 42%, P_2 – 58%. Более 52% приходится на Южный округ, 42% – на Приволжский и 16% – на Северо-Западный.

Калийные соли имеются в недрах 20 стран мира. Суммарные запасы превышают 3,9 млрд. т K_2O , а прогнозные ресурсы порядка 250 млрд. т K_2O .

Российская Федерация среди основных производителей: Канады, Белоруссии и Китая по имеющимся запасам находится на 2 месте (на 2020г. – 21%), несколько превышает Белоруссию (19%) и заметно уступает Канаде (28%). Ей принадлежит лидирующая роль по постоянно наращиваемым запасам (с 2018 по 2020 – 7%) в то время как Россия сократила их почти на 4% (за те же 3 года), хотя общая доля запасов РФ и Белоруссии превышает 40%.

Приходится констатировать, что Канада обеспечивает 40-45% экспорта калийных удобрений, причем ее сырьевая база огромна – ресурсы превышают 65 млрд. т K_2O , а содержание K_2O высокое – 22,8%. Для сравнения: на Верхнекамском месторождении, обеспечивающем 99,5% добычи по стране, среднее содержание – 17,4%, в белорусских рудах 13-15%, но на развивающемся Гремячевском месторождении около 25%.

Степень освоения отечественной сырьевой базы крайне низкая – 3,9% запасов; 18% заключено в подготавливаемых и разведываемых месторождениях. Тем не менее общее состояние МСБ калийных солей вполне удовлетворительное. При существующих объемах добычи обеспеченность превышает 300 лет.

Изучение практики ведения добычных работ вызывает серьезную озабоченность с точки зрения полноты извлечения запасов калийных солей из недр. По данным госдоклада «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов РФ за 2020 г.» следует, что фактические потери K_2O за последние 10 лет (2011-2020 гг.) выросли более чем на 20% и составили в среднем за этот период свыше 70% (см. табл.).

Таблица

Годы	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Добыча, млн.т K_2O	7,6	6,3	6,9	8,6	8,4	8,7	8,6	8,5	8,7	9,6
Потери	11,4	10,7	11,7	13,7	14,4	14,6	15,9	15,0	14,7	17,4
%	150	170	170	160	171	180	185	176	169	181

По основным проектируемым проектам месторождений в Пермском крае (Верхнекамском, в т.ч. по участкам Палашерском, Балахонцевском, Усть-Явинском, Талицком; Нивенском (Калининградская обл.), Гремяченском (Волгоградская обл.) проектные потери составляют 60-70%.

Кроме того, как показал анализ материалов госдокладов с 2009 по 2020 годы, весьма существенна величина списанных, уменьшенных при переоценке и

вследствие изменения т.н. технических границ потери составили 235,8 млн. т K_2O плюс непосредственные потери при добыче 162,2 млн. т. В сумме они равняются 298 млн. т K_2O . То есть общие потери балансовых запасов в пересчете на K_2O за 10 лет составили 320% (3,2 раза), иными словами на 1т полученного K_2O при добыче руды приходится 3,2 т потерянной. При этом следует иметь в виду тот факт, что на 1т K_2O приходится в 5-9 раз больше извлеченной из недр сырой руды. С точки зрения экономики согласно официальной статистики за 2020 г. при цене хлористого калия 218 \$/т от экспорта 11 млн. т получена сумма около 2,4 млрд \$, а убытки от потерянных 17 млн т составили 3,7 млн \$. В пересчете на рубли (60 руб./\$) соответственно 144 млрд руб. и 222 млрд. руб. Столь расточительное, пусть и крупных имеющихся запасов нельзя считать допустимым.

Главной причиной правомерно считать применяемую камерную систему ведения горных работ с применением закладки материалом, которым служат солевые (хлорнатриевые) отходы обогатительных фабрик и горная масса от проходки различных выработок в подстилающей каменной соли. Такая закладка не способна выдержать нагрузку вышележащих горных пород.

К тому же важно учитывать, что еще в 1993 году начались проявления техногенных землетрясений. Первое силой 4 балла произошло в 1995 году, следующее в 1997 также с силой 4 балла. К настоящему времени их зарегистрировано несколько сотен силой от 2 до 5 баллов по шкале Рихтера. Кроме того имеется наличие значительных незаложенных площадей.

Выполненная в 2002 г. ФГБУ Горным институтом УРО РАН научная работа по «Актуализации потенциально опасных по нарушению сплошности ВЗГ участков на шахтных полях ОАО «Уралкалий» позволяет иметь представление о степени опасности отдельных участков месторождения и возможности предпринимать какие-либо меры по их предупреждению.

Однако дать прогноз о нарушениях всего массива вряд ли в настоящее время представляется возможным, о чем свидетельствуют многие факты, в т.ч. затопление 2-х рудников. Не следует забывать, что под некоторыми участками Верхнекамского месторождения производится добыча нефти, сопровождаемая образованием выработанного пространства, способного привести к нарушению напряженно-деформированного состояния налегающих пород. Отрицательную роль в формировании опасных проявлений играет газоносность солей, подразделяемая по форме нахождения на свободные (объем скоплений достигает 200 м^3), и связанные. Газообильность изменяется от $0,02$ до $0,46 \text{ м}^3/\text{м}^3$ для связанных газов и от $0,01$ до $2,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ – для свободных газов. Нерациональной выемке запасов способствует наличие нескольких кампаний, участвующих в освоении месторождения.

Вместе с тем приходится констатировать, что почти 100% продукции калийных солей приходится на Верхнекамское месторождение, причем 80-85% её вывозится за рубеж. И хотя 65% производимых в мире калийных удобрений приходится на Канаду, спрос на мировом рынке неуклонно возрастает, особенно в современной международной обстановке, обусловленной, в частности, нарастающим продовольственным кризисом.

В этих условиях проблема разработки стратегии развития этой отрасли минерально-промышленного комплекса приобретает государственное значение. Она многовариантна.

В нашем представлении предпочтительным целесообразно считать:

1. Постепенное (поэтапное) сокращение объемов добычи калийных солей на Верхнекамском месторождении, ориентируя ее на выемку запасов на участках, имеющих наименьшую опасность опускания поверхности (по Бареху А.А.).

2. Максимально интенсивное развитие работ (поисковых, проектных, добычных) на Гремяченском узле обнаруженных месторождений.

Доводы:

- Высокое качество руд (20-25% K_2O) в сравнении с верхнекамскими (17%);
- Близость к сельхозугодиям (минимизация затрат на транспорт);
- Более безопасное ведение горных разработок, особенно с точки зрения техногенных землетрясений;
- Широкие возможности совершенствования технологии ведения горных работ;
- Улучшенная экономика, в т.ч. себестоимость готовой продукции;
- Снижение потерь на различных стадиях.

В качестве одной из первоочередных мер следует считать рассмотрение проблемы на межфракционной группе в Гос. Думе РФ по проблемам недропользования, возглавляемой вице-спикером Гордеевым А.В. с последующим представлением выработанных мероприятий на малый Госсовет с привлечением ученых, специалистов НИИ, РАН, ВУЗов и горнотехнической общественности, знакомой с проблемой по существу.

Учитывая значимость и масштабность продукции, получаемой при эксплуатации Верхнекамского месторождения, 80-85% которой поставляется за рубеж, сложности конкуренции с канадскими производителями, а также весьма расточительную добычу калийных солей, проблема дальнейшего развития калийных месторождений равно как и других, производимых видов удобрений, требует незамедлительного государственного вмешательства на высшем уровне власти.

338.45:622.349.2

СОСТОЯНИЕ АЛЮМИНИЕВОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ СЫРЬЕВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Прокофьева Л.М.¹, Кузовлева Н.Ф.², Сума С.¹

¹ *РГГРУ им. Серго Орджоникидзе*

² *Российский технологический университет*

Российская алюминиевая промышленность сосредоточена в руках объединенной компании монополиста - ОК «РУСАЛ». Объединённая компания

«РУСАЛ» - транснациональная корпорация, один из мировых лидеров по производству алюминия, глинозёма, фольги и добыче бокситов. Предприятия компании расположены в 20 странах на 5 континентах.

В 2020 г. доля «РУСАЛа» на мировом рынке алюминия составляла 5,8%, а на мировом рынке производства глинозёма - 6,3%. Основным источником доходов ОК «РУСАЛ» остаётся продажа алюминия, на это направление приходится 83% в структуре доходов компании [1].

Основные рынки сбыта - Россия и страны СНГ, ЕС, США, Китай, Япония и Южная Корея. Доля экспорта достигает более 75% производства. При этом основным рынком сбыта в последнее десятилетие являлись страны ЕС. Так как значительная часть произведенного алюминия отправлялась за рубеж, компания находится в зависимости от мировой конъюнктуры рынка, определяющей цены на алюминий, которые в последнее десятилетие демонстрировали высокую волатильность. В этой связи стратегическое направление развития российской алюминиевой отрасли должно состоять в переориентации ее на внутренний рынок и получении не только первичного металла, но и продукции с высокой добавленной стоимостью.

В 1 полугодии 2020 г. из-за падения спроса на металл из-за пандемии COVID-19 разница между ценой реализации и себестоимостью производства алюминия стала минимальной (190 долларов/т) [2]. Во 2-м полугодии компании удалось уменьшить себестоимость за счет снижения затрат на электроэнергию и сырье. За счет роста цен на алюминий «РУСАЛ» в 2021 г. смог улучшить финансовые результаты. Выручка компании в 2020 г. составила 618,0 млрд рублей, в 2021 г. выросла до 883,7 млрд. Чистая прибыль в 2020 г. – 54,8 млрд руб., в 2021 г. – 237,6 млрд руб. [1,2].

В условиях предполагаемого перехода к «зеленой» экономике и введения «углеродного налога» странами ЕС «РУСАЛ» имеет преимущество перед другими мировыми производителями, поскольку 90% алюминия компанией производится с использованием электроэнергии, получаемой на ГЭС, то есть от возобновляемых источников энергии.

В 2020 г. «РУСАЛ» произвел 3,755 млн т алюминия (94,5% – на российских предприятиях). Для сохранения текущего производства на российских заводах компании необходимо 7,5 млн т глинозема (промежуточного продукта для получения алюминия) и более 15 млн т бокситов. Однако российские сырьевые активы компании обеспечивают ей всего 1/3 глинозема, необходимого для поддержания текущего производства.

Общая картина положения дел с сырьевым обеспечением российской алюминиевой отрасли неоднозначна. С одной стороны, в России разведаны 44 месторождения алюминиевого сырья, общих запасов которых хватит на 240 лет добычи при полном импортозамещении. В то же время в промышленной разработке находятся лишь 7 месторождений (6 бокситов и 1 нефелиновых руд), и на протяжении более 15 лет наблюдается растущий дефицит сырья, покрывать который страна вынуждена за счет импорта [1,3]. Такое положение можно объяснить следующим образом.

Во-первых, российские бокситы характеризуются в целом более низким качеством по сравнению с зарубежными, по содержанию оксида алюминия их следует отнести к бедным. По мировым стандартам они даже не могут относиться к категории промышленных. Следует обратить внимание и на тот факт, что российские месторождения сырья, пригодного для производства алюминия, представлены не только бокситами, но и нефелинами (в 2020 г. производство глинозема из нефелиновых руд составило 1,074 млн т), а по качеству нефелины значительно уступают бокситам.

Во-вторых, - неблагоприятные горно-геологические условия эксплуатации месторождений. Исследования показали низкую конкурентоспособность многих объектов не только из-за неудовлетворительного качества руды, но и из-за необходимости применения шахтного способа добычи и высокой обводненности месторождений.

В-третьих, часть запасов сосредоточена в месторождениях, расположенных в северных труднодоступных районах страны, где отсутствует обеспечивающая и транспортная инфраструктура.

В-четвертых, некоторые эксплуатируемые ранее месторождения бокситов к настоящему времени уже выработаны. АО «Бокситогорский глинозем» в Ленинградской области в 2001 г. прекратил свое существование из-за полной отработки запасов. В 2005 г. ликвидировано предприятие «Южно-Уральские бокситовые рудники (ЮУБР)».

Таким образом из-за слабости собственной алюминиевой сырьевой базы Россия в значительной мере вынуждена ориентироваться на привозное сырье. Но в сложившихся в настоящее время условиях надеяться на стабильность поставок традиционных зарубежных партнеров не приходится. Традиционными поставщиками глинозема долгое время были Украина и Казахстан. Ситуация на Украине нестабильна. Казахстан планирует расширять собственное производство алюминия. Австралия, крупнейший в мире экспортер бокситов, постепенно наращивает собственное производство металла, сокращая поставки сырья на мировой рынок.

Анализ сырьевой базы алюминиевого сырья позволяет предположить низкую вероятность полного импортозамещения по сырью для российской алюминиевой отрасли при сохранении экономической эффективности производства металла. Положение с основным сырьем для алюминиевой отрасли – бокситами в России во многом объясняется неравномерностью расположения месторождений полезных ископаемых на нашей планете и, в частности по территории России. Одним из путей решения проблемы представляется развитие производства не только на собственной сырьевой базе, но и с использованием привозного сырья, путем выстраивания надежных отношений с новыми поставщиками. В качестве внешних источников можно рассматривать месторождения бокситов в Гвинее и Вьетнаме. Эти страны наряду с Австралией и Бразилией занимают ведущие позиции в мировом рейтинге стран с крупнейшими запасами бокситов.

Пытаясь уйти от сырьевой зависимости, «РУСАЛ» до 2023 г планирует начать опытно-промышленное производство глинозема из каолиновых руд на Ачинском глиноземном комбинате (Красноярский край), используя новые технологии [1].

Повышенное внимание к росту обеспеченности сырьем и внедрение новых инновационных технологий – важные шаги с точки зрения устойчивого развития алюминиевой отрасли, т.к. способствуют повышению сырьевой безопасности страны и экономической эффективности бизнеса.

Список литературы

1. РУСАЛ. Официальный сайт. [Электронный ресурс] – URL: <https://rusal.ru/> (дата обращения 23.07.2022)
2. Динамика цен на алюминий (LME. Alum, USD за тонну). [Электронный ресурс] – URL: <https://metallichekiy-portal.ru/index-cen-lme> (дата обращения 25.07.2022).
3. Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года. [Электронный ресурс] - URL: mnr.gov.ru/...strategiya_razvitiya...bazy...2035_goda... (дата обращения 27.07.2022).

УДК 338.2: 553.04

ПОДХОДЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА В АНТИКРИЗИСНОМ УПРАВЛЕНИИ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА

Рыжова Л.П., Верчеба А.А., Боровков Ю.А., Кольцова В.М.

РГГРУ им. Серго Орджоникидзе

Принятие решений в сложных системах осуществляется техническим приспособлением или исследователем и основывается на сравнении и оценке вариантов действий. Изучение процедур принятия решений и соответствующей организации системы является актуальной проблемой при создании и эксплуатации сложных систем. Принятие таких решений невозможно без системного анализа.

Ученые и исследователи считают, что системный подход как методология, в основе которой лежит исследование объектов и явлений, как систем, до конца еще не сформирован. Разнообразие определений такой категории, как система, говорит о том, что до сих пор его однозначного определения нет. Понятие системы играет важную роль в современной философии, науке и практической деятельности. Это понятие с давних пор вошло в нашу жизнь.

Впервые термин «система» в более современном понятии встречается в Древней Элладе. Изначально система означала организм, устройство, строй сочетание, союз или организацию.

В дальнейшем определение системы меняется. Уже в античной философии ее рассматривают как упорядоченность и целостность объектов. В этот период было сформировано важнейшее свойство системы, что целое больше

суммы его частей. Это свойство в дальнейшем послужило толчком для развития синергетики как научного направления.

Множество определений этого понятия говорит о том, что, по сути, до сих пор нет однозначного определения системы. Теоретики считают, что системный подход – это новый взгляд на мир, который сложился в XX веке, и он до конца еще не сформирован. Можно сделать вывод, что все существующие определения понятия «система» по своей сути являются определениями следствий, которые вытекают из свойств, но самого определения этого понятия еще нет [1].

Системный подход проявляется в решении важнейших народнохозяйственных задач путем разработки и реализации комплексных межотраслевых программ. Суть системного подхода к планированию развития минерально-сырьевой базы и геологоразведочных работ заключается в учете и использовании всех зависящих от них наиболее существенных связей в народном хозяйстве. Развитие минерально-сырьевой базы имеет первостепенное значение, так как минеральные ресурсы являются основой развития всех отраслей народного хозяйства и перспективного планирования экономики.

Нарастающий технологический прессинг на природные экосистемы приводит к их быстрому и часто необратимому разрушению, которое по своим масштабам постепенно принимает глобальный характер. При этом парадоксальность ситуации заключается в том, что прогрессирующая деградация природы происходит на фоне быстро растущих расходов человечества на ее охрану; при этом энергетические ресурсы, необходимые для сохранения природы на современном уровне развития, могут быть получены только путем техногенного разрушения фундамента этой природы – литосферы Земли.

Научную основу геологоразведочных работ составляют такие традиционные науки о Земле, как петрография, тектоника, геохимия, геофизика, учение о формациях, полезных ископаемых, а также технические дисциплины, определяющие технологию проведения геологоразведочных работ (бурение, проходку). Применение этой системы знаний может идти по двум направлениям: разработка информационных моделей геологических объектов с позиций каждый из перечисленных геологических дисциплин и целевой комплексный анализ этих моделей; разработка алгоритмов и программ, обеспечивающих автоматизированный комплексный анализ наборов данных по этим моделям, использование методов математической статистики для принятия оперативных управляющих решений, необходимых для гибкого планирования геологоразведочных работ (с учетом горно-геологических условий геологического объекта и знания принципов комплексирования) [2].

Антикризисное управление как понятие стало активно использоваться в последние десятилетия. Как правило, оно определяется как «...управление, определенным образом предвидящее опасность кризиса, предусматривающее анализ его симптомов, меры по снижению отрицательных последствий кризиса и использование его факторов для последующего развития [3].

Теоретическое обоснование формирования и строения экономического механизма антикризисного управления должно носить комплексный характер и базироваться на следующих положениях: использование системного подхода к процессу управления и принятие решений в кризисной ситуации, учет качественно-структурных и целефункциональных закономерностей, а также экономических противоречий [4].

К социально-экономическим системам — объектам антикризисного управления — относятся организации, предприятия и региональные экономические структуры.

К числу особенностей антикризисного управления относится повышенная чувствительность к фактору времени - эта особенность связана с тем, что в результате развития кризиса возможно наступление необратимых последствий вплоть до ликвидации системы.

В антикризисном управлении существуют следующие объекты диагностики: социально-экономические системы; элементы сложной системы; функции, выполняемые системы.

Функциональное пространство антикризисного управления как системы представляет собой отражение ее предметной области, то есть аналогичный конгломерат элементов, образующийся на стыке взаимодействия систем управления разного уровня (человек, организация, государство). В стабильном состоянии основные функции антикризисного управления заключаются в своевременном распознавании кризисных явлений в целях подготовки к возможному кризису и проведению профилактики. Эта фаза антикризисного мониторинга, который позволяет заблаговременно обнаружить угрозы кризиса и подготовиться к смягчению его последствий. В неустойчивом состоянии антикризисное управление входит в фазу антикризисного регулирования. Применяются меры по стабилизации ситуации, предотвращению развития и углубления кризисных явлений. Эту фазу система проходит как в случае скатывания ситуации к кризису, так и при выходе из кризиса на пути к стабильному состоянию. Доли антикризисного и обычного управления примерно одинаковы [5].

Задачи антикризисного мониторинга в МСК включают стратегию финансово-хозяйственной деятельности, динамику финансово-экономических показателей на перспективу. Необходимо проведение мониторинга факторов кризиса посредством наблюдения за динамикой показателей деятельности системы.

Антикризисный мониторинг в минерально-сырьевом комплексе должен иметь системное направление и включать в себя системный подход, анализ, моделирование и стратегическую направленность. Системный анализ в практике антикризисного управления постоянно усиливается. Нынешний этап развития антикризисного мониторинга характеризуется повышением системности. Поэтому антикризисное управление должно главным образом опережать, предотвращать и принимать меры по выявлению кризисных ситуаций.

Список литературы

1. Алетдинов А.А. «Эволюция развития категории «система»» Вестник академии. Научный журнал № 4 // Московская академия предпринимательства при Правительстве Москвы, 2007 год.
2. Рыжова Л.П., Кольцова В.П., Бондаренко Т.С. и др. «Геоэтика в методологии системного подхода», X Международной научной конференции молодых ученых «Молодые - Наукам о Земле», Москва, 2022 г.
3. Ушанов П.В. «Антикризисное управление как новая парадигма управления»
4. Буркеев А.М. Экономический механизм антикризисного управления предприятием. – Воронеж: Научная книга, 2007. – 232 с
5. Борисова С.Г. «Антикризисное управление организацией: особенности, диагностика, выбор стратегии» Вестник МГУП имени Ивана Федорова, №3, 2016 г.

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПРОГНОЗА ЦЕНОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПАНИИ

Сергеев А.А., Салахов И.Р., Рыжова Л.П.

РГГРУ им. Серго Орджоникидзе

Статистические методы анализа финансовых показателей необходимы для создания адекватной модели оценки стоимости компаний, в том числе добывающего профиля. «Газпром нефть» - одна из крупнейших нефтегазовых компаний России - основана в 1995 году как «Сибирская нефтяная компания». В 2005 году контрольный пакет акций компании был приобретён «Газпромом», и в 2006 году «Сибнефть» была переименована в «Газпром нефть». Основными видами деятельности компании являются разведка, разработка, добыча и реализация нефти и газа, а также производство и сбыт нефтепродуктов. «Газпром» является мировым лидером по добыче природного газа. На него приходится 12% мировой и 68% российской добычи газа. К началу 2021 года численность работников компании составила 477,6 тыс. человек. Компания осуществляет свою деятельность в крупнейших нефтегазоносных регионах России: Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах, Томской, Омской, Оренбургской областях. Основные перерабатывающие мощности компании находятся в Омской, Московской и Ярославской областях, а также в Сербии. В структуру «Газпром нефти» входят более 70 нефтедобывающих, нефтеперерабатывающих и сбытовых предприятий в России, странах ближнего и дальнего зарубежья. Компания перерабатывает порядка 70% добываемой нефти, демонстрируя лучшее в отрасли соотношение добычи и переработки. Капитализация компании на момент 2022 года составляет 2 100 395.74 млн RUB. Компания достигла рекорда добычи углеводородов, впервые в истории превысив 100 миллионов тонн. Правительство Петербурга и «Газпром нефть» заключили соглашение о развитии инновационных технологий для фармацевтической отрасли.

«Газпром нефть» расширяет сотрудничество с российскими регионами. На Петербургском международном экономическом форуме компания

заключила ряд важных соглашений с правительствами Ярославской, Самарской, Белгородской областей и Ямало-Ненецкого автономного округа. Новые деловые договоренности обеспечат дополнительные поставки бензина и дизельного топлива, битума, импортозамещающих масел и смазочных материалов для промышленных, сельскохозяйственных и строительных предприятий этих регионов.

В работе проведен анализ зависимости между выручкой компании Газпром нефть и ценами нефти «Brent». Выбор именно этой марки нефти обусловлен тем, что Brent – признан эталонным сортом нефти и является одним из основных сортов нефти, торгуемых на международных нефтяных биржах.

Применяя статистические методы, получаем:

1. коэффициент корреляции, который отражает тесноту связи между выручкой и ценой составляет $r = 0.95$;
2. теоретическое уравнение регрессии имеет следующий вид:
 $y^{\wedge} = -0.348 + 0.00715x$;
3. вычислим показатели модели аппроксимации (МАРЕ) – среднюю абсолютную погрешность, которая показывает на сколько велики ошибки в сравнении со значениями ряда. $MAPE = 0,16\% < 33\%$, следовательно, линейная модель пригодна для дальнейшего анализа.
4. приведены графики выручки компании и ценового фактора с 1 квартала 2019 года:



В поле корреляции представлен линейный график зависимости выручки компании и ценового фактора:

В работе мы пришли к выводу, что между показателями выручки компании «Газпром нефть» и ценами нефти существует прямая зависимость, т.е. с ростом цен увеличивается и выручка компании. Эту тесную взаимосвязь подтверждает коэффициент корреляции, который равен 0.95. погрешность в вычислениях, согласно MAPE, составляет 0.16%, а также теоретическое уравнение регрессии $y^{\wedge} = -0.348 + 0.00715x$.

Благодаря внедрению современных технологий и запуску новых инфраструктурных проектов компания последовательно повышает степень рационального использования попутного нефтяного газа, а также находится в постоянном поиске новых и более эффективных технологических решений. В Ярославской области будет создана единая система топливообеспечения региональных сельхозпроизводителей. Сокращение углеродного следа является важнейшей составляющей ESG-политики «Газпром нефти».

Список литературы

1. Зайцев А.Н., Полуботко Л.Ф., Рыжова Л.П., Сидорков Е.А. Общая теория статистики. Учебное пособие. Издательство ИКАР 2007 455с.
2. Рыжова Л.П., Курчик А.М., Бондаренко Д.В. Применение математической статистики и приложений теории вероятностей при решении геолого-горно-экономических задач: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс]. – М.: МГРИ, 2022. - 83 с.
3. Количественные методы экономической оценки использования отходов предприятий минерально-сырьевого комплекса: учебное пособие [Электронный ресурс] / С.М. Попов, Л.П. Рыжова, А.М. Курчик, Д.В. Бондаренко. – М.: МГРИ, 2022. – 92 с.
4. <https://www.kp.ru/daily/27407.5/4604317/>

УДК 378:622

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ РАЗВИТИЕМ ПЕРСОНАЛА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Федотенко Н.А.

ИПКОН РАН

Современный масштаб добычи, переработки и использования полезных ископаемых служит мерой материального достатка страны [1]. Известно, что Россия является сырьевой державой, а развитие горной промышленности в настоящем и будущем является одним из мерил для формирования адекватной оценки экономического потенциала, оборонной способности и уровня жизни населения, а также обеспечения ключевых сфер исходным минеральным сырьем [2]. Перспектива развития России напрямую зависит от грамотной

эксплуатации недр Земли, которая осуществляется горными инженерами. В этой связи профессия специалистов горного профиля на добывающих предприятиях почетна и востребована, поскольку обеспечивает человечество необходимыми полезными ископаемыми [2-3].

Тезис, что профессиональное и непрерывное развитие персонала является основой общественного прогресса, бесспорен. Успех России в глобальном мире определялся и будет определяться человеческим капиталом, который необходимо постоянно развивать и приумножать, подготавливая новых специалистов и совершенствуя навыки, знания, способности уже занятых трудовой деятельностью работников предприятий.

Совершенствование профессионального развития персонала горнодобывающих предприятий должно иметь для государственной кадровой политики страны стратегический приоритет, поскольку человек, обладающий профессиональным интеллектуальным ресурсом, способен качественно и оперативно решать задачи, поставленные перед предприятием, обществом и Россией в целом. В данной ситуации, весьма важной является роль предприятий горнодобывающей и металлургической отраслей, которые также должны нести ответственность и предоставлять возможность сотрудникам овладевать новыми знаниями и совершенствовать их профессиональные компетенции.

В управлении кадровыми процессами важную роль играют принципы. Фундаментальными принципами системы развития персонала в современной организации выступают:

- целостный характер системы развития персонала, обеспечивающий системность использования и преемственность конкретных видов и форм развития персонала;
- проектный характер развития персонала на основе прогноза будущих условий развития организации и её потребностей в навыках персонала;
- гибкость применяемых форм и методов развития персонала, возможность их поэтапного применения, разделения на этапы;
- профессиональное, социальное и материальное стимулирование развития человеческих ресурсов;
- конкретизация возможностей и потребностей организации в развитии персонала исходя из социально-экономических особенностей её деятельности.

Горные предприятия мира вынуждены адаптироваться к современным глобальным вызовам [4], так или иначе влияющим на эффективность функционирования горнотехнических систем. Важнейшим направлением повышения эффективности работы горного производства является совершенствование механизма управления персоналом и его профессиональное развитие. Процессы глобализации, стремительные темпы развития технологий предъявляют постоянно растущие требования к качеству трудовых ресурсов, их постоянному квалификационному росту. Эти факторы требуют от горного сообщества не ослаблять внимание к вопросам кадров и занимать в этой сфере активную позицию.

Ключевым направлением профессионального развития отрасли добычи полезных ископаемых являются информационное знание программных обеспечений, электронных технологий, процессов интеллектуализации и роботизации всей горной системы и её составляющих [5-7]. Однако, данный тренд не в полной мере нашел свое отражение в кадровой политике, организационно-управленческих структурах и в процессах профессионально-квалификационного развития персонала.

При этом, построение цифровой организации полного цикла комплексного освоения месторождений с целью повышения устойчивости развития горнотехнических систем [8] требует более четкой стратегии, кардинального изменения бизнес-процессов, повышения уровня компетенций персонала и совершенствования ИТ-инфраструктуры [6].

Однако в целом отрасль движется относительно медленно по пути цифровизации, что обусловлено рядом фактов:

- неумение сотрудников извлекать ценность из цифровых решений;
- низкий уровень базового профессионального образования кадров;
- отсутствие компетенций и опыта работы с внедрением инноваций.

Структура и содержание программ профессионального развития персонала горнодобывающих предприятий должны выстраиваться в поле:

- развития представлений об управляемой горнотехнической системе, внешней и внутренней среде ее функционирования, элементах системы и связях между ними, механизмах взаимодействия с внешней средой, реализации и восприятия обратных связей,

- формирования навыков организации эффективного взаимодействия подсистем горнотехнической системы и внешней среды.

Таким образом, профессиональное развитие специалистов горного профиля представляет собой процесс целенаправленного и планомерного овладения знаниями, навыками, приобретения опыта и усовершенствования личностных качеств инженера, которые необходимы для успешного выполнения им обязанностей в горнодобывающем секторе. При этом система профессионального развития персонала является обеспечивающей подсистемой системы комплексного освоения недр, что определяет ее подчиненность по отношению к целям и задачам, формулируемым в ходе разработки и реализации стратегий различной структурной и содержательной сложности, выраженных в программах и проектах в области рационального недропользования.

Важно отметить, что высокая степень интенсивности развития техники и технологий ведения горных работ в условиях вынужденного осуществления операционной деятельности в динамично изменяющихся горно-геологических, производственных и рыночных условиях, фиксирует примат ценности профессионала, способного корректно оценивать производственную ситуацию во всем ее многообразии и оказывать управляющее воздействие, адекватное по сложности управляемой системе.

Список литературы:

1. Аренс В.Ж. О минерально-сырьевом комплексе страны и его проблемах // Вестник Российской академии естественных наук. 2016. №1. С. 93-104.
2. Рыльникова М.В., Струков К.И., Федотенко Н.А. Влияние фактора распределения ценных компонентов в массиве месторождения «Светлинское» на структуру производственной мощности золотодобывающего предприятия АО «Южуралзолото» // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. №2. С. 375-387. DOI: 10.46689/2218-5194-2022-2-1-375-386.
3. Аренс В.Ж. Горный инженер – это перспективно / В.Ж. Аренс. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2017. – 24 с.
4. Рыльникова М.В. Условия и принципы устойчивого развития горнодобывающих предприятий в период повышенных рисков и глобальных вызовов. Горная промышленность. 2022. №3. С. 69–73.
5. Мелешко Ю.В. Цифровизация предприятия горной промышленности как фактор обеспечения его экономической безопасности // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2020. – № 3(53). С. 59-63.
6. Рыльников А.Г., Клебанов Д.А., Струков И.Н., Князькин Е.А. Перспективы развития роботизации и цифровизации технологических процессов в производственных подразделениях АО «ЮГК» // Сб. Трудов: Золото. Полиметаллы. XXI век: Устойчивое развитие, 2022. – С. 58-59.
7. Кузьмин К.К. Информационные знания в системе подготовки горных инженеров // ГИАБ. 2018. №1. С. 469-478.
8. Каплунов Д.Р., Федотенко В.С. О сути цифровизации горнотехнических систем // Маркшейдерия и недропользование. 2022. №3. С. 3-5.

УДК 622.7; 622.33

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

**Череповицын А.Е., Ларичкин Ф.Д., Федосеев С.В,
Фадеев А.М., Гончарова Л.И.**

ИЭП КНЦ РАН

Обобщены теоретико-методологические подходы к формированию концепции устойчивого развития (УР), изложенные в трудах зарубежных и отечественных ученых [1-3]. Выявлено, что практически во всех научных работах отмечается необходимость учета принципов УР при осуществлении любой производственно-хозяйственной деятельности, особенно на территории арктических регионов, в первую очередь, из-за уязвимости местных экосистем. В особенности это касается предприятий, осуществляющих добычу полезных ископаемых, которые по своей сущности являются экологически опасными производственными объектами.

Наиболее предпочтительным считается взаимоувязанное рассмотрение основных составляющих-факторов устойчивого развития минерально-сырьевых арктических проектов [3]: *технологическая устойчивость; экономическая устойчивость; социальная устойчивость и экологическая устойчивость.*

Анализ современного развития российской Арктики показывает, что одним из важнейших направлений устойчивого развития горнопромышленного комплекса (ГПК) является организация комплексного использования минерального сырья [4;5].

Обосновано, что основными факторами развития комплексного использования многокомпонентного минерального сырья, влияющими на повышение устойчивости горнопромышленного производства, в том числе в зоне АЗ РФ, являются следующие [4;5].

1. Рост извлекаемой ценности каждой единицы добытого многокомпонентного минерального сырья, стоимости товарной продукции и рентабельности производства.

2. Расширение номенклатуры готовой продукции (количества производимых ценных компонентов) и возможность широкого маневрирования ценами реализации каждого из компонентов являются наиболее существенными факторами устойчивости горнопромышленных предприятий в нестабильных рыночных условиях.

3. Расширение номенклатуры производимых компонентов способствует комплексному развитию территории расположения предприятия, росту рабочих мест.

4. Экологизация производства за счет снижения выхода отходов и содержания в них извлекаемых компонентов, отрицательно влияющих на экологическую обстановку. Расширение перечня извлекаемых ценных компонентов сокращает или исключает объемы их добычи в других районах страны.

5. При резком изменении текущей конъюнктуры сырьевого рынка имеется принципиальная возможность оперативного изменения контура выемочного участка в годовом плане горных работ для обеспечения прироста извлекаемого количества наиболее ценных и востребованных, в данный момент, компонентов.

К важнейшим направлениям развития комплексного использования многокомпонентного минерального сырья и устойчивости горнопромышленного комплекса России в целом и в АЗ РФ отнесены следующие.

1. Продолжение исследований и совершенствования теоретико-методологических и практических вопросов экономики комплексных многокомпонентных минерально-сырьевых производств и широкое использование их результатов на всех этапах жизненного цикла ГПК.

2. Особую актуальность приобретает проблема полной системной междисциплинарной технико-экономической переоценки ранее утвержденных в разные годы запасов всех попутных полезных компонентов на единой

методологической основе, разработанной в ИЭП КНЦ РАН и одобренной научно-технической общественностью.

3. Совершенствование методов государственного регулирования и стимулирования недропользователей к реализации проектов рационального природопользования и комплексного использования минерального сырья (таблица).

Таблица

Меры стимулирования недропользователей к реализации проектов комплексного использования минерального сырья [6-8]

Направления госстимулирования	Конкретизация мер
Административные (правовые) механизмы	Развитие практики заключения концессионных соглашений в рамках государственно-частного партнерства
	Применение санкций к недропользователям (экономических и правовых), нарушающих лицензионные условия и принципы рационального природопользования
	Развитие системы государственного мониторинга и контроля за проведением геологоразведочных и добычных работ
	Обеспечение гарантий соблюдения интересов государства и общества в сфере рационального природопользования и КИМС
Кредитно-финансовый механизм	Обеспечение гарантированного предоставления "природоохранных" кредитов
	Субсидирование процентных ставок по предоставляемым кредитам
	Развитие инструментов проектного долевого финансирования программ рационального природопользования и проектов КИМС
Бюджетно-налоговый механизм	Предоставление налоговых льгот и налоговых скидок при внедрении технологий комплексного использования минерального сырья и переработки техногенных отходов
	Введение дополнительных налогов за неоправданные потери при добыче и переработке минерального сырья
	Выделение налоговых кредитов на реализацию масштабных Проектов КИМС
	Применение методики соразмерного налогового вычета

Список литературы

1. Устойчивое развитие: Новые вызовы: Учебник для вузов /под общей редакцией В.И. Данилова-Данильяна, Н.А. Пискуловой. - М.: «Аспект-Пресс», 2015. -336 с.
2. Our Common Future. – N.Y.: UN, 1987. Рус. Пер.: Наше общее будущее. – М.: Прогресс, 1989. – 376 с.

3. Череповицын А.Е., Цветков П.С., Евсеева О.О. Критический анализ методических подходов к оценке устойчивости арктических нефтегазовых проектов // Записки Горного института, 2021, №3. – С. 463-479.

4. Ларичкин Ф.Д. Научные основы оценки экономической эффективности комплексного использования минерального сырья. – Апатиты: КНЦ РАН, 2004. – 252 с.

5. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=d1010cf8-169b-4396-a69d-0c20ea1f92fd#content>.

6. Невская М.А. Стимулирование инновационных преобразований в целях устойчивого развития минерально-сырьевого сектора России / М.А. Невская, О.А. Маринина // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», 2017, № 6. – С. 1-13.

7. Соловьева, Е.А. Методические основы и принципы формирования стимулирующего налогообложения при недропользовании // Записки горного института. – 2008. – Т. 179. – С. 14-19.

8. Актуальные налоговые режимы для горных проектов. КРМГ-2017.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И РОБОТОТЕХНИКА В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ СЕКТОРЕ. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 669.017

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, ПОДВЕРГАЕМЫХ БОЛЬШИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМАЦИЯМ

Аксенов С.А.

НИУ ВШЭ, г. Москва

Задачи идентификации механических свойств материалов, подвергаемых большим пластическим деформациям в условиях горячего формоизменения, возникают при проектировании технологических процессов обработки материалов давлением, востребованных в металлургической, машиностроительной и авиастроительной отраслях. Технологические рекомендации формируются с учетом результатов компьютерного моделирования, позволяющего строить прогнозы формоизменения материала, подвергаемого механическим деформациям в ходе производства конечного изделия. Построение таких моделей требует решения краевых задач механики сплошной среды, представляющих собой совокупность системы дифференциальных уравнений в частных производных и граничных условий, соответствующих моделируемому процессу. Современные численные методы позволяют решать такие системы с высокой точностью, а степень достоверности результатов в первую очередь определяется адекватностью задания граничных условий и описания механических свойств деформируемых материалов [1, 2].

Механические свойства материалов, подвергаемых пластическим деформациям, определяют его деформационное поведение, описываемое уравнениями, связывающими напряжение течения материала со скоростью и степенью деформации. Определение этой взаимосвязи осуществляется экспериментальным путем с помощью механических испытаний в ходе которых образец подвергают заданной деформации и измеряют усилия, с которыми он воздействует на деформирующий инструмент [3, 4]. Вид испытания выбирается исходя из специфики технологического процесса, при моделировании которого будут впоследствии использованы полученные данные. Для технологических процессов, при которых материал испытывает напряжения

сжатия (прокатка, объемная штамповка, прессование) используют испытания по осадке и кручению образцов. Для процессов листовой штамповки, газовой формовки и гидроформовки используют испытания на растяжение, испытания по газовой формовке листовых или трубных заготовок.

Общей проблемой перечисленных типов механических испытаний является то, что напряжения течения материала не поддаются непосредственному измерению. Их значения необходимо вычислять исходя из измеренных значений механических усилий, что делается в предположении о том, что образец деформируется равномерно по всему объему. В действительности же, при реализации испытания, формоизменение образца не является равномерным, что связано в первую очередь с краевыми эффектами, имеющими место на границе контакта между образцом и деформирующим инструментом [5, 6]. Большинство стандартных методик интерпретации результатов механических испытаний эти эффекты не учитывает, однако ошибки в оценке напряжений, к которым они приводят могут достигать 20% [7, 8].

Для компенсации этих ошибок при интерпретации результатов механических испытаний необходимо учитывать неравномерность деформирования образца в ходе испытания. Это может быть реализовано путем видеосъемки и определением деформаций посредством последующей цифровой обработки изображения [9]. Однако эта технология применима только при использовании плоских образцов. Кроме того, если испытания проводятся при повышенных температурах в инертной среде, как при тестировании сверхпластичных материалов, размещение в испытательной камере видеоборудования является проблематичным [10].

Другой способ учета неравномерности деформирования образца заключается в построении компьютерной модели его формоизменения в ходе испытания и применении итерационной процедуры коррекции модели деформационного поведения [7]. После проведения испытания, его результаты, которыми как правило, являются измеренные перемещения деформирующих инструментов и усилия, с которыми на них воздействует образец, обрабатываются согласно стандартной для данного испытания методики с целью получения зависимости напряжения течения материала от деформации. На основе полученных зависимостей строится первое приближение модели деформационного поведения материала. Эта модель используется при численном решении краевой задачи, соответствующей рассматриваемому испытанию, и расчете усилий, действующих на деформирующие инструменты. Полученные результаты сравниваются с результатами измерений, после чего модель деформационного поведения корректируется и снова подается на вход краевой задачи. Процедура продолжается до тех пор, пока отклонения между измеренными усилиями и результатами моделирования не достигнут заданной погрешности.

Описанная процедура может быть использована для повышения достоверности моделей механических свойств материалов, подвергаемых пластическим деформациям, без применения дополнительного оборудования.

Применение компьютерного моделирования позволяет использовать стандартные методики испытаний, учитывая при этом неравномерность формоизменения образца на этапе интерпретации экспериментальных данных.

Список литературы

1. R. Fabik, J. Kliber, I. Mamuzic, T. Kubina, S.A., Aksenov, Mathematical modelling of flat and long hot rolling based on finite element methods (FEM), *Metalurgija*, 51, 3, 2012, 341-344.
2. Чумаченко Е.Н., Смирнов О.М., Цепин М. Сверхпластичность: материалы, теория, технологи / Рук.: Е.Н. Чумаченко. М.: Либроком, 2009.
3. A.J. Lacey, M.S. Loveday, G.J. Mahon, B. Roebuck, C.M. Sellars, M.R. van der Widen, Measuring flow stress in hot plane strain compression tests, *Materials at High Temperatures*, 23, 2, 2006, 85-118.
4. E2448-11 Standard Test Method for Determining the Superplastic Properties of Metallic Sheet Materials; ASTM B. Standards: West Conshohocken, PA, USA, 2011.
5. D. Széliga, P. Matuszyk, R. Kuziak, M. Pietrzyk, Identification of rheological parameters on the basis of various types of plasometric tests, *Journal of Materials Processing Technology*, 125-126, 2002, 150154.
6. Abu-Farha, F.K.; Khraisheh, M.K. On the High Temperature Testing of Superplastic Materials. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2007, 16, 142-149.
7. Aksenov S. A., Puzino Y. A., Kliber J., Bober S. A. Processing of plane strain compression test results for investigation of AISI-304 stainless steel constitutive behavior, *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 2015, Vol. 50. No. 6. P. 644-650.
8. Aksenov S., Mikolaenko V., The effect of material properties on the accuracy of superplastic tensile test, *Metals*, 2020, 10(10), 1353.
9. Ma Quanjin, M.R.M. Rejab, Qayyum Halim, M.N.M. Merzuki, M.A.H. Darus, Experimental investigation of the tensile test using digital image correlation (DIC) method, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 27, Part 2, 2020, 757-763.
10. K. Genovese, D. Sorgente, A morphing-based scheme for large deformation analysis with stereo-DIC, *Optics and Lasers in Engineering*, Volume 104, 2018, P. 159-172.

УДК 550.832

ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ НЕОБСАЖЕННЫХ СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА АНАЛИЗА ДАННЫХ И ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Вартанов А.З.^{1,2}, Федоров Е.В.², Нефедов С.И.^{1,2}, Аксенов С.А.¹

¹НИУ ВШЭ, ²ИПКОН РАН, г. Москва

Современные методы анализа данных и компьютерные технологии расширяют возможности диагностики состояния необсаженных скважин от усредненной одномерной съемки до съемки с использованием массива

2D-изображений и 3D-сканирования, а области применения технологий каротажа расширяются, охватывая исследования геофизику, геологию, исследования нефтяных пластов и механики горных пород [1-3].

Развитие технологий цифровой видеосъемки и методов анализа изображений открыло новые возможности для применения видеоэндоскопии для исследования и контроля состояния массивов горных пород. Для съемки используются компактные цифровые камеры, которые могут быть оснащены оптической системой, для получения панорамных снимков высокого разрешения [4]. Исследования, посвященные разработке алгоритмов построения панорамной развертки на основе видеопотока, полученного скважинной камерой, направлены на повышение качества получаемого изображения и решение проблем, связанных с неравномерным движением камеры вдоль скважины, отклонением от центральной оси, вибрациями и другими проблемами, вызывающими искажение изображения [5]. Полученные изображения впоследствии используются для анализа структуры пласта и механических свойств пласта на различных глубинах. Крайне перспективным при этом представляется использование появляющихся в последнее время методов автоматического анализа изображений, позволяющих оценивать трещиноватость породы.

Анализ данных, полученных в результате каротажа скважин является основой для построения цифрового двойника пласта, представляющего собой его виртуальное представление, используемое при инженерном проектировании, строительстве и последующем мониторинге состояния подземных сооружений. Кроме того, цифровой двойник он может служить основой для расчета механических деформаций и напряжений, возникающих в породе вследствие проведения горных работ. В настоящее время разработан цифровой метод создания цифровых двойников горных пород на основе данных каротажа [6]. Его суть заключается в построении последовательности 2D срезов с учетом ограничений по скважинам, специфичным для конкретного участка, и ее последующей сборки в геологическую 3D модель. Для построения 2D срезов на основе результатов диагностики необсаженных скважин используют специально разработанную глубинную нейронную сеть «IC-XGBoost3D».

Таким образом, применение методов искусственного интеллекта и цифровых двойников позволяет на основе данных, полученных при диагностике необсаженных скважин строить модели напряженно-деформированного состояния пласта, обеспечивая развитие инструментария для решения задач горнодобывающей, нефтегазовой и строительной отраслей.

Список литературы

1. Варганов 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, С. 232-237.
2. Варганов А.З., Петров И.В., Федаш А.В. Исследования, мониторинг и контроль на различных этапах жизненного цикла подземного сооружения,

создаваемого на урбанизированной территории // Мониторинг. Наука и технологии, 2015, № 3 (24), С. 24-31.

3. Shen, B., et. al., Adaptability analysis and optimization of log suite for uncased wellbores of shale gas reservoirs: A case study of Sichuan Basin, China // Energy Geoscience, 2022, In Press

4. Zou, X., Song, H. The fast formation of high-precision panoramic image for the processing of borehole camera video of deep rock mass structures // Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2021, 80, pp. 2199–2213.

5. Deng, Z. et.al., Generating a Cylindrical Panorama from a Forward-Looking Borehole Video for Borehole Condition Analysis // Applied Science, 2019, 9, 3437.

6. M. Azarafza, A. Ghazifard, Development of a 2D and 3D computational algorithm for discontinuity structural geometry identification by artificial intelligence based on image processing techniques // Bulletin of Engineering Geology and the Environment volume, 2019, 78, pages 3371–3383

7. Ch. Shi, Yu Wang, Data-driven construction of Three-dimensional subsurface geological models from limited Site-specific boreholes and prior geological knowledge for underground digital twin // Tunnelling and Underground Space Technology, 2022, Volume 126, 104493

УДК 550.832

ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ ЭНДОСКОПИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН

Дёмин Д.О.^{1,2}, Вартанов А.З.^{1,3}

¹МИЭМ НИУ ВШЭ, ²НИУ МАИ, ³ИПКОН РАН, г.Москва

На сегодняшний день для проведения геофизических исследований скважин (ГИС) существует ряд специализированных программ и сервисов с различным набором функциональных возможностей. К их числу можно отнести: Прайм, Геопоиск, GEOSimple, WellCAD, Камертон, Techlog, СОНАТА, Geophysics Office, «Пангея», DARCУ, GeoVista [1-11].

Большая часть из представленных программных продуктов позволяет работать с данными, получаемыми приборами при акустических, радиоактивных, электромагнитных, и других видах каротажа для их последующей визуализации в виде диаграмм и планшетов. Например GEOSimple, WellCAD, СОНАТА, реализованы в виде классических десктопных приложений, которые позволяют производить: увязку по глубине, разбиение на пласты, расчет абсолютных отметок и другие операции. А также содержат комплексы интерпретации кинематических параметров с соответствующими видами каротажей и стандартные методы ГИС. Представленные программы активно и достаточно долгое время используются для проведения различных ГИС. Данный класс программных решений активно развивается – появляются новые версии данных программ и новые системы.

Например, платформа DARCУ [10] является более современным инструментом для проведения комплексных ГИС, для которых используются как данные, полученные на основе анализа кернов, так и энергокаротажа и газокаротажа для определения удельной мощности и энергоёмкости, работы разрушения, буровой пористости, буровой плотности, буровой прочности и других на основе данных технологических датчиков.

Большая часть упомянутых ранее программ и сервисов не обладает возможностями для визуализации и анализа непосредственно внутренних поверхностей скважин, которые могут быть полезны при исследовании и контроле состояния обсадных колон, зон проникновения флюидов через трещины и дефекты и других видов исследований. Для получения информации внутренней поверхности скважины, требуется проведение фото и видео каротажа. Системы для обработки данных, получаемых такими видами каротажей на сегодняшний день представлены куда в меньшем объеме и, как правило, они привязаны к соответствующему оборудованию и имеют ряд ограничений [11, 12]. Отсюда возникает потребность в разработке и применении систем, которые могут работать с такими видами данных.

Несмотря на относительно небольшое количество систем для обработки результатов фото и видео каротажа, сама тема анализа изображений, получаемых при проведении ГИС данными методами, достаточно актуальна, о чём свидетельствуют работы различных авторов и научных коллективов [13-17]. В частности, разрабатываются подходы к определению трещиноватости и напряженно-деформированного состояния пород и обсадных колон, которые являются элементами таких изображений [14-17].

В настоящее время в МИЭМ НИУ ВШЭ ведется разработка системы для анализа данных фото и видео каротажа. В основу данной системы заложены те же функциональные требования, что и в полученном ранее программном продукте [17]. С помощью данной программы можно проводить построение разверток изображений, извлекаемых непосредственно с камер приборов, а также выделять и оконтуривать зоны изображений по контрастному изменению интенсивности/яркости и компонентам цвета. Планируется существенно расширить возможности разрабатываемой программы за счет введения алгоритмов распознавания трещин и трещиноватости пород, которые основаны как на классических подходах к обработке изображений, так и на получивших большое распространение в последнее время, нейросетевых алгоритмах и алгоритмах машинного обучения. Также планируется добавить возможность оценки и прогнозирования напряженно-деформированного [18,19] и внести возможность построения трёхмерного цифрового двойника шахты на основе ограниченного набора двухмерных изображений с привязкой по глубине.

Список литературы

1. Прайм, <https://www.primegeo.ru>
2. Геопоиск, <https://geopoisk.com/index.html>

3. GEOSimple, <http://geosimple.ru>
4. WellCAD, <https://www.geomatrix.co.uk/software/borehole-logging/wellcad/>
5. Камертон, <http://getek.ru/kamerton.html>
6. Techlog, <https://www.software.slb.com/products/techlog>
7. COHATA, <https://fxc-png.ru>
8. Geophysics Office, <http://npf-elicom.ru>
9. «Пангея», <https://pangea.ru>
10. Darcy <https://darcy.group>
11. GeoVista, <http://geovista.co.uk>
12. Видеоэндоскоп «Умный напарник», <https://www.kcelectro.ru/videoendoskop-umnyj-naparnik>.
13. 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.
14. Arun Mohan, Sumathi Poobal, Crack detection using image processing: A critical review and analysis, Alexandria Engineering Journal (2018), 57, pp.787–798.
15. Yejin Kim¹, 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.
16. 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.
17. 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.
18. Кулибаба С.Б., Федоров Е.В. Перераспределение максимальных вертикальных деформаций горного массива в процессе его подработки, Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 1. С. 303-316.
19. Yakov A. Pronozin, Mikhail D. Kajgorodov, Aleksandr D. Gerber, Stress-strain state of a borehole determined analytically using drilling-out as a technology of reducing differential settlement, 2021, N 2, Vol. 8, p. 1-23.

УДК 004.932

СПОСОБ АППАРАТНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ

Евсютин О.О., Джанашиа К.М.

НИУ ВШЭ, г. Москва

В настоящее время горнодобывающий сектор подвергается активной цифровизации. Шахты, в частности, нуждаются в эффективных методах мониторинга, позволяющих избежать их простоев. Для мониторинга используются тепловизионные данные, такие как термограммы – изображения в инфракрасных лучах, предназначенные для демонстрации распределения

температурных полей. Цифровизация способствует максимизации выгодных характеристик и минимизации расходов, но также вносит новые, ранее не исследованные проблемы. Большую актуальность приобретает задача обеспечения информационной безопасности. Так, необходимо иметь уверенность в подлинности изображений, используемых для мониторинга и, следовательно, принятия решений [1].

Аутентификация изображений (проверка их подлинности) может осуществляться с помощью цифровых водяных знаков. Цифровой водяной знак – это некоторая информация, встроенная в мультимедийный контент, как правило, незаметным для человека образом. После встраивания цифрового водяного знака в мультимедийный объект должна быть возможность извлечь или детектировать его [2, 3].

На сегодняшний день предложено множество методов программной аутентификации изображений с помощью цифровых водяных знаков, но в горнодобывающей промышленности существует большой спрос на понижение цены и энергопотребления любых операций, одновременно с повышением их надежности и быстродействия. В этом плане во многих случаях аппаратная реализация становится более предпочтительной, чем программная, так как процессоры, разработанные под конкретные приложения, тратят значительно меньше времени и энергии на выполнение своих задач, чем на те же задачи требуется процессорам общего назначения.

Можно выделить следующие преимущества аппаратной реализации цифровых водяных знаков перед программной: во-первых, низкое энергопотребление делает аппаратную реализацию предпочтительной для устройств с батарейным питанием; во-вторых, аппаратная реализация более надежная; в-третьих, размещение средств защиты информации в непосредственной близости от источника информации способствует более совершенной защите информации.

В связи с этим актуальной задачей является создание аппаратных способов аутентификации изображений, используемых в горнодобывающей промышленности для мониторинга.

Основными инструментами, подходящими для реализации схем встраивания цифровых водяных знаков в цифровые изображения, являются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) и ASIC (application-specific integrated circuit – интегральные схемы специального назначения). Недостаток ПЛИС по сравнению с ASIC – это несколько большие затраты времени и энергии, зато их проще реализовывать: в отличие от ПЛИС, единоразово заданные функции ASIC нельзя скорректировать на всем периоде их действия. При этом настройка и ASIC, и ПЛИС производится с использованием языков описания аппаратуры, таких как Verilog или VHDL и схема, изначально созданная для ПЛИС, может быть адаптирована для ASIC. ПЛИС применяют для отработки прототипов заказных микросхем, отдельных узлов

и целых микроконтроллеров, процессоров и других сложных цифровых микросхем, обработка которых требует оперативных модернизаций проекта, таким образом разработка ПЛИС имеет место, даже когда конечный продукт, выводимый на рынок, разрабатывается на другой технологии.

IP ядрами называют готовые блоки для проектирования микросхем. Основная идея разработки IP ядер состоит в сокращении времени разработки новых систем ввиду простоты повторного использования полученных решений.

В данной работе решение представлено в виде IP ядра.

Для достижения наиболее высоких показателей в плане времени и энергозатрат для реализации выбран алгоритм встраивания цифровых водяных знаков с низкой сложностью [4].

Далее приводятся показатели полученного IP ядра для аппаратного встраивания цифровых водяных знаков в изображения.

Схема позволяет встраивать один бит информации в блок изображения размером 32 на 32 пикселя. Если рассматривать изображение-контейнер размером 256 на 256, то в него поместится 64 бита.

Для проверки незаметности цифрового водяного знака используется метрика peak signal-to-noise ratio (PSNR). Для данного способа экспериментально было получено значение PSNR=39,66 дБ. PSNR выше 37 дБ означает незаметность вносимых изменений для человеческого глаза.

Состав полученного IP ядра приведен в таблице 1.

Таблица 1

Состав IP ядра

Multipliers	0
Adders/Subtractors	5
Registers	12
Total 1-Bit Registers	45
RAMs	1
Multiplexers	11
I/O Bits	21
Static Shift operators	0
Dynamic Shift operators	0

Реализация поддерживает частоту 150 МГц.

Сведения о результатах анализа IP ядра приведены на рисунке 1.

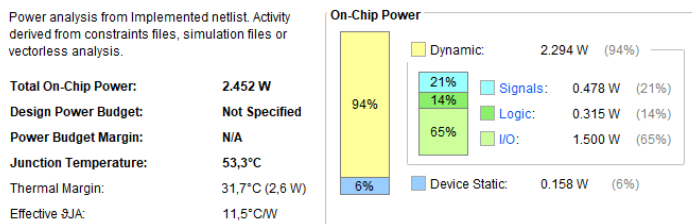


Рис. 1. Результаты анализа схемы

Итоговые сведения о полученной схеме сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Основные сведения

Параметр	Показатель
Наименование IP ядра	watermark_ip
Целевая платформа	Типовая Xilinx платформа
Язык	VHDL
Частота	150 МГц

Таким образом, получена и описана аппаратная схема встраивания цифровых водяных знаков для аутентификации изображений. Соответствующее решение может быть применено в системах мониторинга на предприятиях горнодобывающей отрасли, а также в иных отраслях.

Список литературы

1. Рыльников А.Г., Пыталев И.А. Цифровая трансформация горнодобывающей отрасли: технические решения и технологические вызовы // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – № 1. – С. 470–481.
2. Evsutin O., Dzhanashia K. Watermarking Schemes for Digital Images: Robustness Overview // Signal Processing: Image Communication. – 2022. – Т. 100. – С. 1–22.
3. Егорова А.А., Федосеев В.А. Классификация и сравнительное исследование систем аутентификации JPEG-изображений, основанных на встраивании полупрозрачных водяных знаков // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 3. С. 419–433.
4. Dzhanashia K., Evsutin O. Low complexity template-based watermarking with neural networks and various embedding templates // Computers and Electrical Engineering. – 2022. – Т. 102. – С. 1–15.

УДК 550.83.045

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ СЕЙСМИЧЕСКОЙ И СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Захаров В.Н.^{1,2}, Нефедов С.И.^{1,2}

¹ИПКОН РАН, ²НИУ ВШЭ, г.Москва

Одной из задач, решаемых в системах контроля и мониторинга является задача регистрации сигналов сейсмической и сейсмоакустической активности. Для синтеза корректного алгоритма регистрации рассматриваемых сигналов эта задача должна быть сформулирована в терминах теории оптимального обнаружения и оценивания сигналов [1]. В данной работе формулируется эта задача и определяются методы синтеза оптимальных алгоритмов.

При формулировании задачи в общем виде примем, что в спокойном невозмущенном состоянии сейсмическая или сейсмоакустическая эмиссия горных пород описывается случайным процессом с некоторым законом распределения и некоторой корреляционной функцией. В свою очередь, при

наличии возмущения эта эмиссия будет описываться случайным процессом уже с другой корреляционной функцией и другим законом распределения.

Задача обнаружения, в этом случае, может быть сформулирована как задача отнесения последовательности принятых системой или устройством регистрации отсчетов либо к случайному процессу, соответствующему невозмущенному состоянию горной породы, либо к возмущенному. Отнесение производится путем сравнения с порогом и последующим оценивании энергетических параметров законов распределений.

Корректное решение этой задачи предполагает выполнение оценки законов распределения и корреляционных функций случайных процессов как для возмущенного, так для невозмущенного состояния. Выбор порога проводится расчетным путем в соответствии с выбранным критерием оптимального обнаружения. В случае наличия априорной информации о структуре законов распределений сигналов невозмущенного и возмущенного состояний и если, при этом невозмущенное состояние будет описываться нормальным законом распределения с корреляционной дельта-функцией, то задача обнаружения сейсмической и сейсмоакустической активности будет сводиться к задаче обнаружения случайного процесса известной структуры с неизвестными параметрами на фоне шума.

Для рассматриваемой задачи расчет оптимального порога не представляется возможным. Поэтому предлагается рассматривать квазиоптимальный алгоритм вычисления порога, основанный на критерии Неймана-Пирсона. Данный критерий регламентирует уровень ложных срабатываний системы на некотором уровне. И, тем самым, обеспечивает принятие решения об обнаружении сигналов сейсмической и сейсмоакустической активности с заданными вероятностями.

Предложенная формулировка задачи обнаружения является аналогичной формулировке задачи обнаружения, широко применяемой в радиотехнике. Надежность и эффективность алгоритмов, синтезированных для решения этой задачи является предпосылкой для распространения методов синтеза оптимальных и квазиоптимальных алгоритмов рассматриваемого класса и на задачу обнаружения сигналов сейсмической и сейсмоакустической активности.

Предлагается применить эту формулировку при разработке алгоритмического обеспечения для нового поколения многофункциональная геодинамическая система контроля (МГСК) [2].

Список литературы

1. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника /Изд. 2, перераб. и доп.// М.: 1982, 624 с.
2. Многофункциональная система контроля геодинамического и газодинамического состояния массива горных пород. <http://mgsk-ipkon.ru>.

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГОРНОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА КАРЬЕРА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ*

Князькин Е.А.

ИПКОН РАН

Объемы электроэнергии, которую потребляет горное предприятия при открытом способе добычи полезных ископаемых, в значительной степени влияют на себестоимость выпускаемой товарной продукции. При этом, электропотребление фабрик или потоковых систем транспортирования горной массы зачастую прогнозируемо и является выверенным показателем, исходя из технических характеристик оборудования и высокой автоматизации данных технологических процессов [1]. Абсолютно иное положение складывается при эксплуатации горнотранспортного комплекса цикличного или циклично-потокового действия под персональным управлением оператора. Электропотребление такой технологической схемы проблематично прогнозировать, поскольку техника находится под непосредственным управлением оператора в постоянно изменяющихся условиях работы – погодные, горно-технические и горногеологические факторы, кроме этого, влияние человеческого фактора на показатели электропотребления весьма существенно.

Для прогнозирования и снижения электропотребления в такой ситуации необходимо проводить работу по внесению в расчет эффективности работы персонала весь перечень факторов, влияющих на эффективности работы горной техники. Выявление такого рода факторов возможно только на основе анализа статистических данных и показателей работы машинистов и водителей горнотранспортной техники.

Для выявления таких факторов, которые прежде всего влияют на показатели энергоэффективности работы операторов горнотранспортного комплекса был проведен анализ ретроспективных данных, полученных из автоматизированных систем [2]. В ходе анализа определены зависимости расхода электрической энергии от влияния каждого фактора (рис.1).

Из проведенного анализа видно, что одним из определяющих факторов, в наибольшей степени влияющих на объемы потребления электрической энергии, является количество циклов черпания экскаватора на одну погрузку автосамосвала и степень изношенности зубьев ковша. При этом, угол поворота экскаватора, тип породы, навыки машинистов влияют в меньшей степени. Таким образом, наиболее энергоэффективными являются случаи постановки автосамосвала малой грузоподъемности под высокопроизводительный

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-17-00142, <https://rscf.ru/project/22-17-00142/>

экскаватора и наоборот, наиболее энергоемким оказался процесс погрузки при совмещении экскаватора малой производительности с автосамосвалом большой грузоподъемности.

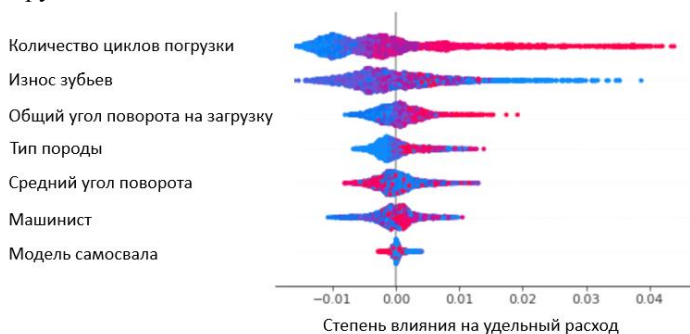


Рис. 1. Факторы, влияющие на электропотребление карьерного экскаватора

В результате проведенных исследований установлено, что автоматическая система диспетчеризации должна руководствоваться не только близостью автосамосвала к точке погрузки или качеством извлекаемого экскаватором горной массы, но и оптимизацией соотношения производительности горной техники. Причем, оптимальное соотношение этого показателя постоянно меняется в силу развития научно-технического прогресса, влияния качества подготовки горной массы к выемке, степени заполнения ковша экскаватора при черпании, схемы подъезда автотранспорта к экскаватору, длин транспортирования, плотности транспортируемой горной массы. Не смотря на большое количество проведенных исследований в данном направлении, возможность анализа систем Больших Данных при автоматизированном считывании и хранении информации дает возможность оценить влияние человеческого фактора, позволяет осуществлять приоритетный подбор погрузочно-транспортного комплекса в конкретных горногеологических условиях карьера.

Кроме этого, установлено, что крайне важно следить за износом зубьев ковша, поскольку этот фактор является вторым по значимости в процессе потребления электрической энергии экскаватором. Поэтому, оптимизируя процесс замены зубьев ковша экскаватора на основе анализа Больших Данных позволит существенно повысить эффективность работы погрузочно-транспортного комплекса.

Список литературы

1. Соловьёв Д.Б. Определение наиболее выгоднейших режимов работы высоковольтных электроприёмников распределительных сетей карьеров с точки зрения сбережения электрической энергии, затрачиваемой на их работу // ГИАБ. 2007. №10.
2. Захаров В.Н., Гвишиани А.Д., Вайсберг Л.А., Дзеранов Б.В. Большие данные и устойчивое функционирование горнотехнических систем // Горный журнал 2021, №11.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕПНЫХ КОДОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Мещеряков Я.Е.

НИУ ВШЭ, г. Москва

Обработка и классификация двумерных сигналов осуществляется различными способами, например, в машинном зрении одним из распространенных способов хранения и классификации контуров является код Фримана, который известен как «цепной код». Отличительная особенностью данного метода – малая вычислительная сложность.

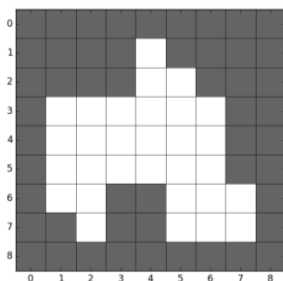
Поскольку сейсмические данные можно представить в виде некоего сигнала, имеющего контур, то код Фримана может представлять ценность для классификации и хранения сейсмических данных. Цепные коды позволят сравнивать сейсмическую картину с шаблонами при малых затратах машинных ресурсов.

Цепной код – это метод описания формы границы объекта на изображении. Принцип работы заключается в том, чтобы пройти по границе объекта и для каждого нового пикселя расшифровать направление, по которому двигались, чтобы достичь этого контура. Линии контура обычно кодируются при обходе его по часовой стрелке.

Обычно принято обозначать код относительно 4-связной окрестности или 8-связной окрестности (сетчатки).

Существует два основных типа цепных кодов: *абсолютной цепной код* и *относительный цепной код*. В обоих случаях код состоит из направлений, которым нужно следовать, чтобы пересечь границу контура.

Пример контура с белым объектом, обрабатываемого цепными кодами представлен на рисунке 1.



**Рис. 1. Пример
изображения с белым объектом**

В *абсолютном* цепном коде направление обозначается относительно ориентации исследуемого объекта, используя направления, указанные на рисунке 1. Это отличается от *относительного* цепного кода, в котором направление $[\wedge]$ фиксируется как направление вперед, и когда пересекается

граница объекта, всегда обозначается новое направление относительно текущего направления вперед.

При расшифровке цепного кода выбирается начальная точка, например, самый левый пиксель в первой строке изображения (т.е. пиксель на [1, 4] на рис. 2). Затем осуществляется обход границы по часовой стрелке, от пикселя к пикселю, в соответствии с выбранной сеткой.

Для окрестности с 4 связной сеткой следующий пиксель находится прямо внизу на [2, 4], поэтому первое число в коде нашей цепочки будет 3. Следующий пиксель находится справа [2, 5], поэтому следующее число в коде цепочки будет 0. Продолжая этот путь до исходной позиции, мы получаем следующий цепной код

$$C_4=(3,0,3,0,3,3,0,3,2,2,1,1,2,2,2,3,3,1,2,1,1,1,0,0,0,1,1).$$

В 8-связной окрестности первый пиксель после начальной позиции находится на [2, 5], поэтому первое число в коде цепочки - 7. Следующая граничная точка - [3, 6], поэтому следующее число в коде цепочки - еще 7. В итоге мы получаем

$$C_8=(7,7,6,6,7,6,4,4,2,3,4,5,6,3,2,2,2,0,0,1,2).$$

Место начало расшифровки не имеет значения, можно начать выполнять круговое преобразование в любой точке и в конечном итоге получить этот же код.

Описывая форму объекта, свойство, которое должно быть инвариантным к вращению объекта; форма остается той же самой, даже если она повернута.

Чтобы сделать цепной код инвариантным к вращению, мы создаем код, основанный на разнице между элементами нормализуемого кода, то, что называется первой разницей цепного кода. Обозначим эту функцию через $\mathbb{R}:\mathbb{N}^N \rightarrow \mathbb{N}^N$ для операций с элементами, при небольшом злоупотреблении обозначениями мы также используем \mathbb{R} , когда работаем с полными цепными кодами. Таким образом, каждый элемент нашего нового инвариантного к вращению кода вычисляется как:

$$R(C_i^k) = \begin{cases} \text{mod}(C_{i+1}^k - C_i^k, k), & \text{for } 0 \leq i < N - 1 \\ \text{mod}(C_0^k - C_i^k, k), & \text{for } i = N - 1 \end{cases}$$

где $k \in \{4, 8\}$ - связность окрестности. Следуя этому, мы можем сделать цепные коды инвариантными по вращению (и инвариантными по начальной точке).

При использовании цепного относительно кодирования новое направление обозначается относительно прямого направления. Результирующий код, естественно, зависит от выбора направления вперед. Разница в результирующем цепном коде после применения различных определений направления вперед – это просто круговой сдвиг, равный разнице между цепными кодами по модулю числа соседей в системе соседства. Фактически происходит инвариантность по старту, потом по перевороту, а потом снова по старту.

В итоге получается код, который будет соответствовать всем подобным фигурам. Нормализация по повороту делается путем вычитания из текущего направления следующего. Относительный код зависит от выбора направления вперед, обычно используется направление вверх (или на север) (1 для 4-связной сетки и 2 для 8-связной). Разница в результирующем цепном коде после применения различных определений направления вперед - это просто круговой сдвиг, равный разнице между цепными кодами по модулю числа соседей в системе соседства.

В итоге, цепные коды не используются для поиска границ контура, они используются для удобного представления контура, его хранения и сравнения с другими имеющимися шаблонами контуров. Главная цель использования цепных кодов - сжатое представление контура, которое удобно передается в алгоритмы классификации и машинного зрения.

УДК 681.3: 550.83.045

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОРНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ RISC-V

Мещеряков Я.Е.¹, Нефедов С.И.^{1,2}

¹НИУ ВШЭ, ²ИПКОН РАН, г. Москва

Большое разнообразие микропроцессорных архитектур позволяет современному разработчику радиоаппаратуры выбрать архитектуру для цифровой обработки сигналов в рамках решаемой задачи. Одной из перспективных архитектур является RISC-V. В данной работе анализируется возможность реализации алгоритмов обработки информации при решении задачи обнаружения сейсмической и сейсмоакустической активности с помощью процессоров, построенных на этой архитектуре.

Процессоры RISC-V широко применяются в микроконтроллерах, например, компания Western Digital ежегодно поставяет более 2 млрд контроллеров RISC-V в своих накопителях. Считается, что данная архитектура очень перспективная для разработки систем на кристалле, поскольку позволяет быстро разрабатывать свои собственные специализированные архитектуры и сравнительно быстро выпускать их по технологии фаундри.

Оценка производительности процессоров обычно осуществляется многоуровневыми тестами, направленными на обработку данных различных типов – бенчмарками. Под бенчмарками подразумеваются контрольные задачи, необходимые для определения сравнительных характеристик производительности компьютерной системы.

В качестве бенчмарков программного микроядра использовалась модель – SiFive E76 Arty 100T. Код исполнялся на аппаратной платформе DE10-Lite Board с установленным ПЛИС 10M50DAF484C7G. ПЛИС тактировалась кварцевым генератором с частотой 50 МГц.

Для нагрузки ядра использовались самые распространенные операции в области цифровой обработки сигналов:

1. Работа FIR фильтра
2. Работа IIR фильтра
3. Работы FFT
4. Перемножение матриц
5. Перемножение векторов

Таблица 1

Результаты работы FIR, IIR и FFT.

Тип	Количество выборок							
	32	64	128	256	512	1024	2042	4096
FIR	1,39E-05	2,98E-05	6,19E05	1,11E-04	2,35E-04	4,61E-04	9,16E-04	1,85E-03
IIR	1,05E-05	1,94E-05	4,39E-05	8,65E-05	1,72E-04	3,48E-04	7,05E-04	1,53E-03
FFT	-	-	4,35E-05	5,59E-05	1,16E-04	2,42E-04	4,20E-04	8,57E-04

Для экспериментов по умножению матриц и векторов проводились исследования с размерностями данных 32x32 и 32x64, поскольку это самые большие и трудоемкие вычисления. Преимущественно использован тип данных – float и int. В таблице 2 приведены результаты исследований с данными размерностей 32x32

Таблица 2

Результаты умножения матрицы размерностью 32x32 элемента

№	Тип данных		Опер	Количество тактов		Время	
	Вх	Вых					
1	float, float	float	$X=X-Y$	57623	55875	1,15E-03	1,12E-03
2	float, float	float	$X=X+Y$	55863	54161	1,12E-03	1,08E-03
3	float, float	float	$X=X^{-1}$	5989670	5074394	1,20E-01	1,01E-01
4	float, float	float	$Z=X*Y$	3091127	2980356	6,18E-02	5,96E-02
5	float, float	float	$X*Y$	55234	53509	1,10E-03	1,07E-03
6	float, int	float	$X=X*N$	122332	120936	2,45E-03	2,42E-03
7	Float	float	$X=X^T$	26799	18416	5,36E-04	3,68E-04
8	float, float	float	<i>Degt</i>	1848407	1612370	3,70E-02	3,22E-02

Проведенные численные эксперименты позволяют сделать вывод, что архитектура RISC-V имеет хорошую производительность, которой достаточно для обеспечения основных методов цифровой обработки сигналов, что

позволяет применять ее в задачах обнаружения сигналов сейсмической и сейсмоакустической активности. С учетом возможности построения с использованием этой архитектуры микросхем по технологии система на кристалле, имеются перспективы применения ее при разработке датчиков со встроенной обработкой информации.

Список литературы

1. Фролов В.А., Галактионов В.А., Санжаров В.В. Исследование технологии RISC-V. Труды ИСП РАН, том 32, вып. 2, 2020 г., стр. 81-98. DOI: 10.15514/ISPRAS-2020-32(2)-7

2. Albrecht T. Pitfalls of object oriented programming //Proceedings of Game Connect: Asia Pacific (GCAP). – 2009.

УДК 550.83.045

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ РЕГИСТРАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Мещеряков Я.Е.¹, Нефедов С.И.^{1,2}

¹НИУ ВШЭ, ²ИПКОН РАН, г. Москва

В современных системах контроля и мониторинга сейсмической и сейсмоакустической активности горных пород в качестве чувствительных элементов применяются различные виды тензорных и пьезоэлектрических датчиков. Считается, что именно они лучше всего измеряют низкочастотные компоненты возмущений. В то же время, развитие современных технологий микромеханики (MEMS) позволяет применять их в том числе и для оценивания низкочастотных компонент сейсмической активности [1], что раньше считалось труднодостижимым.

Исходя из этого, при разработке нового поколения датчиков для применения в многофункциональной геодинамической системе контроля (МГСК) [2] представляет интерес проанализировать возможности применения недорогих микромеханических датчиков типа акселерометр, которые активно применяются в различных технических устройствах, преимущественно для регистрации ускорений, вибрации, ударов и инклинометрии.

Исследование рынка MEMS датчиков выявило большое количество производителей MEMS сенсоров для различных сфер применения. Каждая сфера применения характеризуется различными динамическими диапазонами, уровнем шума, полосой пропускания. Основными критериями выбора MEMS-акселерометра для датчиков системы контроля и мониторинга является: динамический диапазон (диапазон измерений), чувствительность, полоса частот (амплитудный отклик), плотность шума, количество выборок, временная стабильность и количество осей.

Выбор MEMS акселерометра в первую очередь обусловлен динамическим диапазоном и чувствительностью регистрируемых активностей. Следующими по важности идут параметры: полоса частот, плотность шума и временная нестабильность работы. Численные значения характеристик полупроводниковых акселерометров приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики полупроводникового MEMS акселерометра

Диапазон	Чувствительность	Полоса частот	Плотность шума	Количество выборок
±2 G	≥900 отсчетов	≥ 10 Гц	$\leq 250 \frac{\mu G}{\sqrt{Гц}}$	≥100

При анализе рынка акселерометров было принято решение протестировать акселерометры AIS328DQ и SCA3100, как наиболее полно удовлетворяющие перечисленным выше требованиям.

Для тестирования пригодности датчиков были разработаны оценочные комплекты (испытательная оснастка) для вышеуказанных акселерометров. Фотографии оценочных модулей представлены на рисунке 1.

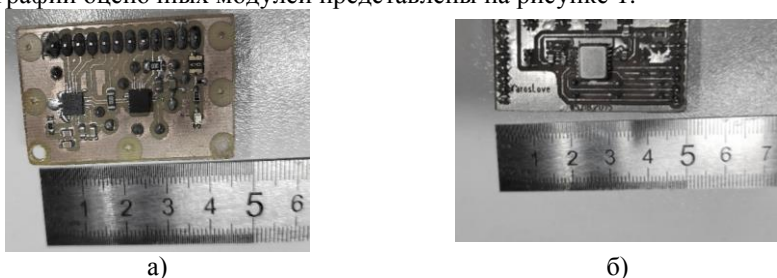


Рис. 1. Испытательная оснастка для тестирования модулей акселерометров а) AIS328DQ и б) SCA3100

Оценка параметров MEMS акселерометров выполнялась по среднему и среднеквадратичному уровню шума отдельно по каждому каналу;

Оценка среднего и среднеквадратичного шума выполнялась при скорости опроса датчиков – 100 Гц, продолжительность выборки для SCA 3100 составила 590 секунд, для AIS328DQ составила 610 секунд. Общее количество выборок для SCA3100 составило 59 000 выборок, для AIS328DQ 61 000 выборок. Результаты испытаний представлены в Таблице 2 и Таблице 3.

Таблица 2

Шумовые характеристики акселерометра AIS328DQ

Параметр	Значение		
	Ось X	Ось Y	Ось Z
Средний уровень Шума	26,48	-24,1	-98,1
Стандартное отклонение	1,57	1,56	1,58

Максимальное значение [mG]	63,4	54,1	163,3
Минимальное значение [mG]	-68,2	-56,2	-175,4

Таблица 3

Шумовые характеристики акселерометра SCA3100

Параметр	Значение		
	Ось X	Ось Y	Ось Z
Средний уровень Шума	14,48	13,7	-41,1
Среднеквадратичное отклонение	1,55	1,56	1,56
Максимальное значение [mG]	37,6	27,2	79,5
Минимальное значение [mG]	-25,4	-26,9	-74,1

В ходе исследования и испытаний микромеханических акселерометров было установлено, что на современном уровне технологий на их основе можно создавать технологичные и работоспособные датчики для применения в системах контроля и мониторинга сейсмической и сейсмоакустической активности.

Список литературы

1. Энциклопедический географический словарь. – М.: РИПОЛ классик, 2011. – 800 с.: ил. – (Словари нового века). ISBN 978–5–386–03063–6.
2. Сайт ИПКОН URL: http://mgsk-ipkon.ru/?page_id=44 (дата обращения: 24.08.2022).

УДК 621.382

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ И КОМПАНЕНТНОЙ БАЗЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯ САНКЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ

Нефедов С.И.^{1,2}

¹ИПКОН РАН, ²НИУ ВШЭ, г. Москва

В последние годы особое внимание в нашей стране уделяется вопросам импортозамещения, которые особенно обострились в связи беспрецедентным санкционным давлением на российскую федерацию и на основные отрасли ее промышленности. Крайне остро, в связи с этим, обстоят дела с доступностью электронной элементной и компонентной базы [1], и в первую очередь в

области создания цифровых вычислительных платформ, наличие или отсутствие которой определяет возможность создания целого класса современных информационных и управляющих систем, а также техники различного назначения, разработка которой без элементно-компонентной базы попросту невозможна.

Развитие электроники в нашей стране в последние 30 лет шло по пути поддержания ряда технологий, доставшихся в наследство от советского союза и применявшихся для поддержания серийного выпуска некоторой специализированной элементной базы, применявшейся при производстве вооружений, военной и специальной техники. Со временем оставшийся задел растрачивался и к настоящему времени может считаться практически исчерпанным, как в плане рабочих производств, так и специалистов, способных эти технологии поддерживать.

В плане создания конечной продукции, как военного, так и гражданского назначения коллективы российских разработчиков с начала 90-х получили доступ к зарубежной элементной базе, более удобной в части коммерческой поддержки и перешли на нее при реализации своих проектов. Фактически произошло встраивание в международные кооперационные цепочки российских коллективов, что привело к зависимости, а в ряде случаев, и невозможности нормальной конкуренции нашей продукции с зарубежными образцами.

Все перечисленные проблемы и тренды понимались и осознавались специалистами и государственными деятелями, несущими ответственность за развитие отрасли в стране [2].

Начиная с 2014-го года процессы импортозамещения в области микроэлектроники были определены как государственная задача, однако не затронули вопросы создания собственных специализированных производств и оборудования, а в области создания цифровых микросхем и микромодулей не могли претендовать на полноту. Так некоторое внимание уделялось разработке процессоров и микросхем программируемой логики, абсолютно игнорируя при этом разработку микросхем памяти и периферийных устройств. В итоге выбранной идеологии импортозамещения в российской федерации за последние 10 лет не было создано ни одного полного комплекта микросхем, позволяющего создать законченную вычислительную систему, состоящую полностью из отечественных комплектующих.

Отдельно следует отметить, что разработка отечественных процессоров шла по пути производства их на зарубежных фабриках. То есть данные микросхемы разрабатывались на основе технологий, не поддерживаемых в России. К таким изделиям на сегодняшний день относятся практически все разработки, созданные крупными дизайн-центрами. Эти микросхемы перестали выпускаться на зарубежных производствах и возможности их поставок на сегодня не очевидны.

Таким образом, на сегодняшний день существует два направления развития электроники, которые будут иметь право на жизнь на перспективу

следующих 2...5 лет. Первое направление – это применение элементной базы, ввозимой каналами параллельного импорта. Стоимость таких комплектов оказывается дороже в несколько раз и техника, созданная на их основе не может считаться конкурентной из-за ценовых ограничений. Второе направление – это создание собственных производств и создание собственных технологий. Этот путь более долгий и первые результаты можно ожидать лишь через несколько лет. В любом случае, как первый, так и второй вариант предполагает более глубокую чем было раньше локализацию технологий по созданию конечных образцов продукции на территории Российской Федерации и развитие компетенций в области разработки электронных и микроэлектронных устройств.

Список литературы

1. Проблемы импортозамещения в российской электронике. <https://bmpd.livejournal.com/4510183.html>
2. Пути возрождения российской электроники. Дулькейт И., Завьялов С, Левченко В. и др. // Connect WIT 2018, №9 <https://www.connect-wit.ru/puti-vozhzheniya-rossijskoj-mikroelektroniki.html>

УДК 550.83.045

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КАК ОБЪЕКТОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПТИМАЛЬНЫМИ АЛГОРИТМАМИ

Нефедов С.И.^{1,2}, Икреников М.С.²

¹ИПКОН РАН, ²МИЭМ НИУ ВШЭ, г. Москва

Предполагается, что обнаружение сейсмических и сейсмоакустических сигналов в горных породах можно эффективно проводить методами и алгоритмами оптимального обнаружения, теоретический базис которых отработан в классической монографии [1]. Синтез алгоритма обнаружения проводится в предположении, что обнаруживаемый сигнал представляет собой случайный процесс, а задача обнаружения сводится к обнаружению случайного процесса с неизвестными количественными параметрами на фоне шума.

В радиотехнике, для которой были проработаны данные методы обнаружения считается, что обнаруживаемый случайный процесс или полезный сигнал представляет собой процесс, распределенный по закону Релея-Райеса с некоторой корреляционной функцией, а шум, на фоне которого производится обнаружение сигнала является белым гауссовским, т.е. распределенным по нормальному закону с корреляционной функцией в виде дельта-функции.

Для правильного переноса метода синтеза алгоритма оптимального обнаружения необходимо определить каким законам распределения будут соответствовать случайные процессы, соответствующие различным типам

сейсмических и сейсмоакустических шумов фоновой (далее шум) или повышенной (далее сигнал) интенсивности и в какой степени они соответствуют сигналам, соответствующим радиодиапазону. Ряд численных экспериментов, позволяющих качественно оценить статистические характеристики как сигнала, так и шума был проведен в рамках данной работы.

В качестве исходных данных для исследования брались записи сигналов, зарегистрированные многофункциональной геодинамической системой контроля (МГСК) [2] при одном из ее экспериментальных включений на объекте минерально-сырьевого комплекса. Условия выбора экспериментов позволяли проанализировать как распределения, соответствующие невозмущенным, так и возмущенным состояниям и тем, самым уточнить формулировку задачи обнаружения в части характера закона распределения.

Определение законов распределения возмущенного и невозмущенного случайных процессов, проводилось гистограммным методом сравнением с эталонными распределениями и их проверкой по критерию Хи-квадрат. Гистограммы строились по выборкам данных, разбитых на 180 интервалов по 512 отсчетов, что позволяет говорить о высоком уровне совпадения результатов. Полученные гистограммы приведены на рисунке 1.

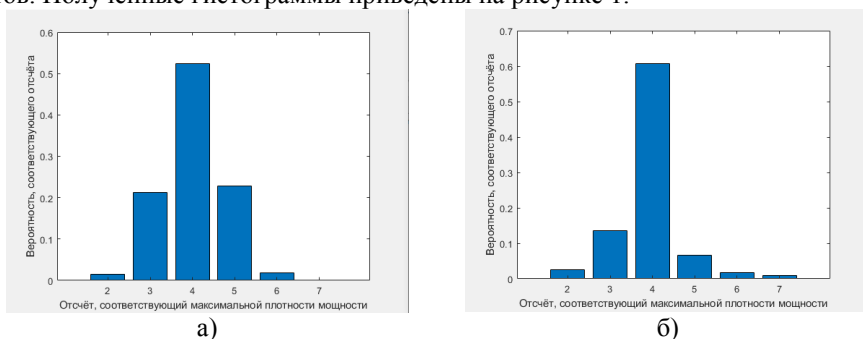


Рис. 1. Гистограммы распределения отсчетов случайных процессов, соответствующих а) сейсмически невозмущенному и б) сейсмически возмущенному состоянию горных пород

Сравнение полученных гистограмм с эталонными законами распределений на основании справочных данных [3] и критерия Хи-квадрат позволили определить, что невозмущенное (сейсмически неактивное) состояние горных пород соответствует нормальному закону распределения, а возмущенное закону распределения Коши.

Появление распределения Коши говорит о том, что возмущенное состояние складывается из нескольких источников возмущения. В случае распределения Коши – это число соответствует 3-ем или 5-ти. Таким образом можно предположить, что распределение сейсмически активных состояний будут описываться законами распределения Релея, Коши, Накагами и Вейбула в зависимости от условий. Это потребует при расчете порога применять

адаптивный алгоритм, анализирующий в реальном времени текущие статистические характеристики принимаемого случайного процесса.

Список литературы

1. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника /Изд. 2, перераб. и доп. // М.: 1982, 624 с.
2. Многофункциональная система контроля геодинамическhttp://mgsk-
ipkon.ru
3. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. // М.: Наука, 2001, 296 с.

УДК 681.3

МАЛОГАБАРИТНАЯ ОДНОПЛАТНАЯ УНИВЕРСАЛЬНАЯ МОБИЛЬНАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Нефедов С.И.^{1,2}, Коновальцев А.В.^{2,3}, Решетова К.В.²

¹ИПКОН РАН, ²НИУ ВШЭ, ³МАИ, г. Москва

В связи с введением санкций в отношении Российской Федерации со стороны недружественных стран резко встала проблема недоступности вычислительных модулей, встраиваемых в информационные и информационно-управляющие системы реального времени. Эта проблема затрагивает целый ряд таких отраслей народного хозяйства, как транспорт, медицина, связь, станкостроение, энергетика. В том числе эта проблема присутствует и в системах, предназначенных для обеспечения работоспособности и безопасности предприятий минерально-сырьевого комплекса.

В течение 2021-го и 2022-го периодически вносились корректировки в законодательство о государственных закупках, обязывающее федеральные органы исполнительной власти, а также предприятия в той или иной степени им подведомственные, применять для своих нужд только вычислительную технику, построенную на основе отечественных процессоров. Несмотря на последующие смягчения этого постановления, оно подтолкнуло разработчиков к созданию отечественных вычислительных платформ различного класса.

На сегодня в той или иной степени на рынке вычислительной техники представлены относительно высокопроизводительные системы на основе процессоров семейства Эльбрус, разработки ИНЭУМ им. Брука и научно-технического предприятия МЦСТ [1], производство которых ведется несколькими предприятиями ГК «РосТех». В тоже время, на рынке мобильных вычислительных платформ, применяемых в том числе в качестве управляющих модулей в системах реального времени предложений, удовлетворяющих критерию использования в качестве основного процессора российской разработки, до недавнего времени не было.

Это вынудило коллектив авторов провести инициативную разработку малогабаритного одноплатного компьютера на основе которого можно в дальнейшем создавать целый класс различных устройств. Основой разработанной вычислительной платформы стал процессор 1892VM14Я разработки АО «НПЦ «Элвис» [2]. Этот 4-ех ядерный процессор обеспечивает работу разработанного компьютера как под управлением операционной системы типа Linux, специально адаптированной для применения с ним, так и позволяет реализовывать на нем работу встроенного прикладного программного обеспечения. Технические характеристики разработанного одноплатного компьютера представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики одноплатного компьютера на базе процессора 1892VM14Я

Тип вычислительных ядер	ARM
Количество ядер	4
Объем оперативной памяти, Гбайт	2
Объем встроенной памяти, Гбайт	32
Операционная система	На основе Linux
Поддержка внешних интерфейсов	802.11ac, 802.11n, 802.11g, 802.11b
Система электропитания	аккумулятор/беспроводной или проводной заряд

Разработанный одноплатный компьютер является базовым элементом, входящим в любую информационную систему нового поколения и принципиально позволяющим проводить обработку информации непосредственно в месте ее сбора и регистрации. Это принципиально позволяет существенно снижать объемы передаваемых данных в сети и упрощает развертывание системы в целом. Планируется применение разработанных одноплатных компьютеров, как средств обработки информации в системах контроля и мониторинга нового поколения.

Список литературы

1. Микропроцессоры и вычислительные комплексы семейства «Эльбрус» — Ким А.К., Перекатов В.И., Ермаков С.Г. — СПб. Питер, 2013 — 272 с.
2. https://elvees.ru/mc/data_sheets/1892VM14YA_brief.pdf

ПОДВЕСНЫЕ УСТРОЙСТВА РУДНИЧНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК С ЛЕНТОЧНЫМИ ТЯГОВЫМИ ОРГАНАМИ

Нишинова Ж.А., Беляев А.М., Ковалёв Д.Б.

НИТУ «МИСиС», г. Москва

Подъемные установки выполняют основную эксплуатационную миссию при транспортировке рудного сырья из шахты на поверхность, в том числе выполняя задачи, связанные со спуском-подъемом работников и вспомогательного

оборудования. Это обуславливает необходимость проведения соответствующих исследований, направленных на повышение эффективности и безопасности при эксплуатации данного типа установок [1].

В работах [2, 3, 4] авторы рассматривали вопрос о применении резино-тросовых канатов в роли головных на рудничных подъемных установках. Предлагаемое в данных исследованиях техническое решение решает проблемы увеличения эффективности и безопасности эксплуатации оборудования рудничного подъема, снижает габариты подъемных машин и энергопотребление, увеличивает технический ресурс тяговых органов и их грузоподъемность.

Исследователи различных стран в своих статьях проделали работу по оценке возможностей повышения срока службы подъемных канатов и по моделированию механической деформации каната под разными производственными нагрузками.

Инновационное решение в области рудничного подъема [5] посвящено снижению динамических передвижных проходческих подъемных установок с безредукторным гидроприводом. Обзор исследований показал, что несмотря на ряд преимуществ подъемных установок с ленточными тяговыми органами, до сих пор не разработаны основные узлы такого типа оборудования: тормозные системы, подвесные устройства, направляющие для скипов и т.д.

Ведутся активные научные работы [6] по обоснованию конструкций подвесных устройств при использовании лент, но их основным недостатком является громоздкость конструкции, а значит и большая металлоемкость. Поэтому в данной работе предлагается иная конструкция подвесного устройства – клинового типа (рис. 1). Сборка подвесного устройства была создана в программе SolidWorks. Данная сборка имеет более простую и надежную конструкцию по сравнению с аналогами.

Следует отметить, что цифровое моделирование в SolidWorks используются во многих научных работах [6, 7]. Для оценки напряженно-деформированного состояния при рабочих нагрузках такого подвесного устройства была разработана цифровая модель его кронштейна. Для этого модели был присвоен материал, он был разбит на конечные элементы (рис. 2а), были приложены усилия в виде рабочих нагрузок, возникающих в рабочих режимах подъемных установок и получена эпюра напряжений (рис. 2б). Благодаря такому моделированию можно оценить ресурс элементов новых подвесных устройств при эксплуатации на подъемных установках с ленточными тяговыми органами.

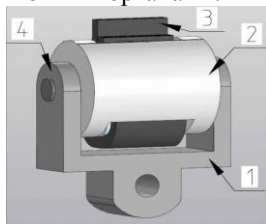


Рис. 1. Сборка предлагаемого подвесного устройства:
1 – кронштейн, 2 – барабан с клиновым зажимом,
3 – резинотросовый канат,
4 – палец кронштейна

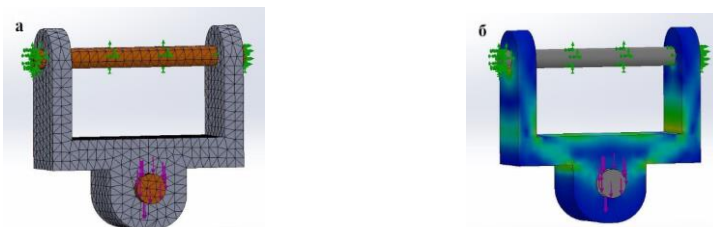


Рис. 2. Цифровая модель кронштейна подвесного устройства

Заключение

На основании выполненного анализа определена возможная конструкция подвесного устройства клинового типа, а также разработана цифровая модель его кронштейна, которая может быть применена на стадии проектирования новых подвесных устройств для подъемных установок с ленточными тяговыми органами.

Список литературы

1. Трифанов Г.Д., Микрюков А.Ю. Повышение эффективности эксплуатации шахтных подъемных установок на основе мониторинга плавности движения скипов // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2016. – Т. 1. – С. 49-54.
2. Перекутнев В.Е., Зотов В.В. Сравнительная оценка резиновых канатов для рудничных вертикальных подъемных установок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 7. – С. 85-93. – DOI 10.25018/0236-1493-2020-7-0-85-93.
3. Перекутнев В.Е., Зотов В.В. Сравнительная оценка резиновых канатов // Инновационные перспективы Донбасса: материалы 5-й Международной научно-практической конференции, Донецк, 21–23 мая 2019 года / Донецкий национальный технический университет. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2019. – С. 107-111.
4. Зотов В.В. Сравнительная оценка канатного и резинового тяговых органов подъемных установок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 10. – С. 287-293.
5. Вагин В.С., Филатов А.М., Курочкин А.И. Снижение динамичности передвижных проходческих подъемных установок с безредукторным гидроприводом // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 3(47). – С. 25-29.
6. Блохин С.Е., Колосов Д.Л., Матысина Н.В., Шидо Н.Н. Напряженно-деформированное состояние плоского резинового тягового органа в сцепном устройстве // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 3. – С. 256-261.
7. Перекутнев В.Е., Зотов В.В. Моделирование приводных шкивов подъемных установок с резиновыми канатами // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 6. С. 105-114.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОУДАРНЫХ МАШИН С ЦЕЛЮ РЕАЛИЗАЦИИ АДАПТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Плохих В.В., Чешин Д.О., Данилов Б.Б.

ИГД СО РАН, г. Новосибирск

Технологические процессы сооружения шпуров, скважин, забивки стержней и других операций в горной промышленности не обходится без применения виброударных машин с пневматическим приводом. Неоспоримыми достоинствами таких машин являются конструктивная простота, низкая стоимость и надежность эксплуатации в неблагоприятных условиях.

В настоящее время отчетливо видна тенденция к увеличению глубин, на которых ведутся горные работы. В связи с этим усложняются многие проблемы, в число которых входит и проблема обеспечения безопасности персонала. Одним из кардинальных решений этой проблемы является внедрение «безлюдных технологий» с применением роботизированных комплексов, позволяющих осуществлять горные работы в автоматическом режиме без непосредственного участия оператора. Такие комплексы позволят обезопасить персонал от воздействия вредных факторов и повысить эффективность горных работ за счет применения «адаптивных технологий», в которых параметры энергетического воздействия устанавливаются автоматически без участия оператора. Для успешной реализации таких технологических процессов необходимо создание новых пневматических ударных машин, позволяющих оперативно изменять величину и структуру ударной мощности непосредственно в процессе работы [1,2].

При рассмотрении существующих конструктивных решений пневмоударных машин, правильным будет начать с широко известного пневмопробойника с беззолотниковой системой воздухораспределения. Принципиальная конструктивная схема пневмопробойника представлена на рисунке 1 [3].

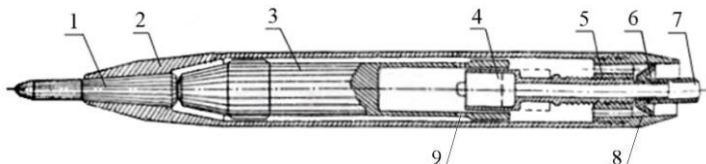


Рис. 1. Принципиальная конструктивная схема пневмопробойника:
1 – наковальня; 2 – корпус; 3 – ударник; 4 – патрубок; 5 – амортизатор;
6 – клапан; 7 – шланг; 8 – хвостовая гайка; 9 – отверстие

Главной причиной выбора беззолотниковой схемы явилась простота конструкции и возможность эффективного решения проблемы реверса. Пневмопробойники применяются в горных работах для забивания в грунт металлических труб (прокол с одновременной обсадкой), строительства дренажных систем, крепления бортов карьеров и сооружения буронабивных свай.

Для пневмопробойника изменение энергетических параметров возможно только путем снижения общего магистрального давления энергоносителя [4]. При этом снижается и частота ударов f , и их энергия E . Ясно, что потеря ударной мощности в таком случае весьма существенна. Например, для серийного пневмопробойника ИП-4605 двукратное уменьшение величины энергии удара E приводит к снижению ударной мощности P в 2,4 раза (рис. 2а,б).

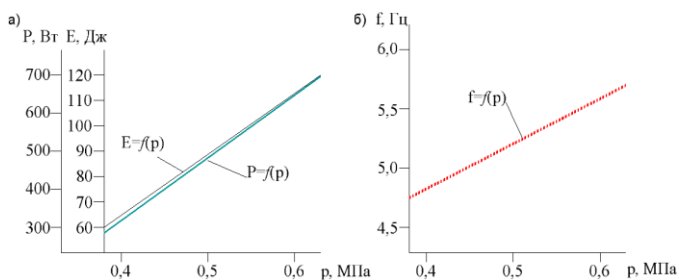


Рис. 2. Изменение мощности P , энергии E (а) и частоты f ударов (б) от величины магистрального давления воздуха p для пневмопробойника ИП-4605

В ИГД СО РАН разработана и запатентована новая принципиальная конструктивная схема пневмоударного устройства (рис.3) в которой предусмотрен иной механизм изменения выходных энергетических параметров. Конструкция устройства выполнена на основе комбинированного воздухо-распределения с использованием эластичного запорного клапана [5].

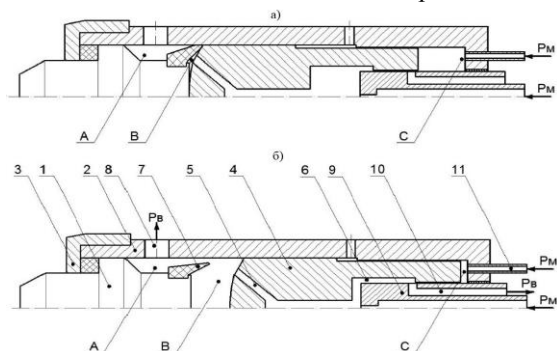


Рис. 3. Конструктивная схема ударного устройства

Принцип действия устройства следующий. В камеру С (рис. 3б) подается давление P_m через впускной патрубок 11, тем самым создается усилие на ударник 4 для осуществления прямого хода. При этом запорный клапан 7 находится в свободном (открытом) состоянии, сообщая камеру В с атмосферой P_v через камеру А и выхлопные отверстия 8. Ударник 4 начинает прямой ход на (рис. 3б) влево.

В предупредный момент (рис. 3а) передний торец ударника 4 прижимает запорный клапан 7 ко внутренней поверхности корпуса 2, отсекая камеру В от атмосферы P_v . Одновременно давление по продольному каналу 5 поддерживает запорный клапан 7 в закрытом состоянии и воздействует на передний торец ударника 4. За счет разницы площадей переднего и заднего торцов ударника 4, последний совершает обратный ход.

По окончании обратного хода камера В через продольный канал 5 в ударнике 4, проточку 6 в ударнике 4 и выхлопные каналы 10 в центральном патрубке 9 сообщается с атмосферой P_v . В камере В происходит первоначальное падение давления и запорный клапан 7 под действием собственной силы упругости принимает своё исходное положение, сообщая камеру В через камеру А и выхлопные отверстия 8 в корпусе 2 с атмосферой P_v . Ударник 4 начинает прямой ход и цикл повторяется.

Продольное перемещение центрального патрубка 9 относительно корпуса 2, позволяет изменять момент соединения камеры В через продольный канал 5 и проточку 6 в ударнике 4, выхлопные каналы 10 с атмосферой P_v . При перемещении центрального патрубка 9 в сторону наковальни 1, соединенную с корпусом 2 посредством гайки 3, величина хода ударника 4 и, соответственно, энергия удара уменьшаются, а частота ударов повышается. При отдалении центрального патрубка 9 от наковальни 1 величина хода ударника 4 и, соответственно, энергия удара увеличиваются, а частота ударов уменьшается. Таким образом, появляется возможность регулировать величину хода ударника 4 и соответственно энергетические параметры устройства. При этом важно, что энергия ударных импульсов и их частота изменяются разнонаправленно. Уменьшение энергии сопровождается увеличением частоты, и наоборот. Следовательно, колебание величины ударной мощности в процессе регулировки будет существенно меньше по сравнению с пневмопробойником и другими известными машинами.

По результатам имитационного моделирования в программном комплексе ITISimX [6] в графическом виде представлена зависимость изменения энергетических и динамических параметров в зависимости от величины рабочего хода ударника (рис.4).

Графики показывают, что изменение величины рабочего хода в диапазоне от 60 до 115 мм приводит к двукратному повышению энергии удара. При этом частота импульсов f (рис. 4б) изменяется в противофазе с энергией E в 1,5 раза (рис. 4а). Графики на рисунке 4б отображают снижение частоты

ударов в том же диапазоне перемещений примерно в 2 раза и повышение скорости соударения в 1,4 раза.

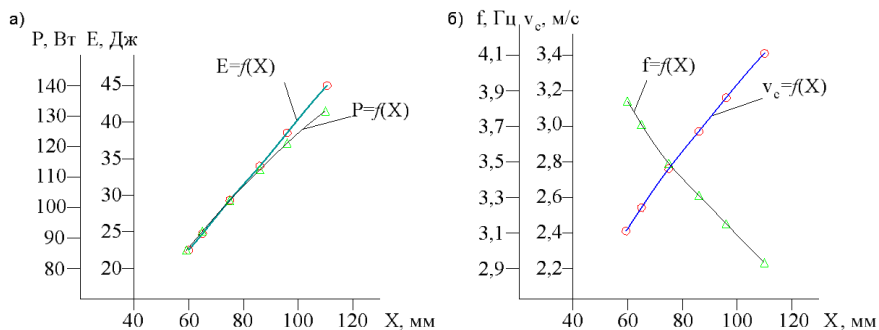


Рис. 4. Результаты имитационного моделирования

Таким образом, предложенная конструкция позволяет регулировать энергию и частоту ударных импульсов непосредственно в процессе работы, а результаты исследования динамики рабочего цикла имитационной модели предлагаемого механизма показывают, что изменение структуры ударной мощности (энергии и частоты импульсов) достигается без существенного снижения ее величины в отличие от существующих машин.

Список литературы

1. Плохих В.В. Создание пневматической ударной машины для реализации адаптивных технологических процессов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 7. – С. 91–103.
2. Плохих В.В. Обоснование принципиальной схемы и исследование рабочего цикла пневматической ударной машины с изменяемой структурой ударной мощности / В.В. Плохих, Б.Б. Данилов, Д.О. Чешин, А.О. Кордубайло // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2021. – Т. 8. – № 1. – С. 315–320.
3. Суднишников Б.В., Есин Н.Н., Тупицын К.К. Исследование и конструирование пневматических машин ударного действия. – Новосибирск: «Наука», 1985. – 135 с.
4. Гурков К.С., Климашко В.В., Костылев А.Д. и др. Пневмопробойники. – Новосибирск: Изд-во ИГД СО АН СССР, 1990. – 217 с.
5. Пат. 208325 РФ, МПК E21B 1/00 (2006.01). Устройство ударного действия / Б.Б. Данилов, В.В. Плохих, А.А. Речкин, Д.О. Чешин; заявитель и патентообладатель ИГД СО РАН. – №2021118386; заявл. 24.06.2021 // опубл. 14.12.2021, Бюл. № 35 – 7 с.
6. Официальный сайт компании ESI Group company [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.esi-group.com/products/system-simulation>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 29.06.2022).

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРОВ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

Побегайло П.А.¹, Ильина А.Н.²

¹ *Независимый исследователь, г. Москва*

² *ФГБОУ ВО МАИ (НИУ), г. Москва*

Введение. В последние годы наше внимание было во многом сосредоточено на исследовании рабочего оборудования (РО) одноковшовых гидравлических экскаваторов (ОГЭ) прямого и обратного копания. При этом нами был выявлен корпус важных и до конца не снятых вопросов имеющих отношение не только к проектированию ОГЭ, но и к их эксплуатации, тем самым составляя обязательную часть теоретического фундамента системы «экспресс - диагностики и управления» состоянием карьерных экскаваторов в условиях их использования (поддержания их гомеостаза).

Например, к числу таких вопросов относится проблема (и задача) оценки максимальной статической нагруженности ОГЭ (которая в реальности существенно расширяется, захватывая в себя еще ряд важнейших вопросов).

При этом важным и характерным нюансом данной задачи (проблемы) является неизбежность и необходимость разработки различных технических и теоретических средств (методов; подходов) для ее решения как при непосредственном проектировании - для этапов синтеза, анализа и оценки качества итогов этапа (стадии); так и для условий собственно проектирования и эксплуатации - где для последних применение более сложных и точных моделей существенно затруднено. Отдельная модель (а лучше их цепочка) нужна также и при разработке системы управления машиной.

Иными словами, нами в последнее время построено несколько различных физических моделей позволяющих оценивать статическую нагруженность ОГЭ (и ряда прочих характеристик) - которые естественно должны применяться взаимосвязано, но каждая в четко очерченной и допустимой конкретной проблемно-ориентированной области.

Основной текст. Наиболее интересные результаты наших обсуждаемых сейчас исследований состоят в том, что:

- для условий раздельного копания нами разработаны различные методы синтеза и анализа как отдельных элементов РО, так и РО в целом (для различных кинематических схем). Это осуществлено нами для ОГЭ прямого и обратного копания;

- при этом нами произведен детальный анализ основной физической модели оценки статической нагруженности, что позволило, кроме всего иного, ввести понятие эллипсов нагружения - а также выдвинуть гипотезу о том, что качество (эффективность) РО ОГЭ в значительной мере определяется степенью нарушения некоторых симметрий. Кроме этого, нам давно стало очевидно, что

рабочая зона ОГЭ может быть рассмотрена как поле (его природа и свойства зависят от конкретной ситуации), а её точки имеют вполне определенные свойства (а также и тип);

- на базе анализа плоского четырехзвенного механизма привода ковша прямой гидравлической лопаты ЭГ-12А нами введены и проиллюстрированы различные критерии оценки его качества (эффективности) - позволяющие оценивать его состояние как при проектировании (на этапе синтеза элементов РО), так и при непосредственной эксплуатации. Попутно нами естественно построена и соответствующая физическая модель для оценки статической нагруженности. Привязка к конкретному механизму и машине не снижает общности и полноты полученных результатов;

- наиболее полезными критериями в данном случае выступили силовые и кинематические передаточные функции;

- также оказались весьма информативными и полезными некоторые коэффициенты, например: динамичности, асимметрии, неравномерности движения, неравномерности нагруженности и др., а также т.н. «относительная» характеристика гидроцилиндра;

- кроме этого, указанная модель позволяет дополнительно определять многие иные характеристики РО - в частности, скорости и ускорения его звеньев и некоторых важных точек (чего никогда еще не делалось в нашей стране в условиях проектирования ОГЭ, особенно карьерных);

- в рамках данной работы нами также впервые введены понятия скоростного и силового потенциала ОГЭ - фактического и теоретического;

- силовой поток после «перехода» от гидроцилиндров к ковшу значительно снижается - тем самым указывая на то, что механизм привода ковша это редуктор;

- весьма часто, площадь некоторых графиков, получаемых нами в рамках рассматриваемых сейчас наших исследований, можно рассматривать как работу (например, затрачиваемую на копание), что весьма полезно;

- заметим, для примера, что нами предложена оценка единичного синтезированного варианта привода ковша по значению фактического энергетического запаса механизма, который должен быть выше некоторой константы;

- впервые в мире мы, на модельном примере, достаточно детально показали то, как и чем ограничивается реализация максимального реализуемого усилия на зубьях ковша при раздельном копании и при стопорении его в абсолютно жесткое непреодолимое препятствие. При этом нами получено несколько теорем, указывающих экстремальные границы существования указанного усилия;

- попутно нами показана недопустимость и бессмысленность локальной оптимизации для единичного рабочего исполнительного механизма РО ОГЭ в условиях реального проектирования. Рассматривать и оптимизировать их следует только совместно (любые иные постановки могут быть важны и

любопытны лишь для ряда академических задач, не имеющих сейчас явно выраженной практической пользы);

- нами впервые предложена и достаточно подробно рассмотрена одна из возможных эвристик для сокращения объема вычислений при анализе статической нагруженности ОГЭ. Также нами выявлен минимально допустимый размер расчетной сетки при рассмотрении всей рабочей зоны карьерного ОГЭ;

- достаточно детально нами исследован и процесс копания ковшом на уровне стоянки прямой гидравлической лопаты - и с точки зрения поведения его геометрических и силовых параметров, и с точки зрения введения дополнительных характеристик качества (в частности, на базе частотного анализа);

- при этом например, мы достаточно полно изучили вопрос поведения усилий на штоках всех гидроцилиндров РО при копании ковшом;

- также нами рассмотрен ряд частных вопросов важных при создании ОГЭ - например, вопрос того, как следует раскладывать усилие копания - на горизонтальную и вертикальную составляющую или как-то еще, и т.д.;

- нами убедительно показана возможность и полезность применения методов гармонического анализа при анализе статической нагруженности РО ОГЭ - что дает полезный материал и для синтеза как РО и его элементов, так и системы управления ОГЭ.

Заключение. В настоящем докладе кратко представлены некоторые наиболее интересные и важные наши результаты по исследованию РО ОГЭ полученные за последние годы. Более детально с ними можно познакомиться в наших разных публикациях, увидевших свет в последнее время, в частности, в трудах представленных в сборниках [1, 2].

Данные исследования направлены как на создание теоретического фундамента «системы экспресс диагностики и управления» карьерными экскаваторами с разным типом привода и видом РО, так и на расширение наших знаний про данные машины и механизмы.

В завершении настоящего текста заметим, что важнейшей частью и глубинной сутью данных исследований является их принципиальное, имманентное качество - органическая взаимосвязь с информационными технологиями, биологией (биомеханикой) и философией, без чего создание совершенных машин и механизмов третьего тысячелетия немыслимо.

Список литературы

1. Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XIX Международной научно-технической конференции, проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады. Чтения памяти В.Р. Кубачека / Редактор Ю.А. Лагунова // УГГУ. Екатеринбург. 2021. 446 с.

2. Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XX Международной научно-технической конференции, проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады. Чтения памяти В.Р. Кубачека / Редактор Ю.А. Лагунова // УГГУ. Екатеринбург. 2022. 377 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Прокофьева Е.Н., Некрасов Г.А., Чашкин Л.Б., Кантуга З.Д.

НИУ ВШЭ, г. Москва

Минеральные ресурсы играют важную роль в экономическом развитии в результате их важности как для сырья, так и для энергии. Спрос на минеральные ресурсы значительно увеличился с ростом промышленности и урбанизации, что привело к увеличению потребности в добыче полезных ископаемых. Как правило, широко используются два типа добычи полезных ископаемых: поверхностная и подземная. Добыча открытым способом — это когда рудное месторождение собирается после вскрытия и отбраковки породы, лежащей поверх и окружающей рудное тело. Открытые шахты ограничены пространством и обычно используют большое количество механического оборудования, в основном для бурения, взрывных работ, погрузки, транспортировки и сброса. Подземная добыча — это процесс добычи полезных ископаемых из рудных тел в подземных месторождениях. Обычно его проводят там, где месторождение находится глубоко под поверхностью, а процессы добычи в основном направлены на разработку рудных тел, резку и отбойку [1]. Все эти процессы добычи имеют некоторые проблемы, неизбежно влияющие на безопасность и качество производства. Надлежащее инженерное проектирование является основой для уменьшения возникновения геологических опасностей при добыче полезных ископаемых, что может помочь обеспечить более высокий уровень безопасности и стабильности шахты.

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) резко возросло за последние два десятилетия, что сделало их популярными инструментами для широкого круга приложений и привело к значительному количеству научных достижений в области наук о Земле, дистанционного зондирования и инженерии. Тем не менее, разработка лучших практик для обеспечения высокого качества картографирования БПЛА часто упускается из виду, что препятствует их более широкому внедрению. Это также подтверждается количеством научных статей о БПЛА, опубликованных в различных исследовательских сообществах за последние десятилетия.

Развитие платформ беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), включая легкие бортовые датчики и компьютерное зрение, сделало БПЛА новым типом сбора данных. В последние годы дистанционное зондирование на основе БПЛА стало более модульным, миниатюрным и интеллектуальным и широко используется в различных областях, таких как съемка местности, точное земледелие и мониторинг лесов [2]. Платформа БПЛА имеет множество уникальных преимуществ, таких как низкая стоимость, короткий цикл повторного посещения и простота в эксплуатации [3]. Изображения изучаемой

области могут быть получены БПЛА, оснащенными различными датчиками для различных требований, а обработка данных может выполняться с помощью доступного программного обеспечения [2]. Безопасные, недорогие и быстрые методы сбора данных означают, что БПЛА обладают большим потенциалом в области мониторинга и обследования горнодобывающих предприятий с высоким риском по сравнению с традиционными методами измерения, которые подходят для горнодобывающей отрасли. Динамический сбор различных данных на разных этапах в горнодобывающей отрасли с помощью БПЛА, оснащенных различными датчиками, является эффективным способом обеспечения непрерывного мониторинга источника риска после добычи и планирования рекультивации земель [3]. Содействие скоординированному развитию как эксплуатации ресурсов, так и защиты окружающей среды находится в центре дальнейших исследований. В настоящее время научные исследования, основанные на данных БПЛА, достигли определенного успеха, но использование БПЛА все еще находится в зачаточном состоянии в горнодобывающей отрасли.

В настоящее время применение БПЛА в мониторинге шахт переживает период бурного развития. Выбор БПЛА и датчиков в соответствии с фактическими требованиями поставленной задачи является ключевым вопросом в исследованиях по мониторингу шахт. Между тем, получение лучших практических результатов за счет объединения спутниковых данных, БПЛА, съемки шахтных полей и скважинных данных для достижения комплексного мониторинга «спутник-БПЛА-поверхность-скважина» является следующим шагом научных исследований. Это имеет важное исследовательское значение, а также экономическую ценность для построения точных данных о местонахождении шахты и геодезических данных, осуществления динамического мониторинга, понимания добычи на шахте и содействия устойчивому развитию.

БПЛА могут заменить традиционные измерения и быстро выполнять трудоемкие задачи, получая периодические данные и обеспечивая гораздо лучшее разрешение, чем спутниковые изображения [4]. Однако низкая автономность означает, что БПЛА требуется больше полетов, чтобы покрыть большую территорию, что, несомненно, является проблемой в отдаленных регионах без постоянного энергоснабжения. В то же время они подвержены влиянию таких факторов окружающей среды, как погода и рельеф местности [5]. Кроме того, гиперспектральные камеры, тепловизионные инфракрасные камеры и LiDAR, подходящие для платформ БПЛА, по-прежнему являются дорогостоящими, что ограничивает их использование. Основная часть датчиков, используемых в горнодобывающей отрасли, представляет собой цифровые камеры, а основные приложения по-прежнему ориентированы на 3D-реконструкцию и съемку местности. Следовательно, разработка недорогих датчиков необходима для расширения службы и ассортимента БПЛА и достижения лучших результатов исследований.

Быстрая обработка данных, полученных с помощью БПЛА, по-прежнему остается ключевой проблемой. «Большие данные», такие как LiDAR и гиперспектральные данные, сложны и требовательны к вычислительным мощностям компьютера [6]. В то же время они не могут быть обработаны в режиме реального времени и имеют низкую степень автоматизации. Гиперспектральные данные содержат большой объем информации для идентификации минералов, и крайне важно выполнять уменьшение размеров и классификацию гиперспектральных данных с помощью интеллектуальных вычислительных алгоритмов. LiDAR хорошо зарекомендовал себя при оценке растительного покрова после рекультивации [7]. В то же время интеграция функциональных модулей, таких как LiDAR, в систему БПЛА позволяет быстрее получать и обрабатывать «большие» данные в режиме реального времени. Следуя этой тенденции развития, беспилотные летательные аппараты, оснащенные LiDAR, камерами гиперспектрального изображения могут осуществлять непрерывный мониторинг для осмотра инфраструктуры.

Эффективное сочетание данных БПЛА и других видов данных, таких как данные спутникового дистанционного зондирования, данные мониторинга поверхности и скважинные данные, и их полное использование на различных этапах (например, до добычи, добычи, после добычи и после рекультивации) являются ключевыми проблемами горнодобывающей отрасли. В отличие от других областей исследований в горнодобывающей промышленности среда меняется резко и быстро. Сопоставление и объединение данных из нескольких источников может обеспечить взаимодополняемость за счет использования сильных сторон друг друга.

Научное применение БПЛА в основном сосредоточено на измерениях поверхности, таких как трехмерная реконструкция, съемка местности, анализ устойчивости оползней и мониторинг загрязнения воздуха. Подземные исследования в основном сосредоточены на угольных пожарах, но они могут обнаружить точки с аномальной температурой только с помощью тепловизионной инфракрасной камеры [8]. Точное картографирование подземного рельефа может помочь геодезистам получить информацию о скважине, а также составить план дальнейших горных работ. Однако из-за опасной окружающей среды геодезисты не могут снимать показания крупным планом. Традиционные методы позволяют осуществлять мониторинг только на уровне точки или линии и не могут обеспечить мониторинг всей поверхности. В то же время для автономной навигации БПЛА в основном полагается на GPS, но сигналы GPS плохо проникают сквозь землю. Требуется дополнительные исследования возможности создания 3D-карт в подземных шахтах с помощью БПЛА, оснащенных LiDAR. Успех или провал БПЛА в подземных шахтах еще должен пройти проверку временем.

Благодарности

Публикация подготовлена в ходе проведения исследования (№ 20-04-033 проекта) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2020 – 2022 гг. и в

рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации «5-100».

Список литературы

1. Умербеков Ж.Ж., Гончаренко С.Н. Обоснование эффективности внедрения целевой модели управления производственной безопасностью горнодобывающей компании // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 8. – С. 225–234. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-225-234.
2. Prokofyeva E.N., Vostrikov A.V., Starykh V. Integrated information system for the assessment of quality and organizational sustainability of the mining industry, in: 2019 International Science and Technology Conference «EastConf» (March, 1-2 2019). IEEE, 2019. P. 1-4.
3. Prokofeva E.N., Vostrikov A.V., Shapovalenko G.N., Alvarez A. The development of effective geomonitoring for mining area with industrial review // Eurasian Mining. 2017. No. 2. P. 61-63.
4. Prokofeva E.N., Vostrikov A.V., Fernandez E., Borisov N. Navigation satellite systems as the audit foundation for mining companies // Eurasian Mining. 2017. No. 1. P. 30-32.
5. Чунуев И.К., Левкин Ю.М., Болотбеков Ж. Определение технологических параметров призмы обрушения уступов, отвалов и дорог. Горные науки и технологии. 2021;6(1):31-41. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-1-31-41>.
6. Гончаренко С. Н., Яхеев В. В. Компьютерное моделирование корпоративной системы информационной безопасности геоинформационных технологий промышленного предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 2. – С. 81–96. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_81.
7. Гончаренко С.Н., Лачихина А.Б. Мониторинг инцидентов безопасности геоинформационной системы управления и контроля деятельности промышленного предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 3. – С. 108–116. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_108.
8. Prokofyeva E.N., Vostrikov A.V., Griбанov I., Гончаренко С.Н. Analytical modeling for the modern mining industry // Eurasian Mining. 2019. No. 2. P. 30-35. doi

УДК 528.235:681.3

ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА БАЗЕ OPEN-SOURCE ИНСТРУМЕНТОВ

**Чашкин Л.Б., Прилепко П.М.,
Прокофьева Е.Н., Востриков А.В.**

НИУ ВШЭ, г. Москва

Увеличение значимости и понимания глобальных экологических проблем ведёт к популяризации безопасности производства для окружающей среды и расширению применения чистых технологий на национальном уровне, использование инновационных методов в управлении георисками и

экологическом мониторинге. Особую важность здесь представляет ресурсный сектор, поскольку предприятия недропользования и энергетики составляют значимую долю производственной мощности и формирования бюджета страны. Большое значение здесь представляют программы «Интеллектуального горного производства», где управление осуществляется дистанционно или полностью автоматически. Другим важным вектором здесь является развитие технологий с учётом стратегии импортозамещения в сфере геоинформационных систем и технологий - в условиях ее реализации становится важным исследовать возможности и преимущества отечественных операционных систем на примере дистрибутивов Alt на базе формирования технического приложения и обработки разноформатных данных геопространственного анализа по объектам открытых горных работ. Для построения карты рельефа, полезных ископаемых и т. п. в первую очередь важно иметь привязку к пространственным координатам. Далее, при наличии избыточных или противоречащих друг другу данных, стоит избавиться от выбросов [1-3]. Опишем способ построения карты рельефа в свободно-распространяемой программе QGIS, входящий в состав дистрибутивов операционной системы Alt Linux. Для привязки к пространственным координатам используется модуль QuickMapServices, позволяющий загрузить и работать с разными видами карт, в том числе OpenStreetMap. Модуль SRTM-Downloader используется для получения данных о высоте из проекта SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Программа QGIS позволяет на основе этих данных наложить на карту градиент, добавить изолинии, а затем построить карту рельефа (рис. 1). С помощью модуля qgis2threejs можно построить 3D-модель полученной карты рельефа для большей наглядности (рис. 2).

В операционной системе Alt Linux доступна для установки программа Motion, которая поддерживает работу с видео-онлайн (рис. 3).

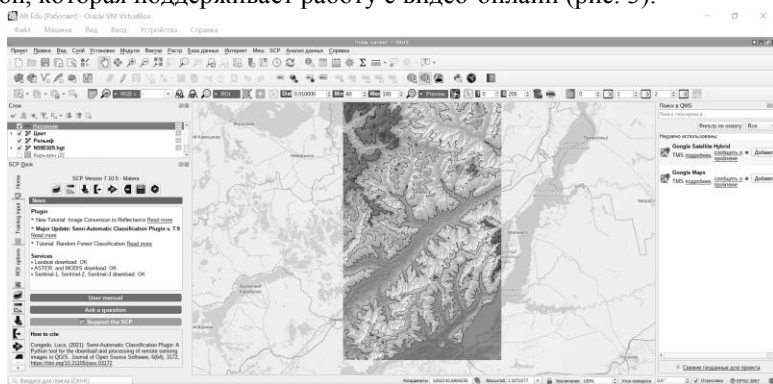


Рис. 1. Карта карьера Вольского карьера

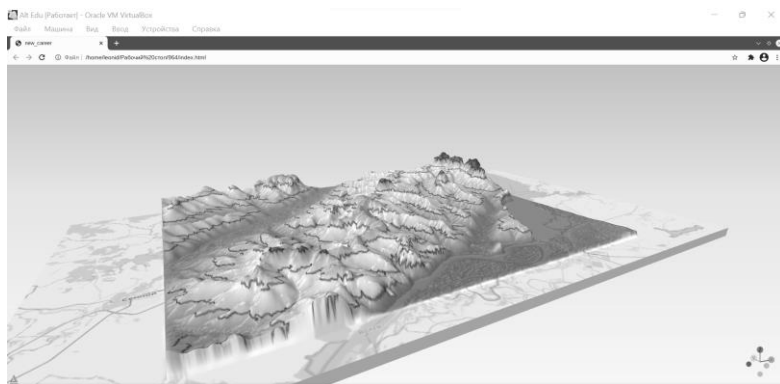


Рис. 2. Цифровая 3D-модель Вольского карьера

Опишем преимущества данной системы: 1) поддержка работы с несколькими камерами; 2) непрерывная трансляция изображения с веб-камеры с сохранением транслируемого потока на носитель; 3) поддерживаются различные форматы поступающего видеопотока; 4) отслеживание наличия изменений на изображении, получаемом с камеры, и включение записи в случае обнаружения таких изменений — программа реагирует на движение и начинает запись только в этом случае; 5) трансляция изображения с камеры в сеть посредством собственного небольшого HTTP-сервера; 6) выполнение произвольного скрипта при заданном условии. Например, при обнаружении движения можно запускать скрипт оповещения по почте, sms, телефону или проигрывать трубный звук.

Важным направлением реализации стратегии импортозамещения в области геоинформационных систем и технологий становится использование отечественных операционных систем для предобработки пространственных данных в управлении георискками. Особенно стоит выделить государственные организации, в которых уже существуют рекомендации, а в некоторых и требования, о полном замещении иностранных IT-продуктов.



Рис. 3. Скриншот видеопотока карьера Гатчинского района по производству щебня

Что касается именно геоданных, например, съемки с дрона могут захватывать важные стратегические объекты, тогда конфиденциальность и безопасность крайне важны для страны в целом, что и призваны обеспечить

отечественные ОС. [4-6] Кроме того, дистрибутивы семейства Alt становятся популярными не только для использования определённых видов программного обеспечения, приложений и пакетов в управлении природопользованием на уровне федеральных структур Минприроды и Роснедра, а также региональных ведомств, но и самих предприятий горного сектора. Значит всё более актуальным и важным является развитие инструментов анализа геоданных на базе указанных российских операционных систем.

Список литературы

1. Vostrikov A. V., Prokofeva E. N., Goncharenko S. N., Gribanov I. V. Analytical modeling for the modern mining industry// Eurasian Mining. 2019. No.2(32). P.30-35. DOI 10.17580/em.2019.02.07
2. Goncharenko S.N., Duong L.B., Petrov M.V., Stoyanova I.A. Modeling of parameters of innovation water-protection measures on the basis of industrial-technological indices of coal mining at Vietnam enterprises (2014) Gornyi Zhurnal, (9) , pp.143-146.
3. Prokofeva E. N., Vostrikov A. V., Shapovalenko G. N., Alvarez A. The development of effective geomonitoring for mining area with industrial review // Eurasian Mining. 2017. No. 2. P. 61-63.
4. Temkin I., Deryabin S., Konov I.: Soft computing models in an intelligent open-pit mines transport control system. Procedia Computer Science, Vol. 120. 2017.
5. Temkin, I.O., Klebanov D.A., Deryabin S.A., Konov, I.S.: Method of determining the state of the haul road career in the management of the interaction between robotic elements of the mining transportation complex. Mining journal, №1, P. 78- 82. 2018.
6. Курячий Г.В., Маслинский К.А. - Операционная система Linux - Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ» - 2016 - 450с. - ISBN: 5-9556-0029-9 - Текст электронный // ЭБС ЛАНЬ - URL: <https://e.lanbook.com/book/100278>

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ РАБОТ

ИНСТРУМЕНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

Домитина В.К.

РАНХиГС, Институт общественных наук г. Москва

Государственная региональная политика (ГРП) является важной составляющей экономического развития не только отдельных регионов, но и всей страны в целом. Общая стратегия социально-экономического развития предполагает использование конкурентных региональных преимуществ. В свою очередь, использование индивидуальных особенностей любого из регионов требует адресной региональной политики, удовлетворяющей социально-экономическим запросам региона и мотивирующей формирование делового климата. Государственные институты акцентируют своё внимание на развитии региональной политики с целью улучшения не только социально-экономической ситуации в отдельных регионах РФ, но и в расчете на синергетический эффект. Возможность оценки действенности инструментов зависит от изначального уровня социально-экономического развития и особенностей региона, от факторов, участвующих в реализации инструментов региональной политики.

В результате антропогенного воздействия актуальные проблемы региона, например связанные с отходами производства и потребления, могут обостряться. Земли, на которых образуются незаконные свалки, не осваиваются, вместо рационального использования земель и других ресурсов, необходимо применять инструменты для ликвидации накопленного вреда, проводить рекультивацию.

Региональная экологическая политика представляет собой совокупность нормативно-правовых актов, мероприятий, принципов управления в сфере охраны окружающей среды, которые направлены на обеспечение экологической безопасности и поступательного социально-экономического развития регионов России. Приоритетные направления региональной экологической политики устанавливаются на уровне субъектов не только в соответствии с федеральной траекторией развития, но и их специализацией, территориальной спецификой и иными особенностями [1].

К основным инструментам, которые используются при реализации экологического курса на уровне регионов, можно отнести: стратегическое планирование развития регионов в сфере экологической безопасности и устойчивого развития; адаптация нормативно-правовых актов федерального уровня под специфические особенности регионов РФ; установление стандартов, регламента в сфере ресурсопользования; формирование экологических

фондов, системы экологического страхования; использование наилучших доступных технологий в различных направлениях экологической политики, в том числе в ресурсодобывающих сферах; проведение экологических экспертиз на территории региона; разработка и проведение мероприятий, направленных на улучшения экологической обстановки региона (восстановление поврежденных территорий, устранение объектов накопленного вреда, превентивные мероприятия и т.д.); проведение научных исследований [1]; субсидирование и кредитование межгосударственных организаций, частного сектора; применение дотационных мер в целях выравнивания бюджетной обеспеченности регионов РФ; реализация программ государственно- частного партнерства (ГЧП); создание экономических стимулов для создания «зеленого» бизнеса; поддержка инициатив некоммерческого сектора при помощи грантовой системы; экологическое просвещение; территории опережающего развития (ТОР), зоны территориального развития (ЗТР); расширение границ участия общественности в принятии экологических решений.

В современной России стремительно растет интерес к рассмотрению экологической политики и интеграции в нее граждан на региональном уровне. В рамках экологической политики, проводимой регионами, используется такой инструмент, как краудсорсинг. Он позволяет вовлекать гражданское общество в решение актуальных проблем, что делает экологический курс государственных органов ориентированным на общественные интересы [2].

Примером эффективного использования данного инструмента может послужить проект «Чистый Ямал». В рамках года экологии Ямало-Ненецкого Автономного Округа (2022) был организован сбор общественных инициатив, направленных на улучшение экологической обстановки в субъекте РФ. В период работы проекта (2,5 недели) было собрано 689 инициатив (по уборке территорий, по сбору неперерабатываемых отходов, по организации образовательных мероприятий и т.д.). Предложить инициативу для рассмотрения можно было на портале «Живем на Севере», а также в «Зеленых офисах» (преимущественно муниципалитетах), то есть формат проекта был как онлайн, так и офлайн. Итоги проекта были подведены 31 марта 2022 года, когда 40 тысяч людей путем голосования выбрали 150 наилучших общественных инициатив, часть из которых будет реализована в текущем году [7].

Большой объем собранных инициатив объясняется актуальностью экологических проблем в данном субъекте. Во-первых, согласно ежегодному отчету об экологической обстановке в ЯНАО за 2020 год, 20% от мировой добычи составляет доля газа, который был добыт в субъекте. Во-вторых, на повестке дня также стоят неразрешенные проблемы, которые возникли в результате политики, проводимой в СССР [4].

«Чистый Ямал» - проект, который можно назвать эффективным, поскольку общественность в значительной степени повлияла на развитие курса экологической политики в регионе, указав на необходимые мероприятия в сфере развития экологической безопасности региона (в том числе и в сфере обращения с ТКО) [7]. Подобный инструмент, используемый региональными

властями, может принести благоприятный результат в случае, если на уровне региона экологическая повестка будет являться одним из приоритетов как властей, так и гражданского общества.

Необходимый инструмент региональной экологической политики - экологическое просвещение. С помощью данного инструмента можно повысить уровень экологической культуры всех слоев населения, тем самым обеспечить активное участие общественности в решении экологических проблем, а также объяснить значимость и необходимость применяемых государственных решений.

Рассмотреть значимость данного инструмента можно на примере проблемы, связанной с системой обращения с твердыми коммунальными отходами. Начальный этап формирования отходов - потребление различных благ человеком. Соответственно, побуждение населения к использованию много-разовых предметов, позволит сократить количество отходов на этапе потребления благ. В результате нагрузка на переполненные полигоны сократится, а качество сырья, отвозимого на сортировочные станции, повысится, что облегчит работу региональных операторов. Распространение практики сортировки ТКО в регионах замедлит формирование несанкционированных свалок, что позволит эффективно использовать и осваивать земли и сократит уровень антропогенного воздействия на почвы.

Согласно данным ППК РЭО 32% опрошенных практикуют раздельный сбор отходов в повседневной жизни [5]. На сегодняшний день, учитывая динамику образования отходов и переполненности большинства полигонов, процент населения, сортирующих мусор слишком низок для решения проблемы с накоплением отходов. Просветительские мероприятия, которые будут нацелены на повышение уровня экологической культуры и осознанности в потреблении у населения, позволят внедрить привычку сортировки отходов на уровне домохозяйств, что сделает проводимую реформу по обращению с ТКО эффективней. Однако одновременно с возрастанием уровня осознанности у населения должна развиваться инфраструктура для сортировки. Поскольку 61% опрошенных указали недостаточно развитую инфраструктуру в своем субъекте как главную причину, по которой они не практикуют раздельный сбор.[5] Для устранения данной проблемы в регионах ППК РЭО активно использует облигационный заем, распределяя деньги в различные субъекты для развития инфраструктуры для новой системы обращения с ТКО [3].

К сожалению, в рамках национального проекта «Экология» использование экологического просвещения как инструмента реализации экологической политики не предусмотрено, что отметила Счетная Палата в своем отчете [6].

Региональная экологическая политика - промежуточный уровень между федеральным и местным уровнем и гражданским обществом. Грамотно составленный и реализованный экологический курс на региональном уровне способствует достижению национальных целей развития. Однако ряд экспертов отмечают, что региональный уровень экологической политики сталкивается с рядом трудностей в силу затрудненного сотрудничества с федеральными

властями и носит декларативный характер. На сегодняшний день региональные программы составляются и реализуются нередко в ущерб экологической обстановке региона, поскольку в приоритете стоит промышленная деятельность, на которой специализируется регион. В рамках региональных программ некоторые инструменты доказали свою эффективность, однако не имеют широкого распространения.

Список литературы

1. Мирзеханова З.Г. Региональная экологическая политика: содержание и индикаторы реализации отдельных направлений // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. - 2014. - № 3 (175). - С. 77-84.

2. Харитоновна О.В., Бугаева Т.Н. Краудсорсинг в государственном и муниципальном управлении: сущность и перспективы использования // Вестник Европейской науки - 2020. - № 2. - С. 1-9.

3. Абрамченко: в реформу обращения с отходами будет привлечено 100 млрд рублей [Электронный ресурс] URL: <https://reo.ru/tpost/zbk3b5hce1-abramchenko-v-reformu-obrascheniya-s-oth> (дата обращения: 3.09.22)

4. Доклад об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе в 2020 году URL: <https://old.yanao.ru/documents/all/114815/> (Дата обращения: 3.09.2022)

5. Около трети россиян стали отдельно собирать мусор. [Электронный ресурс] URL: <https://reo.ru/tpost/5t6jps5lml1-okolo-treti-rossiyan-stali-razdelno-sobi> (Дата обращения 3. 09.2022)

6. Отчет о результатах экспертно аналитического мероприятия «Мониторинг хода реализации мероприятий национального проекта «Экология», в том числе своевременности их финансового обеспечения, достижения целей и задач, контрольных точек, а также качества управления» (с рассмотрением промежуточного отчета на заседании Коллегии Счетной палаты Российской Федерации) (дополнительные объекты экспертно-аналитического мероприятия – органы исполнительной власти 85 субъектов Российской Федерации - определяются в программе его проведения) [Электронный ресурс] URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/697/6974665033576448bae98baa0e9626e4.pdf> (дата обращения: 03.09.22)

7. Чистый Ямал: 150 экологических инициатив победили в проекте [Электронный ресурс] URL: <https://old.yanao.ru/presscenter/news/97729/>

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОШЛАКОВ ОТ СЖИГАНИЯ ТБО

Кайманаков И.С.¹, Курбанов Н.Х.², Будина Т.С.²

¹ ООО «Сайтакс»,

² РГГРУ им. С. Орджоникидзе, г. Москва

Накопление твердых бытовых (коммунальных) отходов приводит к негативным экологическим последствиям для всех регионов России.

Создание полигонов хранения твердых бытовых отходов (ТБО) создает проблему загрязнения окружающей среды, подземных и поверхностных вод токсичными продуктами разложения органических веществ. Ухудшает экологические условия прилегающих территорий, снижает качество жизни людей, вызывает социальную напряженность населения.

Основным направлением всех программ по обращению с отходами в экономически развитых странах мира становится «запрет на захоронение тех отходов, которые можно сжечь, и на сжигание тех отходов, которые можно переработать». К отходам, которые можно сжечь, относится большая часть твердых бытовых отходов (ТБО).

Мусоросжигание - это термическая переработка и утилизация производственных и твердых бытовых отходов, который широко применяется с конца XIX в. В результате данного процесса отходы обезвреживаются, а также могут являться источником тепловой и электрической энергии. Сжигание отходов с одновременным производством электроэнергии и теплоты наиболее экономически эффективно. Повысить рентабельность процесса сжигания ТБО можно на путях комбинирования отходов, подготовки с сортировкой и утилизации тепла сгорания.

Утилизация отходов путем сжигания имеет свои плюсы и минусы. Положительные стороны состоят в том, что: Отходы уничтожаются полностью и под влиянием высоких температур обезвреживаются; Сокращается объем ТБО, необходима утилизация только несгораемого остатка; – Высокая скорость утилизации; – Отсортированное сырье является источником энергии и горит с теплоотдачей = теплоотдачи от горения бурого угля.

Но возникают серьезные проблемы с захоронением золы от мусоросжигания, которая по весу составляет до 30% от исходного веса отходов и которая в силу своих физических и химических свойств не может быть захоронена на обычных свалках.

В настоящее время уровень сжигания бытовых отходов в отдельных странах различен. В Австрии, Италии, Франции, Германии – от 20 до 40%; Бельгии, Швеции – 48-50%; Японии – 70%; Дании, Швейцарии – 80%; Англии и США – 10%. На территории России сегодня действует семь мусоросжигательных заводов. Они расположены в Москве, Владивостоке, Сочи, Пятигорске и Мурманске. Эти заводы перерабатывают около 3% ТБО. Остальная масса ТБО поступает на свалки.

В настоящее время ТБО состоят из разнообразных веществ. В этой смеси содержится большое количество опасных отходов: ртуть из батареек, фосфо-ро-карбонаты из флюорисцентных ламп и токсичные химикаты из бытовых растворителей, красок и предохранителей деревянных покрытий. По усреднённым оценкам бытовой мусор содержит ныне 20-50% макулатуры, до 40% пищевых отходов, по 2-5% чёрных и цветных металлов и пластмасс, 4-6% стекла и текстиля.

Получаемый инертный минерализованный остаток (зола и шлаки) после определенных переделов, с целью достижения приемлемого класса опасности

и заданного качества, может использоваться взамен первичных инертных материалов.

Сегодня именно в отходах оказывается большая часть дефицитных ресурсов Планеты. В связи с истощением природных источников сырья (нефти, каменного угля, руд для цветных и черных металлов) ТБО следует рассматривать как техногенные образования, содержащие ряд ценных практически бесплатных компонентов, пригодных для использования в промышленности. То есть возрастает роль утилизации отходов в свете экономии природных ресурсов. Накопление отходов в форме огромных мусорных свалок грозит экологической катастрофой. Зоны нерегулируемых свалок становятся зонами экологического бедствия. Миграция химических элементов, содержащихся в ТБО, приводит к гибели различных организмов.

ООО «Сайтакс» была разработана комплексная технология 100%-ной утилизации золошлаковых отходов ТБО образующихся после сжигания на мусоросжигательных заводах.

Сутью данного метода является производство порошковых металлов в проходных печах непрерывного действия. Принципиальные отличия данного метода заключаются в неприхотливости технологии к химическому составу сырья, отсутствию необходимости обогащения, протекании всех восстановительных процессов при пониженных температурах (до 1000°C) в токе водорода или монооксида углерода CO.

Технология позволяет получать:

- пеностекло SAITAX (экологичный и качественный теплоизоляционный материал).
- концентраты металлических порошков: Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb и др.
- Оксиды: алюминия Al₂O₃, магния MgO, титана TiO₂;
- Диоксид кремния SiO₂;
- Карбонат лития Li₂CO₃;
- Комплексные хелатные удобрения;

Для проекта предлагается установить 2 печи обжига шихты в восстановительной среде, что позволит одновременно производить нескольких типов продукции.

Также компания развивает технологии производства порошковых металлов, извлечения концентратов редких, и редкоземельных металлов из золошлаков ТБО.

Проекты по переработке золы уноса подразумевают высокое содержание кремния в исходном сырье - поэтому возможно производство широкого перечня востребованной продукции.

Все параметры проектов являются гибко настраиваемыми, и могут быть изменены в зависимости от потребности и финансовой обеспеченности компании и региона в переработке отходов, а также желаемого экономического эффекта, и в зависимости от предоставляемых мер поддержки.

Сайтакс было создано на научной базе зарегистрированной в 2005 г. компании ООО «МК Новые Технологии», которая занималась разработкой технологии производства пеностекла из промышленных и бытовых отходов (стеклобой и зола сжигания углей). В результате был произведен запуск опытно-промышленного производства пеностекла под маркой SAITAX производительностью 7500 м³/год.

Основные направления деятельности компании — исследования в области переработки промышленных отходов и разработка производственных линий 100%-й переработки золошлаков, золы уноса от сжигания твердых бытовых отходов, красных шламов, нефтешлама и тд.

У Сайтакс есть опыт в реализации своих технологий в сотрудничестве с крупными промышленными предприятиями РФ (Газпром, Новатэк, Русал, СУЭК), имеет разработки и подтвержденные результаты переработки золошлаковых отходов, сделанных на международном уровне.

Переработка и вторичное использование отходов в промышленности и строительстве может сэкономить от 30% стоимости продукции, и решать не только экологические, но также социально-экономические проблемы.

Список литературы

1. С.М. Попов «Эколого-экономическая эффективность освоения техногенных месторождений», учебное пособие, Москва, 2010, С.230.

УДК 622.5

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЯ КОМБИНИРОВАННЫМ (ОТКРЫТО-ПОДЗЕМНЫМ) СПОСОБОМ

Клишин В.И., Федорин В.А., Шахматов В.Я.

Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН

Шахты и угольные разрезы, в течении всего срока работы, решают задачу очистки шахтных и карьерных вод. Проблему по очистке воды, с точки зрения экономической эффективности предприятий возможно решить путем объединения открытых и подземных работ. Вода угольного разреза направляется для очистки в подземное выработанное пространство шахты.

В процессе ведения подземных горных работ в толще породного массива образуется выработанное пространство (пустоты), которое заполняется водой различного рода происхождения и качества. По естественным трещинам и трещинам, образованным вследствие сдвижения горных пород, вода дренирует в выработанное пространство и подземные горные выработки. Величина притока воды в шахту зависит от гидрогеологических, климатических, гидрографических условий месторождения, а также от систем вскрытия, способов подготовки и технологии отработки [1].

Шахтные и карьерные воды загрязнены взвешенными веществами и разного рода продуктами. Содержание взвешенных веществ в шахтных водах изменяется в широких пределах и зависит от горно-геологических и технических условий, в которых работают разрезы, шахты.

В идеальном случае очистка шахтных и карьерных вод возлагается на очистные сооружения предприятий, но следует отметить, что это сложный и дорогостоящий объект, позволяющий решать задачи и выполнять специфические функции по очистке воды.

Одной из задач по очистке шахтной и карьерной воды в подземных условиях является осветление, которое осуществляют путем отстаивания или фильтрования. *Отстаивание* является естественным процессом, при котором взвешенные в воде грубодисперсные частицы с плотностью, превышающей плотность воды, осаждаются под действием силы тяжести. Осветление воды путем *фильтрования* заключается в пропускании ее через обрушенное горное пространство, которое выполняет роль природного фильтра и задерживает грубодисперсные примеси.

Для полного осветления воды, содержащей коллоидные частицы, необходимо укрупнение их путем коагулирования.

Особенностью очистки шахтных и карьерных вод является то, что в процессе их сбора в шахтах может осуществляться полное или частичное осветление в зависимости от конкретных горно-геологических условий.

В настоящее время реконструкция, проектирование и строительство современных шахт и угольных разрезов ведется по технологическим схемам, обеспечивающих очистку шахтной воды. Примером являются модульные шахтоучастки на разрезе «Сибиргинский» [2] и «Моховский» [3], а также шахтоучасток «Котинский» (сейчас шахта им. В.Д. Ялевского). Более того, на шахтах им. Ленина и им. Кирова (в Кузбассе) в 90-ых годах прошлого века была, хотя и непреднамеренно, была использована эта способность для очистки шахтных вод в подземных условиях.

На рисунке показана принципиальная технологическая схема очистки загрязненной шахтной и карьерной воды в выработанном пространстве, применяемая на реконструируемых, действующих и проектируемых шахтах и угольных разрезах.

При подземной разработке обводненных угольных пластов нижняя часть фланговых уклонов и промежуточных наклонных выработок располагается на разных геодезических отметках (горизонтах), обеспечивая таким образом магистральным и выемочным штрекам наклон в сторону заднего фланга (выработанного пространства) [4].

По длине водоотводящего штрека через каждые 100-500 м устанавливаются барьеры с проемами в верхней части (рисунок).

Загрязненную воду из подготовительных и очистных забоев, а также поступающую воду с открытых горных работ отводят в выработанное пространство отработанных столбов, которое используется в качестве

отстойника. Для повышения качества очистки шахтной воды используют метод регулирования уровнем зеркала воды в выработанном пространстве путем поочередного включения (отключения) насосов, установленных в камере главного водоотлива.

Загрязненную воду поступающую локально в отстойники главного водоотлива направляют в выработанное пространство для дополнительной очистки при помощи шламовых насосов.

Очистка шахтных и карьерных вод в подземных условиях позволяет улучшить качество воды выдаваемой на поверхность [5.6].

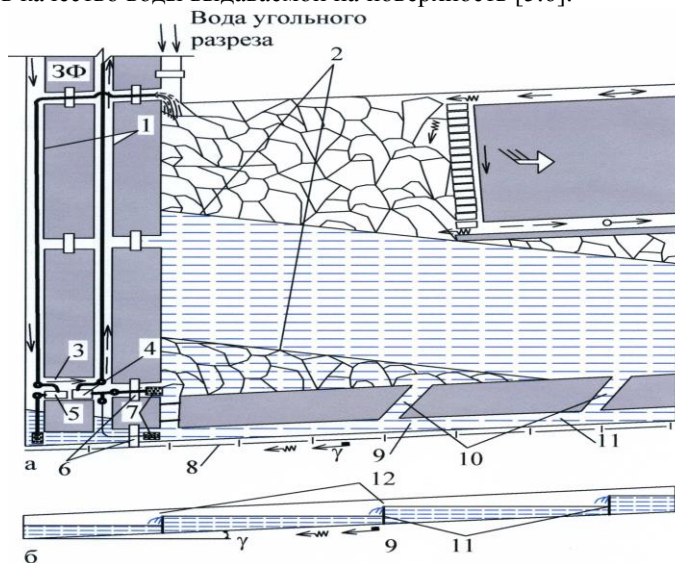


Рис. Технологическая схема очистки загрязненной шахтной воды в выработанном пространстве, где: а - вид в плане; б - разрез вдоль водоотводящего штрека; 1 - уклоны заднего фланга ЗФ; 2 - уровень зеркала воды в выработанном пространстве; 3 - главный водоотлив; 4 - наносы для откачки осветленной (чистой) воды на поверхность; 5 - шламовые насосы; 6 - изолирующие водонепроницаемые перемычки; 7 - хrapки заборных патрубков; 8 - нижняя граница выемочного уклонного поля; 9 - водоотводящий (дренажный) штрек; 10 - сбочные печи или скважины большого диаметра; 11 - перегородки, установленные вдоль водоотводящего штрека с проемами 12 в верхней части

При разработке пологого угольного пласта с выемкой угля в длинном очистном забое обратным ходом и управлением горным давлением обрушением пород кровли в выработанном пространстве, выемочный столб профилируют по простиранию пласта, подготавливая его под небольшим углом к горизонту. За счет чего организуют по его оконтуривающим выработкам самотечный отвод шахтной и карьерной воды в выработанное пространство.

Отработку выемочного столба ведут в направлении его подъема. В конвейерном штреке на фланге выемочного столба и примыкающих выработках ниже очистного забоя сооружают водоупорные перемычки и возводят водосборную камеру, которую оборудуют насосами, трубопроводами, манометрами и запорной арматурой. Выработанное пространство выемочного столба подтапливают, шахтную воду фильтруют обрушенными породами, а предварительно очищенную воду откачивают из водосборной камеры на поверхность (см. рисунок).

Таким образом, использование обрушенных пород выработанного пространства в качестве естественного фильтра позволяет выдавать на поверхность шахты предварительно очищенную воду.

Список литературы

1. Меркулов В.А. Охрана природы на угольных шахтах. М., Недра, 1981, 184 с.
2. Проект строительства участка подземных горных работ. ОАО «Разрез «Сибиргинский». Пояснительная записка. Том 2. Книга 1. Новосибирск. 1999. -219 с.
3. Ялевский В.Д. Баландин Н.Н. Варфоломеев Е.Л. Шаклеин С.В. «Строительства модульного шахтоучастка на пласте Колмогоровском в границах горного отвода разреза «Моховский» Ленинского горнопромышленного района» Проект, Институт Конверскузбассуголь, Кемерово, 2003 г.
4. Патент РФ № 2284414, Способ разработки пологого угольного пласта. Авт. Ялевский В.Д., Федорин В.А., Анферов Б.А., Варфоломеев Е.Л. Опубл. в БИ 2006, № 27.
5. Патент РФ № 2400626. Способ комплексного освоения угольных месторождений. Авт. Потапов В.П., Счастливец Е.Л., Федорин В.А., Анферов Б.А., Кузнецова Л.В., Шахматов В.Я. Опубл. в БИ.2010. Бюл. № 27.
6. Федорин В.А., Шахматов В.Я., Шишков Р.И. Совершенствование открыто-подземного способа разработки угольных месторождений Кузбасса. / Сборник «Проблемы комплексного освоения и сохранения земных недр». Под редакцией академика РАН К.Н. Трубецкого// - М.: ИПКОН РАН. - 2020. – С. 264-268.

РЕАБИЛИТАЦИИ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕТРАДИЦИОННЫХ МЕЛИОРАНТОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ

Лусис А.В.¹, Горбачева Т.Т.², Иванова Л.А.^{1,2}

¹ФГБУН Полярно-альпийский ботанический сад-институт

им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН, г. Кировск,

²ИППЭС КНЦ РАН, г. Анапиты

Значительная потребность страны в минерально-сырьевых ресурсах, необходимость разработки месторождений и переработки полезных ископаемых являются причиной уничтожения почв и растительного покрова на огромных, ежегодно растущих площадях. Северные экосистемы наиболее чувствительны к любым антропогенным воздействиям, особенно к нарушениям,

вызванными деятельностью предприятий горнопромышленного комплекса. В Мурманской области большую угрозу окружающей среде наносят возникающие многочисленные карьеры и отвалы отходов рудообогатения (хвосты, хвостохранилища). Водно-физические свойства таких техногенных грунтов имеют ярко выраженную фильтрующую способность и обуславливают их неустойчивость и подверженность воздействию ветровой и водной эрозии. Занимающие большие площади вблизи населенных пунктов, они приводят к запылению, загрязнению воздуха и источников водоснабжения окружающих территорий.

Естественное восстановление растительного покрова на данных объектах на Кольском Севере из-за жестких эдафических условий становится затяжным, многоступенчатым и не обеспечивающим достижения того биоразнообразия местной флоры, которое характерно для ее природных мест произрастания [1]. Применение разных методов (гидрообеспыливание, физико-химическая стабилизация пылящих поверхностей) не эффективно [2].

В 2018-2021 гг. были проведены исследования по разработке технологии, которая могла бы способствовать решению экологических задач по восстановлению объектов накопленного экологического ущерба. Работа выполнена на двух основных типах техногенных грунтов: нефелиновых песках хвостохранилища АНОФ-2 ОАО «Апатит», песчаном карьерном субстрате с применением 12 видов многолетних травянистых растений. В целом было проведено 6 рекогносцировочных лабораторных и 2 полевых эксперимента.

В большинстве своем техногенные песчаные субстраты характеризуются дефицитом питательных веществ, отсутствием в них органического вещества биогенного происхождения и связанного с ним азота, поэтому приводятся доводы о невозможности развития на них противозерозионных фитоценозов без дополнительных инвестиций дорогостоящих минеральных удобрений [3]. Одной из целесообразных мер стимулирования восстановительных процессов, ускоренного создания и поддержания устойчивости растительного покрова на таких субстратах является применение отходов производства и потребления региональных предприятий ВКХ. Данный метод является разновидностью химической мелиорации, направленной прежде всего на улучшение эдафических свойств техногрунтов, однако широкого распространения в РФ он не получил [4, 5].

В работе применен метод фитотестирования техногрунтов, орошаемых отходами производства регионального предприятия ВКХ АО «Апатитыводоканал» – осветленными коммунальными стоками и осадком сточных вод, на одно- и многовидовом посевном материале, рекомендованном для рекультивации нарушенных территорий в северных регионах страны. ОКС - прозрачная жидкость, отбирались после первичных отстойников - на промежуточной стадии водочистки, осуществляемой на региональных канализационных очистных сооружениях (КОС-3) средней мощности (26 тыс. м³ в сутки), которые расположены в промышленной зоне г. Апатиты в непосредственной

близости к апатит-нефелиновому хвостохранилищу АНОФ-2. ОСВ – увлажненная пластилинообразная масса коричневого цвета с резким специфическим запахом. Основным способом обработки ОСВ на очистных сооружениях является подсушка и выдержка на естественном основании на иловых площадках в течение трех и более лет.

В результате проведенных исследований был показана принципиальная возможность ускоренного формирования искусственного посевного фитоценоза на техногенных грунтах с использованием в качестве нетрадиционных мелиорантов ОКС и ОСВ регионального предприятия без проведения землевания и нанесения защитных полимерных реагентов. Установлено, что по химическим показателям (рН, содержание суммы легкорастворимых солей в прокаленном сухом остатке стоков и величине отношения одно- и двухвалентных катионов) ОКС классифицируются как слабоминерализованные, соответствующие требованиям СанПиН (табл. 1), поэтому под их действием проблема осолонцевания грунта хвостохранилищ не актуальна.

Таблица 1

Оценка ОКС АО «Апатитыводоканал» на соответствие показателям СанПиН 2.1.7.573-96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения кислых и щелочных почв ЗПО»

Показатель	ОКС	Согласно СанПиН
Удобрительная ценность	N <100 мг/л, P <30 мг/л, K <70 мг/л	низкая
рН	7.21-7.85 (n=39)	соответствует для орошения кислых и щелочных почв
Содержание суммы легкорастворимых солей в прокаленном сухом остатке	85-204 мг/л (n=39)	характерна для слабоминерализованных грунтов
Соотношение одно- и двухвалентных катионов Na:(Ca+Mg), мг-экв/л	1.3	существенно ниже утвержденного СанПиН показателя (4) для песчаных некарбонатных почв, осолонцевание не актуально

Стоки положительно влияют на прорастание семян, рост и развитие растений в искусственно создаваемом фитоценозе, что свидетельствует о стимулирующем процесс самозарастания поверхности хвостохранилища АНОФ-2 эффекте ОКС и ОСВ [6]. При формировании на нефелиновых песках сеянного фитоценоза из тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) также подтвержден стимулирующий эффект этих мелиорантов на питательный режим грунтов. После фитоэкстракции (по окончании эксперимента) в них сохраняется высокий остаточный уровень содержания основных питательных элементов (N, P, K), что свидетельствует о пролонгированности действия химической мелиорации для повышения биогенности (НРК-статуса) грунтов [7, 8].

Сравнительный анализ данных по изучению влияния использования ОКС, ОСВ, нефильтованной дождевой воды и их комбинаций на формирование растительного покрова из злаков на отходах рудообогатения также показал, что ОКС и ОСВ пригодны для биологической рекультивации техногенных объектов, способствует интенсивному росту растений и улучшению качества посевных фитоценозов, но зависит от количества и способа применения мелиорантов. Орошение нефелиновых песков ОКС в суммарной норме 380 т/га при соблюдении условий многократного равномерного распределения поливочной воды по площади имеет пролонгированный эффект на питательный режим грунта и достаточно для создания устойчивого растительного покрова на отходах рудообогатения. При этом однократный полив ОКС оказывает стимулирующее действие на рост растений и более выраженное влияние на расширение площади покрытия растительного покрова, по сравнению с фрагментарным нанесением на техногенный грунт ОСВ и контролем (без нанесения мелиорантов). При многократном орошении субстрата ОКС, в отличие от фрагментарного использования ОСВ, формируется противозрозийный растительный покров с двукратным превышением сырой биомассы и статистически значимым ростом растений. Мелиорант ОСВ можно использовать как перед посевом семян нанесением исключительно вроссыпь на поверхность техногенного грунта, так и поверх произведенных посевов слоем от 2 и более см. При нанесении ОСВ на поверхность грунта слоем 2-3 см, высота растений в опытном варианте по сравнению с контролем (без нанесения мелиоранта) увеличилась в 4.5, плотность травостоя - в 1.7, биомасса - в 2.9 раз, а проективное покрытие на 30 % и мощность дернины на 1 см больше. С увеличением слоя мелиоранта до 10 и более см данные показатели еще более возрастают: высота растений в 1.2, плотность травостоя в 2.5, биомасса - в 1.9 раза, мощность дернины на 6 см.

Предлагаемый в работе метод создания посевного фитоценоза на техногеннонарушенных территориях на основе использования нетрадиционных мелиорантов ОКС и ОСВ местного предприятия ВКХ экономически более эффективен по сравнению с традиционным (с землеванием) при использовании ОКС - в 4.4 раза, ОСВ - 5.7 раза, так как он не требует существенных капитальных вложений. Широкая доступность, дешевизна, низкие эксплуатационные расходы и затраты на проведение фитореабилитационных работ с их участием - отличительные достоинства ОКС и ОСВ. Рекомендуемый экологический подход будет способствовать восстановлению экосистемного потенциала техногенных ландшафтов, решению проблемы по созданию в регионе приемлемой санитарно-гигиенической обстановки.

Список литературы

1. Капелькина Л.П. О естественном зарастании и рекультивации нарушенных земель севера // Успехи современного естествознания. - 2012. - № 11-1. - С. 98-102.
2. Горбачева Т.Т., Иванова Л.А., Макаров Д.В., Максимова В.В. Биотестирование полимерных реагентов для пылеподавления поверхности хвостохранилищ нефелиновых песков // Обогащение руд. 2019, №5. С. 52-56. ISSN 0202-3776.

3. Переверзев В.Н., Подлесная Н.И. Биологическая рекультивация промышленных отвалов на Крайнем Севере. - Апатиты, 1986. - 104 с.

4. Пахненко, Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения [Текст]/ Е.П. Пахненко. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 311 с.

5. Стратегия использования осадков сточных вод и компостов на их основе в агрикультуре [Текст]/ Под ред. Н.З. Милащенко. – М.: Агроконсалт, 2002. – 140 с.

6. Лусис А.В., Горбачева Т.Т., Иванова Л.А. Применение осветленных коммунальных стоков (ОКС) и осадка сточных вод (ОСВ) в качестве мелиорантов для рекультивации отвалов отходов рудообогачения (хвостов). Международная научно, 23 – 26 сентября 2019 г.) / под ред. Л. И. Лукиной, Н. В. Ляминой. – Севастополь: СевГУ, 2019. – С. 940–944.

7. Т.Т. Горбачева, А.В. Лусис, Л.А. Иванова Химическая мелиорация нефелиновых песков с применением осадка сточных вод регионального предприятия водопроводно-канализационного хозяйства // Вестник МГТУ, 2021, Т. 24, № 1. С. 88–96. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-1-88-96>.

8. Горбачева Т.Т., Иванова Л.А., Румянцева А.В., Максимова В.В. Повышение биогенности техногрунтов при создании растительного покрова как способа консервации хвостохранилищ горнопромышленных отходов // Вестник СГУГиТ. Т. 25, 2020. № 4. С. 38–46.

УДК 622.271.45

МЕТОДИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ НАКОПЛЕНИЯ ОТХОДОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ЭКОСИСТЕМАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Прошляков А.Н.

ИПКОН РАН

Постановка проблемы – исследование последствий накопления отходов горного производства в экосистемах окружающей среды.

Основная идея заключается в том, что экологическая оценка изменения биоты при формировании породных отвалов определяется функциональным назначением депонирующих экосистем.

При разработке полезных ископаемых происходит увеличение твердых отходов горного производства различной дисперсности на поверхности Земли. Размещение хранилищ твердых отходов в экосистемах окружающей среды в большинстве своем наносит непоправимый ущерб естественной биоте [1].

Развитие человека и использование природных богатств привело к тому, что на планете произошло постепенное разделение ее поверхности (первичной биоты) на три территориальных комплекса: 1-й - занятый естественной биотой Земли (природно-равновесной); 2-й - занятый искусственно-равновесными экосистемами хозяйственного назначения; 3-й- урбанистическая, инфраструктура искусственной среды обитания человека и промышленного производства.

Последствия накопления отходов в природно-равновесной системе приводит к деградации естественной биоты Земли. При этом происходит изменение условий существования и взаимодействия видов, останавливается естественное развитие системы. Важно сохранить возможность восстановления естественных сукцессионных процессов развития биоты. В искусственно-равновесной системе под воздействием отходов оказывается плодородие почвы, куда человек вкладывал свой труд для своего существования. Нарушение площадей, занятых сельским хозяйством приводит к их уменьшению, а также сокращает производство пищевых ресурсов для существования человека. Необходимо сохранить и повысить хозяйственную ценность искусственных экосистем и прежде всего плодородия почвы как основного средства производства путем процесса рекультивации техногенного ландшафта. В урбанистической экосистеме ущерб природе оказывают городские поселения, а также совместное расположение промышленных предприятий. Прежде всего, это негативно сказывается на здоровье человека. Поэтому, главная задача состоит в ограничении техногенных воздействий, способных видоизменить среду обитания человека в нежелательном для него направлении.

Установлено, что состояние каждой из экосистем меняется во времени в зависимости от способов размещения твердых отходов горного производства, а технологии и последовательность экологической реабилитации нарушаемых земель определяются типом и функциональной структурой первичной экосистемы.

В режиме хранения твердых отходов, предполагается их временное размещение и возврату в хозяйственный оборот, на освободившихся от отвалов территорий. В режиме захоронения, площади под техногенными новообразованиями в хозяйственный оборот не возвращаются.

Для решения экологических задач потребуется разработка индивидуальных методов биоиндикации последствий накопления твердых отходов горного производства в каждом из рассматриваемых выше типе экосистем. Исходя из общих принципов построения системы биоиндикации, предложенной Ю.Одумом, общими требованиями к применяемому биоиндикатору являются: быстрая реакция, надёжность, простота и мониторинговые возможности в виде постоянного присутствия в исследуемой системе [2,3,4].

В этом случае могло бы стать создание и применение универсального критерия оценки экологических последствий отходов горного производства. Методика же определения величины такого критерия должна быть построена исключительно на основе учёта изменений состояния, нарушаемого техногенным воздействием природного объекта – экосистемы.

Универсальный критерий—это интегральный показатель экологической оценки последствий техногенного воздействия любой промышленной деятельности на природно-территориальный комплекс, определяемый как площадь техногенного поражения биоты нарушаемых экосистем.

Для природно-равновесных систем универсальным критерием, учитывая типовую для горнодобывающего предприятия структуру техногенных воздействий, при их переносе и депонировании в различных экосистемах, является величина площади полного поражения биоты ($K_{кп}$). При существующих технологиях возведения техногенных новообразований величина этого критерия увеличивается с учетом площади вторичного экологического воздействия путем умножения, на соответствующий повышающий коэффициент $k_{вт}$ [5]. Тогда универсальный критерий ($K_{кп}$) определяется из выражения:

$$K_{кп} = \frac{Q_{год} \cdot \Delta V_{п} \cdot T_{от}}{\Delta W_{от}} \cdot k_{вт}$$

где: $Q_{год}$ - годовая производительность добывающего предприятия (т/год); $\Delta V_{п}$ - удельное количество извлекаемых пустых пород на единицу добычи (m^3/t); $\Delta W_{от}$ - удельная емкость отвала принятой конструкции (m^3/m^2); $T_{от}$ - время отработки месторождения (год).

Величина универсального критерия для оценки экологического нарушения экосистем сельскохозяйственного назначения ($\Pi_{эс}$) отражает размер площади сельскохозяйственных угодий, на которой, в результате техногенного воздействия горного предприятия, потеряно плодородие почв.

Этот показатель включает в себя площадь полного изъятия земель из хозяйственного оборота под объекты поверхностной инфраструктуры добывающего предприятия ($\Pi_{пп}$) и площадь сельскохозяйственных угодий ($\Pi_{сп}$), на которой плодородие почв уменьшилось в результате действия техногенных факторов горного производства:

$$\Pi_{эс} = \Pi_{пп} + \left(1 - \frac{B_i}{B_0}\right) \cdot \Pi_{сп} = \sum_{i=1}^n \Pi_i - \frac{V_{ц}}{V_{от}} \cdot \Pi_{от} + \left(1 - \frac{B_i}{B_0}\right) \cdot \Pi_{сп}$$

где: $V_{ц}$ и $V_{от}$ - соответственно, объём использованных отходов и общий их объём (m^3); $\Pi_{от}$ - площадь поверхности, занятая хранилищами твёрдых отходов (m^2); B_i и B_0 - соответственно величина оценочного балла плодородия почвы на техногенно поражённой и эталонной площадях.

Значительная и постоянно возрастающая доля поверхности суши занята сегодня антропогенными экосистемами проживания человека, в которых занимаемая территория целиком используется для бытовых и рекреационных целей. В таких экосистемах основным объектом экологической защиты становится исключительно здоровье человека. Величина универсального критерия для оценки техногенного воздействия на этот тип экосистем ($\Pi_{эч}$) определяется, как суммарная площадь территорий (Π_i), на которых превышена нормативная величина хотя бы одного из N техногенных факторов:

$$\Pi_{эч} = \sum_{i=1}^n \Pi_i$$

Предложен универсальный критерий экологической оценки последствий накопления твердых отходов в природно-территориальных комплексах,

определяемый как площадь техногенного поражения биоты нарушаемых экосистем. Методика определения универсального критерия определяется функциональным назначением нарушаемых экосистем.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Геоэкология освоения недр Земли и экогеотехнологии разработки месторождений. М.: ООО «Научтехлитиздат», 2015. 359 с.
2. Одум Ю. Основы экологии. // М.: Мир, 1975, 367 с.
3. Шуберт Р. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем. // М.: Мир, 2010, 320 с.
4. Pochville A. 2015. The Ecological Niche: History and Recent Controversies // Heams T, Huneman P., Lecointre G., Silberstein M. (Eds), Handbook of Evolutionary Thinking in the Sciences. Springer, Dordrecht, 2015, P. 547-586.
5. Прошляков А.Н. Методика количественной оценки размеров зоны техногенного поражения биоты при формировании хранилищ крупнодисперсных твердых отходов горного производства // Экологические системы и приборы, № 4, 2020 г., С. 25-29.

ДИАГНОСТИКА СКОПЛЕНИЙ МЕТАНА ПО МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

**Анциферов А.В., Туманов В.В., Иванов Л.А., Савченко А.В.,
Анциферов В.А., Ялпуга Е.А., Донченко Э.В., Салий С.Г.,
Ершова Г.А.**

РАНИМИ, г. Донецк, ДНР

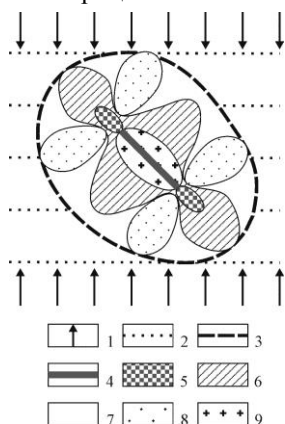
На угольных месторождениях подток высоконапорного глубинного газа (из нижележащих угленосных отложений или мантийных пород) способствует образованию аномальных скоплений метана (АСМ), которые, характеризуются высоким пластовым давлением и обнаруживаются по выбросам газа в скважину и последующей длительной дегазации. Сравнительно небольшие размеры АСМ не позволяют, зачастую, их выявить и охарактеризовать традиционными геологическими (бурение скважин) и геофизическими (сейсмо- и электроразведка и др.) методами. Поэтому, обоснование использования геологических основ и новых геофизических технологий (микросейсмических исследований [1]) при выборе мест, благоприятных для образования АСМ до начала ведения добычи угля, является актуальным направлением геолого-геофизических исследований на угольных месторождениях.

Прямым и главным признаком АСМ является аномально высокое пластовое давление, указывающее на то, что вековая дегазация АСМ компенсирована подтоком высоконапорного глубинного газа. На угольных месторождениях данные скопления обнаруживаются по выбросам газа в скважину и последующей длительной дегазации.

Косвенными признаками АСМ являются структурно-геодинамические особенности угленосных массивов в виде благоприятных условий для верти-

кального подтока и скопления глубинного метана. В структурном отношении данные условия представляют собой цепочку разрывов, состоящую из глубинного разлома, оперяющих разломов, зон приразломной трещиноватости. В геодинамическом отношении эти условия оцениваются по положению данной цепочки относительно главных осей нормальных напряжений, указывающих на раскрытие трещин и разломов.

Важным фактором искажения поля напряжений является ранее образовавшийся или древний разрыв. Путем физического моделирования выявлены закономерности искажения поля максимальных касательных напряжений (τ_{\max}), то есть поля, определяющего образование трещин скола. Исследовано влияние формы (плоская, изогнутая, зигзагообразная) и ориентация разрыва (косая под 45° , ортогональная) относительно оси максимального и минимального нормального напряжения [2]. Установлено, что лишь при плоской форме и ортогональном положении разрыва поле напряжений не искажается. Косое положение плоского разрыва обуславливает образование положительных и отрицательных аномалий параметра τ_{\max} (рис. 1).



1, 2 – направление нормального напряжения сжатия, соответственно максимального и минимального; 3 – условная граница зоны искажения поля напряжений; 4 – трещина (прорезь в модели); участки изменения параметра τ_{\max} : 5 – наибольшего повышения, 6 – слабого повышения (до 15%), 7 – отсутствия изменения, 8 – слабого уменьшения (до 20%), 9 – наибольшего уменьшения (от 20 до 40%).

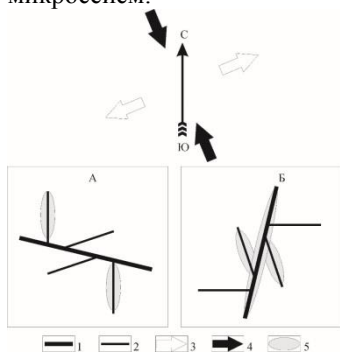
Рис. 1. Модель поля максимальных касательных напряжений (τ_{\max}) в среде с косым положением одиночной плоской трещины (по [2])

При сложной форме разрыва, состоящего из разных по величине и направлению отрезков с различной кривизной, распределение напряжений около каждого участка разрыва зависит от формы и направления в поле напряжений не только этого участка, но и соседних с ним частей разрыва.

Учитывая структурные особенности и современную тектоническую активность Донецкого бассейна, изучение аномальных скоплений метана с использованием микросейсм вблизи граничных разломов шахтных полей Донецко-Макеевского района может быть сведено к исследованию двух типов структур: первого – Мушкетовского надвига; второго – Григорьевского и параллельных ему соседних надвигов [3, 4]. Для первого типа трещины, простирающиеся субпараллельно сместителю, становятся закрытыми, а субортогональные сместителю – открытыми. Второй тип, наоборот, непосредственно не связан с глубинным разломом, имеет иной тип ориентировки (субмеридиональный) и

соответственно открытыми окажутся трещины субпараллельные сместителю, закрытыми – трещины субортогональные сместителю (рис. 2).

Выявление АСМ, трассирование разломов, выделение и типизация систем трещиноватости обеспечивают геофизические технологии, разработанные на основе использования микросейсм. В трехмерном пространстве трещинные системы локализируются по роям микросейсм и затем типизируются на основе использования сбросового, взбросового и сдвигового механизмов образования микросейсм. Пространственное распределение систем открытой и закрытой трещиноватости позволяет выделить резервуары возможного скопления газа. Характер заполнения резервуаров газом или водой оценивается также геофизическими методами на основании использования микросейсм.



1 – основной разлом; 2 – апофиз; 3 – горизонтальная ось максимальных нормальных напряжений; 4 – горизонтальная ось минимальных нормальных напряжений; 5 – участки открытой трещиноватости

Рис. 2. Принципиальная схема проницаемости субширотных (А) и субмеридиональных (Б) разломов на неотектоническом этапе

Выводы.

1. Предпосылкой использования микросейсм для выявления АСМ являются их косвенные структурно-геодинамические признаки: а) структурная цепочка, соединяющая глубинные и оперяющие разломы и зону трещиноватости; б) субпараллельное простираение трещин и оси главного максимального нормального напряжения в современном поле напряжений.

2. Место образования АСМ генетически определяется зоной динамического влияния разлома.

3. В Донбассе экспериментальные исследования микросейсм для выявления с АСМ можно провести на субширотном Мушкетовском надвиге, в котором открытая трещиноватость субортогональна сместителю и на субмеридиональном Григорьевском надвиге, в котором открытая трещиноватость субпараллельна сместителю.

Список литературы

1. Кузнецов О.Л. Сейсмические исследования неравномерности открытой трещиноватости и неоднородности флюидонасыщения геологической среды для оптимального освоения месторождений нефти и газа / О.Л. Кузнецов, И.А. Чиркин, С.И. Арутюнов, Е.Г. Ризанов, В.П. Дыбленко, В.В. Дрягин // Георесурсы. - 2018. - Т. 20. - № 3. - С. 206-215.

2. Гзовский М.В. Основы тектонофизики / М.В. Гзовский // Москва. – Наука. – 1975. – 536 с.

3. Корчемагин В.А. Геологическая структура и поля напряжений в связи с эволюцией эндогенных режимов Донбасса / В.А. Корчемагин // дисс. д-р геол.-минерал. наук. – Москва, 1984. – 380 с.

4. Привалов В.А. Закономерности распределения и эволюции тектонической нарушенности в Донецко-Макеевском районе Донбасса / В.А. Привалов // Геол. и разведка. - 1990. № 3. - С. 46-55.

УДК 504.05; 622.235

К ВОПРОСУ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДСТВА БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Стефунько М.С., Докутович М.И.

ИПКОН РАН

В практике природоохранной деятельности на карьерах наряду с разработкой и внедрением эффективных мероприятий по защите окружающей среды всё возрастающее значение приобретает экологизация технологических процессов добычи полезных ископаемых [1], которая выражается в применении экологического подхода при исследовании геосистем в условиях экологического кризиса [2]. Современная оценка эффективности недропользования является основой создания и обоснования комплексных горнотехнических систем [3]. Для использования в хозяйственных целях объемы ежегодной добычи вещества литосферы измеряются сотнями миллиардов тонн, большая часть которых добывается с применением энергии взрыва [4]. Одновременно с этим, последние пару десятилетий, то есть с начала XXI века всё больше государств особо акцентируют, что главный путь инженерно-экологического развития общества – это создание малоотходных и безотходных технологий, предполагающих не только максимально полезное использование потребляемых сырьевых ресурсов, но и полную переработку образующихся отходов [5].

Обеспечение геоэкологической безопасности при освоении недр связано с фундаментальной научной проблемой геомеханики, включающей в себя с одной стороны раскрытие закономерностей изменения свойств природных объектов литосферы при техногенном вторжении в них для получения минерального сырья, а с другой – определение условий постоянного воспроизводства [6]. Большое количество существующих современных промышленных взрывчатых веществ по своим энергетическим характеристикам пригодны для решения геотехнологических задач, но при этом коэффициент полезного использования энергии зарядов остается достаточно малым [4]. В конце XX и в начале XXI веков достигнут значительный прогресс в области повышения эффективности взрывных работ за счет создания и применения новых типов взрывчатых веществ, а также средств заряжания, средств взрывания – средств

иницирования. Большой шаг в своем развитии сделали в эти годы буровая техника и буровой инструмент. Но все эти достижения обусловлены все более усложняющимися требованиями горных технологий и стремительно растущим экологическим ограничениям [4].

Все эти обстоятельства также приводят к существенному ухудшению прогнозирования результатов взрывных работ и расчёта параметров последующих производственных процессов: вторичного дробления, экскавации, транспортировки, т.е. имеет место существенное отставание прикладной теории разрушения горных пород взрывом зарядов промышленных взрывчатых веществ от современного уровня и возможностей компьютерной техники, широко внедряемой в горную промышленность [7].

Основными решаемыми на карьерах экологическими задачами сегодня являются: сокращение количества сточных вод (перевод на замкнутые бессточные технологии), оснащение пылегазоулавливающим оборудованием и прочее, что по сути является устранением лишь последствий ведения горных работ. Таким образом, возникает необходимость в геоэкологической оценке возможности производства буровзрывных работ с целью оптимизации и совершенствования природоохранной деятельности. Главный вопрос, который мы хотели бы сформулировать и постараться разобраться в нём: возможно ли, при применении совокупности технических средств и технологических приемов повысить степень сохранения природной среды? Способствует ли изменение параметров взрывных работ и/или характеристик взрывчатых материалов улучшению геоэкологической обстановки?

Основные параметры, влияющие на природную среду при производстве буровых и взрывных работ и основных геоэкологических показателей представлены на рисунках 1, 2.

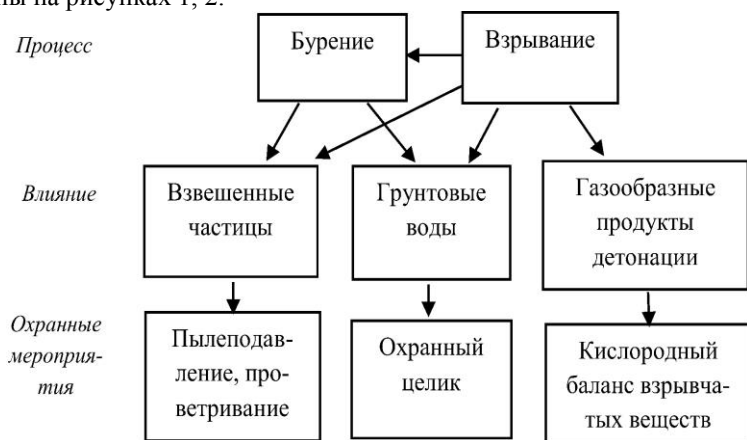


Рис. 1. Блок-схема влияния буровзрывных работ на экологию

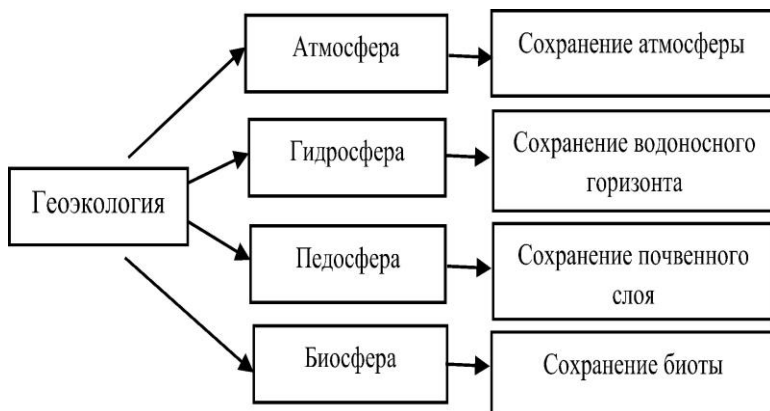


Рис. 2. Блок-схема показателей геоэкологии

Приведенная оценка и блок-схемы наглядно демонстрируют, что в данных современных условиях производства горных работ одним из качественных и наиболее удачных способов реализации задачи по геоэкологической оценке добычи горных пород взрывным способом было бы производство буровзрывных работ и разработка новых взрывчатых веществ с привлечением специалистов разных специальностей. И доказало необходимость в подготовке квалифицированных специалистов, с одной стороны способных к реализации нестандартных задач в области геоэкологии, а с другой - особому подходу к проектированию буровзрывных работ и изыскательской работе, а также к повышению требований организации таких работ.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Потапов М.Г., Виноцкий К.Е., Мельников Н.Н. и др. Справочник. Открытые горные работы. – М.: Горное бюро, 1995. – 590 с.
2. Соколов Э.М., Захаров Е.И., Волков А.В., Панферова И.В., Сычев А.И. Науки о Земле: Учебник для вузов. – М.-Тула: Гриф и К, 2001. – 514 с.
3. 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.
4. Викторов С.Д., Галченко Ю.П., Закалинский В.М., Рубцов С.К. Разрушение горных пород сближенными зарядами. – М.: Научтехлитиздат, 2006. – 276 с.
5. Шадрунова И.В., Орехова Н.Н. Извлечение цветных металлов из гидроминеральных ресурсов: теория и практика: монография. – М.: УРАН ИПКОН РАН, 2009. – 183 с.
6. Чаплыгин Н.Н., Галченко Ю.П., Папичев В.И., Жулковский Д.В., Сабянин Г.В., Прошляков А.Н. Экологические проблемы геотехнологий: новые идеи, методы и решения. – М.: ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2009. – 320 с.
7. Сенченко Д.С., Докутович М.И. Геоэкологические аспекты взрывных работ на месторождениях известняка // ГИАБ, № 8. – М.: Горная книга, 2014. – с. 215-220.

8. Горное дело: Терминологический словарь. / Под научной редакцией акад. РАН К.Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство «Горная книга», 2016. – 635 с.

УДК 504.062

ПРИНЦИПЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ESG В ГОРНО-ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Стефунько М.С.

ИПКОН РАН

Концепция устойчивого развития основана на идее сбалансированного развития социума, экономики и экологии. Рассматривая понятие «устойчивое развитие» в призме горно-перерабатывающей отрасли, мы подразумеваем в первую очередь способность функционировать с заданными параметрами, определенными комплексными экологическими разрешениями и применением в определенных условиях в течении требуемого отрезка времени. Применяемые горно-перерабатывающими компаниями наилучшие доступные технологии (НДТ) определяют параметры предельных значений эмиссий в экологических разрешениях с целью эффективного предотвращения и контроля выбросов загрязняющих веществ. Мировой опыт внедрения НДТ всегда подразумевает наличие Реестра эмиссий и переноса загрязняющих веществ (PRTR), ключевыми элементами которого, являются общедоступность данных и обязательство предоставления периодической отчетности, включающей в себя: данные мониторинга эмиссий; уровни эмиссий, соответствующие НДТ; уровни эмиссий, соответствующие НДТ; экологические разрешения; информация о технологиях. В России в настоящее время отсутствует единый подобный реестр, осуществляющий контроль за эмиссиями на всех уровнях производства, также отсутствуют единая система сбора информации по эмиссиям парниковых газов и изменению климата, нет систем, отслеживающих углеродный след отдельных компаний и продуктов. Большинство горно-перерабатывающих компаний ведут собственный учет выбросов и сбросов загрязняющих веществ. Некоторые данные мониторинга эмиссий в настоящее время доступны в Интернете и в Государственных докладах о состоянии окружающей среды. Качество данных и доступ к ним улучшатся в результате установки систем автоматического контроля выбросов и сбросов загрязняющих веществ. На всех объектах I категории действуют программы производственного экологического контроля; хотя и не предназначенные для непрерывного контроля эмиссий, но они предоставляют данные об эмиссиях и состоянии окружающей среды в природоохранные органы и органы статистики.

В последнее время тренд на ответственность и экологичность распространился и на сферу инвестиций. На уровне компаний разрабатываются

собственные стратегии «устойчивого развития», в соответствии с которым учитываются не только финансовые показатели, но и экологические, и социальные результаты деятельности компаний. В результате возникло понятие ESG (environmental, social, governance) комбинирующее в себе следующее:

- ответственное отношение к окружающей среде;
- высокая социальная ответственность;
- высокое качество корпоративного управления.

В современном виде ESG-принципы впервые сформулировал К. Аннан, он предложил управленцам крупных мировых компаний включить эти принципы в свои стратегии, в первую очередь для борьбы с изменением климата. Если устойчивое развитие представляет собой философию, то ESG появилась для более конкретного отражения того, насколько эффективно бизнес движется к достижению целей устойчивого развития. Таким образом ESG – это прежде всего набор инструментов для устойчивого развития. В России принципы ESG менее распространены, чем за рубежом, но их уже постепенно внедряют в бизнес. Для оценки используются рейтинги и нефинансовые отчетности, показывающие умение компании распоряжаться активами, ресурсами и инновациями так, чтобы не вредить окружающей среде, поддерживать социальную справедливость и выстраивать безопасное производство. Однако после ухода зарубежных представителей ESG-инфраструктуры возникла потребность в разработке новых механизмов. Многие зарубежные ESG-рейтинги услуги российским компаниям больше не оказывают, также ограничен доступ к западным «чистым» технологиям.

В настоящее время мировая экономика находится на стадии четвертого энергоперехода, происходит целый комплекс технологических прорывов в энергоэффективности, декарбонизации, децентрализации и цифровизации [1]. Энергопереход предусматривает сокращение выбросов CO₂ и повышение доли возобновляемых источников энергии в мировом энергобалансе до 38–40%, что приведет к сокращению российского экспорта энергоресурсов и одновременно с этим вырастет спрос на металлы, в связи с необходимостью строительства и переоснащения новых энергетических комплексов. Уже сейчас изменен перечень основных видов стратегического минерального сырья [2]. Так, например, годовое потребление графита, лития и кобальта к 2050 должно будет увеличиться более чем на 450% от уровня 2018 года [3].

Сегодня в России расширяется перечень направлений государственной поддержки в сфере экологии, в том числе связанные со снижением выбросов парниковых газов и изменением теплового состояния вечной мерзлоты [4]. Введены государственные проекты по расширению минерально-сырьевой базы страны (Стратегическая инициатива Минприроды России «Геология. Возрождение легенды»). Активно проводится политика, направленная на комплексную переработку отходов [5] и максимальное использование вторичных ресурсов. Внесены изменения в законы «О недрах» и «Об отходах

потребления» - теперь горнодобывающие компании могут извлекать полезные компоненты из подземных вод, а отработанные воды закачивать обратно в пласты горных пород. Принятые изменения в закон «О недрах» также позволяет использовать вскрышные и вмещающие породы для рекультивации земель. Введены мониторинги климатических изменений, государственные мониторинги состояния недр.

Таким образом, наряду с новыми политическими вызовами возникает и осуществляется новая повестка: технологическое переоснащение производства, с учетом импортозамещения; пересматриваются цепочки поставок; разрабатываются механизмы частного и государственного партнерства для осуществления экологических проектов [6]; разрабатываются и внедряются электронные платформы учета и прогноза; осуществляются государственные проекты по расширению минерально-сырьевой базы страны; разрабатываются государственные системы мониторинга изменения климата и вечной мерзлоты.

Список литературы

1. «Четвертый энергопереход: риски и вызовы для России» Т.Митрова // Газета «Ведомости» 31.01.2021
2. Распоряжение Правительства РФ от 30.08.2022 № 2473-р «Об утверждении Перечня основных видов стратегического минерального сырья»
3. «Возможности и риски энергетического перехода» Институт развития технологий ТЭК // Нефть Капитал 29.12.2020 // [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.ru/turbo/oilcapital.ru/s/article/general/29122020/vozmozhnosti-i-riski-energeticheskogo-perehoda> (Дата обращения 30.07.2022)
4. Федеральный закон от 02.07.2021 N 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов»
5. Распоряжение Правительства РФ от 14.11.2019 N 2684-р «Об определении федерального оператора по обращению с отходами I и II классов опасности»
6. «Энергетический переход: Россия в глобальной повестке» А.Кулапин // Энергетическая политика №7(161)/2021, С. 10-15.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВОГО ТИПА СЕКЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ

Тарасов В.М.¹, Тарасов Д.В.², Фомин А.И.³

¹ООО «РивальСИТ», ²ООО «ИКЦ «Промышленная безопасность»,

³АО «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.

Заметим, что общий травматизм в угольной отрасли с 1998 по 2019 год снизился в 2,7 раза, а смертельный – более чем в шесть раз. Но риск смертельного травматизма по сравнению с ведущими горнодобывающими странами остается более высоким. В 2021 году на угольных предприятиях Кузбасса, по данным Сибирского управления Ростехнадзора, травмировано 253 чел., из них 64 чел. смертельно. В сравнении с 2020 годом общий травматизм увеличился на 147 случаев, в 2,4 раза, смертельный травматизм увеличился на 53 случая, в 5,8 раза.

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.

С внедрением новых технологий СМК можно **избегать трагедий** повторяющихся с постоянной периодичностью. Например, аварий последних лет с человеческими жертвами в результате внезапного выброса угля и пылегазовой смеси большого объема: 25.07.2017 г., ООО «Блок №3 шахта «Анжерская-Южная», смертельно травмирован 1 чел.; 8.02.2019 г., ООО «Шахта им. С.Д. Тихова», погибли 3 чел.; 14.09.2020г. ООО «ММК-УГОЛЬ» Шахта «Чертинская-Коксовая», погибли 2 чел.; 22.01.2021 г., ООО «Шахта им. С.Д. Тихова», погибли 3 чел.; 14.02.2021 г., 19.06.21, ООО «Угольная компания «Анжерская-Южная» погиб 1 чел. 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. Все опорное опережающее горное давление и влияние горного массива берет на себя забой, рис.1. Отсюда многие отрицательные факторы в лаве, техногенные катастрофы.



Рис. 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 балласта (КТДБ) при добыче твердого полезного ископаемого подземным

способом предлагает колоссальную энергию, заключенную в капсуле термодинамического баланса взять в работу СМК. Фундаментально качественно меняет работу СМК в призабойном пространстве лавы. 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. Обеспечивают взаимодействие СМК «крепь-горный массив». 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) и 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.

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.

Технологии нет аналогов в России и за рубежом. А высокая конкурентоспособность СМК нового типа обладает возможностью выхода на мировой рынок. Новые технологии отвечают требованиям программы Правительства РФ по импортному замещению и модернизации топливно-энергетического комплекса (ТЭК).

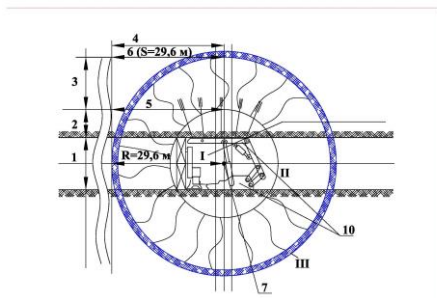


Рис. 2. Действующая работа SMK. Общий вид SMK в монтажной камере и образование КТДБ вокруг монтажной камеры, где I – первая зона КТДБ (монтажная камера и лава); II – вторая зона КТДБ; III – третья зона КТДБ (защитная оболочка подсистемы, кольцо шириной 100-150 мм); 1 – пласт твердого полезного ископаемого (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 – SMK

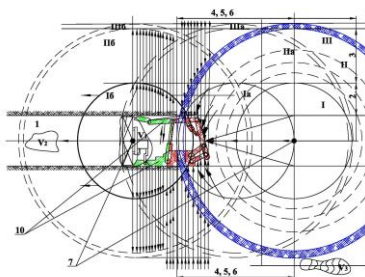


Рис. 3. SMK нового типа: подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в КТДБ, где Ia – смещение первой зоны КТДБ; Ib – вывод первой зоны и извлечение из под влияния КТДБ; IIa и IIб – не произошедшие смещение зон, вторая зона осталась в КТДБ; IIIa и IIIб – третья зона, не произошедшие смещение КТДБ;

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.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПОДЪЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ШАХТЕ

Тарасов В.М.¹, Фомин А.И.², Тарасов Д.В.³

¹ ООО «РивальСИТ», ² АО «НЦ ВостНИИ»

³ ООО «ИКЦ «Промышленная безопасность»

В настоящее время на угледобывающих шахтах для перевозки людей, оборудования, различных грузов в основном применяется монорельсовый дизельный транспорт импортного производства.

Несмотря на то, что монорельсовый транспорт проектируется, серийно выпускается и эксплуатируется на угольных шахтах, до сих пор научно не обоснованы принципы обеспечения безопасности при эксплуатации этого вида подземного транспорта.

Так, во время движения грузоподъемного и перемещающегося устройства (гидроподъемников) по монорельсу с помощью дизель-гидравлического локомотива происходят динамические процессы, связанные с реализацией тягового усилия, появлением упругих сил, трения, инерции, возникновением перемещений элементов подвижного состава, гидроподъемников и подвесного монорельсового пути. От конструкции и соблюдения организации технологического процесса эксплуатации монорельсового пути, гидроподъемников и дизель-гидравлического локомотива во многом зависит безопасность и эффективность работы, в целом технической системы шахтной монорельсовой (балки) дороги [1].

Авторы статьи [2], касающийся темы эксплуатации монорельсового транспорта в шахте, считают, что прямая зависимость износа приводных колес локомотивов идет от ряда факторов: работа в тяговом режиме (скорость, нагрузка), диаметр колеса, внешняя среда, состояние трассы. В опубликованной статье [2] движению транспортных машин или их тяговых органов препятствуют силы сопротивления, являющиеся неуправляемыми внешними силами. Далее в статье приведены расчеты для автомобильной платформы, где груз распределяется равномерно по осям с приводными колесами сверху на платформе. Однако из-за неправильного расположения центра тяжести груза при движении гидроподъемников возникают дополнительные силы сопротивления, вызванные проявлением эффекта «плужения» и «волочения», отсутствует движение качение в роликоопорах монорельсовых кареток.

Руководитель одной из угольных компаний в Кузбассе поднимает вопрос о колоссальных денежных средствах, уходящих на поддержание и обслуживание, ремонт данного подземного вида транспорта (эксплуатационных затрат). Из перечисленных в статье факторов можем согласиться только с одним – внешней средой (влажность, запыленность), а остальное все устранимо при внедрении нового предлагаемого инновационного способа и перемещения груза в горных выработках шахт [2].

В адрес администрации Кемеровской области регулярно поступают письма с жалобами работников шахт на то, что приходится пешком идти по горным выработкам иногда по 10 километров в одну сторону. Подвесной монорельсовый транспорт часто в ремонте, руководство шахт вынуждено не давать его на доставку людей, потому что техническое состояние дизелевозов на подвесных монорельсовых дорогах в шахтах зачастую находятся в неудовлетворительном состоянии [3].

Дизель-гидравлические локомотивы, поступающие на рынок идут с упрочнением конструкции приводного блока (кинематической схемы тягового устройства) [3]. Угольная компания ПАО «Южный Кузбасс» направляет 21 миллион рублей на модернизацию 2,5 км монорельсовой дороги шахты «Сибиргинская», повышая металлоемкость, устраняя изгибы монорельсовой балки [4].

Проведя исследовательскую, аналитическую работу выявлено: кинематическая схема тягового устройства после трехмесячной эксплуатации с применением одноветвевой схемы строповки груза без учета центра тяжести груза выходит из строя. Эта схема действует и по настоящее время. [5]. Причина деформирования рамы заключается в следующем: груз, подвешенный на два гидроподъемника, не учитывает центр тяжести поднимаемого груза и расположение грузоподъемной силы гидроподъемника. Центр тяжести располагается между двумя гидроподъемниками, а массу груза распределяют равномерно на четыре, а иногда и на восемь монорельсовых кареток гидроподъемников. Угол между тяговыми цепями гидроподъемника и траверсами составляет 180 град – развернутый угол (рис. 2) и более. Это категорически запрещено Правилами стропального дела. Критическим считается угол 120 градусов [6, 7, 8]. При организации технологических работ грузоподъемного устройства (гидроподъемников) на подвесном монорельсовом транспорте в шахте Правила стропального дела не учитываются вообще (рис. 2).



Рис. 2. Действующая схема (способ) подвески груза подъемным устройством гидравлическим (гидроподъемниками)

Полученные результаты исследования проведенные совместно с рабочей группой по научно-техническому и организационному сопровождению технологии по подвесному монорельсовому транспорту в шахтах, в которую вошли представители научного сообщества, ведущие ученые Института Угля СО РАН, АО «НЦ ВостНИИ», КузГТУ, КемРИПК филиал ФГАОУ ДПО ПЭИПК, СГУПС, кафедра «Подъемно-транспортные, путевые, строительные и дорожные машины» и др. установили, что выработанные рекомендации и предложения имеют большую практическую значимость, их реализация будет способствовать улучшению управления транспортировкой в целях перемещения и доставки грузов в горных выработках. Разработанная технология, изобретение РФ №2333880 «Способ строповки грузов в горной выработке» для технических устройств подъемных гидравлических опирается на базовые, фундаментальные правила и законы теоретической механики и стропального дела для подъемного сооружения (ПС), является перспективной, позволяет провести модернизацию этого подъемного сооружения (ПС) в шахте, рис.3.

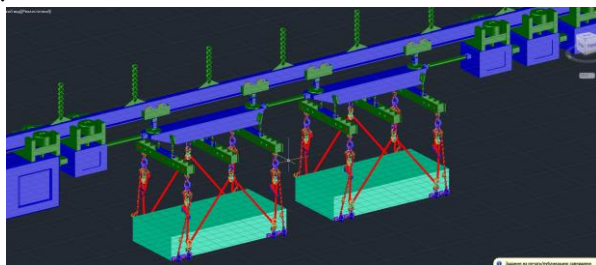


Рис. 3. Новая технология (способ) строповки груза подъемным устройством гидравлическим (гидроподъемниками)

Институт проблем комплексного освоения недр (ИПКОН РАН) ТП ТПИ технологию по патенту на изобретение РФ №2333880 включили в базу перспективных технологий для горнодобывающей промышленности [9].

Необходимо исключить дефекты и недостатки в нормативных правовых актах, которые влекут серьезные негативные последствия в практической работе и использовать техническое оборудование не на 20-30% технического потенциала, а увеличить технические возможности системы технического оборудования на 100% и более.

Список литературы

1. Neuhäuser Bergbau - und Tunneltechnik [Electronic resource]: website. – Lünen, 2017. – Режим доступа: <http://neuhaeuser-gmbh.de>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Ульянов В.В. Взаимосвязь износа приводных колес с конструктивными и технико-технологическими показателями работы шахтных подвесных монорельсовых локомотивов типа DLZ // Уголь. – 2016. – № 9. – С. 36-37.

3. Тарасова Н.И. Итоги работы угольной отрасли Кузбасса за 2017 год. Меры по улучшению промышленной безопасности//Информационный бюллетень «Охрана труда и промышленная безопасность». – 2018 – №2 –2018 – С. 2-15.

4. ПАО «Южный Кузбасс» направит 21 млн руб. на модернизацию монорельсовой дороги шахты «Сибиргинская». Интерфакс-Сибирь. Кемерово, 10.12.2018 [электронный ресурс] <http://www.interfax-russia.ru/Siberia/news.asp?id=989408&sec=1679/> – Режим доступа: (дата обращения: 10.07.2019).

5. Тарасов В.М. Совершенствование технологии работы дизель-гидравлических локомотивов и навесного оборудования в горных выработках при внедрении инновационного способа строповки и перемещения груза //Безопасность труда в промышленности. – 2009. – № 8. – С. 21-26.

6. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах». – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», – 2021. – С.116.

7. Шишков Н.А. Учебное пособие для стропальщиков по безопасному обслуживанию грузоподъемных машин. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2018. –280с.

8. Оберман Я.И. Стропальное дело. М.: Металлургия, – 1985. – 208. С. 192-196.

9. Тарасов В.М., Тарасова А.В., Тарасов Д.В. Пат. 2333880 РФ. МПК В66С 1/12 (2006.01). Способ строповки грузов в горной выработке. Патентообладатель Тарасов В.М. № 2007130250/11; заявл. 07.08.2007; опубл. 20.09.2008, бюллетень № 26. – 10 с.

УДК 622.831.31

ОБОСНОВАНИЕ СОВОКУПНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО ПРОГНОЗА ВЫБРОСООПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Шадрин А.В.

Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН

С 2016 года в России реализуется «Программа по обеспечению дальнейшего улучшения условий труда...» [1]. В рамках этой программы на предприятиях отрасли внедряется инновационная система управления промышленной безопасностью и охраной труда на основе цифровизации обработки информации. Устоявшееся название такой системы в научнотехнической литературе - Многофункциональная система безопасности (МФСБ) угольной шахты.

Дальнейшее развитие этой работы запланировано и Программой развития угольной промышленности России на период до 2035 года [2]. Программой предполагается создать на единой платформе систему управления промышленной безопасностью путем объединения возможностей отдельных подсистем.

Однако в последние годы при обсуждении структуры МФСБ в кулуарах конференций, при заслушивании диссертационных работ на семинарах и

заседаниях диссертационных советов стали звучать соображения о том, что объединять отдельные подсистемы нецелесообразно. Это мнение, по-видимому, обусловлено тем, что в соответствии с принятыми в последнее десятилетие нормативными документами производители оборудования, в частности, для прогноза динамических явлений (ДЯ) могут не доводить до потребителей и широкой научной общественности алгоритмы обработки информации [3]. Угольные пласты и породы относятся к категориям по ДЯ распорядительными документами угледобывающих организаций (п. 25 в [3]). Пороговые значения прогностических параметров методов прогноза ДЯ определяются по методикам, разработанным организацией-разработчиком соответствующего геофизического метода, и утверждаются главным инженером угледобывающего предприятия (пп. 33, 60, 170-173 в [3]). Производители оборудования могут также не давать разрешение на использование своего оборудования для решения смежных задач.

Исключением из этого правила являются случаи, когда одна и та же компания-производитель оборудования сама использует комбинации подсистем для контроля различающихся процессов. Примерами такого поведения служат, в частности, фирма Магсо (использующая одновременно системы регистрации горного давления и сейсмоакустического прогноза опасности проявления динамических явлений) или ООО «ИНГОРТЕХ», производящая системы промышленной автоматизации, безопасности и связи, и др. компании.

Покажем, что для повышения достоверности текущего прогноза газодинамических явлений в угольных шахтах объединение таких подсистем просто необходимо.

Из многочисленных литературных источников известно, что выбросоопасность определяет большое количество свойств газонасыщенного углепородного массива. Оперативно измерять их в шахтных условиях невозможно. Поэтому обосновывают основные факторы выбросоопасности, объединяющие группы однородных свойств. Устоявшееся название этих факторов следующее: горного давления, внутрипластового давления газа и прочности угля. Фактор горного давления обусловлен пространственно-временным распределением компонент гравитационных сил в призабойном пространстве. Газовый фактор обусловлен газоемкостью угля; газоносностью пласта; давлением газа в пласте; градиентом нарастания газоносности от поверхности метановой зоны; выходом летучих; пористостью и трещиноватостью угля; коэффициентом газопроницаемости пласта; направлением кливажа относительно оси выработки. Фактор прочности обусловлен пределами прочности угля на сжатие, растяжение, сдвиг, структурой пласта (наличием чакер разной прочности и мощности и трещиноватостью угля), влажностью угля.

Существующие геомеханические (иное название – инструментальные) и геофизические методы текущего прогноза выбросоопасности контролируют один либо несколько факторов выбросоопасности, каждый из которых может характеризоваться неким интегральным параметром. В частности, газовый

фактор характеризуют следующими параметрами [3]: внутривластовым давлением свободного газа; начальной скоростью газовой выделению при бурении скважины; концентрацией метана у забоя выработки. Фактор горного давления характеризуют [3]: выходом штока при бурении скважины; коэффициентом относительных напряжений, определяемым по спектральному составу «шума» работающего оборудования, параметрами акустической или электромагнитной эмиссии. Прочность угля в шахтных условиях оценивается чаще всего глубиной внедрения стального конуса под действием пружинного механизма. К сожалению, объективного геофизического метода непрерывной количественной оценки прочности угля нет.

Поскольку различные методы прогноза контролируют различное число основных факторов выбросоопасности, достоверность их различная. Оценочные расчеты показывают, что наибольшей достоверностью обладают те методы прогноза, которые контролируют все три основных фактора выбросоопасности [4]. Из геомеханических методов к ним относится «по начальной скорости газовой выделению и входу штока», а из геофизических – спектрально-акустический. В последнем фактор горного давления оценивается методом «по параметрам искусственного акустического сигнала»; газовый фактор – концентрацией метана в атмосфере выработки у забоя в процессе отбойки угля; прочность угля – периодически прочностным номером П-1 [5, 6].

Одной из проблем использования геофизических методов прогноза выбросоопасности является установления критического значения показателя опасности. Для геомеханического метода «по начальной скорости газовой выделению и входу штока» это значение для всех угольных бассейнов России установлено с достаточно высокой достоверностью. Поэтому его можно использовать для определения критического значения показателя опасности для спектрально-акустического метода на основании результатов прогноза, выполненных последовательно обоими методами в одном и том же забое [7].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта № 20-45-420014.

Список литературы

1. Программа по обеспечению дальнейшего улучшения условий труда, повышения безопасности ведения горных работ, снижения аварийности и травматизма в угольной промышленности, поддержания боеготовности военизированных горноспасательных, аварийно-спасательных частей на 2017 - 2019 годы (утв. Минэнерго России, Минтрудом России, МЧС России, Ростехнадзором, НП ОООРУП 20.12.2016) // Документ предоставлен КонсультантПлюс. Дата сохранения: 10.02.2020.
2. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года (Проект) // Документ с сайта www.rosugol.ru. Дата сохранения: 10.02.2020.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных

пород при обработке угольных месторождений». М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2021. Сер. 05. Вып. 49. 128 с.

4. Шадрин А.В. Анализ учета основных факторов выбросоопасности существующими методами текущего прогноза / А.В. Шадрин, А.С. Телегуз, Ю.А. Диок // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2021, №2. – С. 56-72. DOI: 10.25558/VOSTNI.2021.40.57.007.

5. Шадрин А.В. Комплексный геофизический прогноз выбросоопасности угольных пластов // Безопасность труда в промышленности, 2019. №1. С. 42-48. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-1-42-48.

6. Шадрин А.В. Структура подсистемы прогноза выбросоопасности многофункциональной системы безопасности угольной шахты / А.В. Шадрин, А.С. Телегуз // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2020, №2. – С. 21-31. DOI:10.26631/arc2-2020-21-31.

7. Шадрин А.В. Функциональная часть подсистемы прогноза выбросоопасности многофункциональной системы безопасности угольной шахты// Безопасность труда в промышленности. - 2020. - № 6. - С. 72-78. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-6-72-78.

СОДЕРЖАНИЕ

Приветствие Академика РАН К.Н.Трубецкого	3
--	---

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Захаров В.Н., Нефедов С.И., Федоров Е.В.</i> Пути аппаратного и программного совершенствования системы МГСК с применением отечественной элементной базы и методов статистической обработки сигналов	4
<i>Трубецкой К.Н., Милетенко Н.А.</i> Управление гидрогеомеханическими процессами при освоении недр как эффективный инструмент охраны водных ресурсов	6
<i>Каплунов Д.Р., Федотенко В.С.</i> О сути цифровизации горнотехнических систем	9
<i>Битимбаев М.Ж., Юсупов Х.А., Абен Е.Х., Алишева Ж.Н., Джумабаев Е.И.</i> Инновационные технологические схемы комбинированных геотехнологий	12
<i>Одинцев В.Н.</i> Развитие горной геомеханики с использованием методов DATA MINING	16

ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР

<i>Битимбаев М.Ж., Кунаев М.С., Парилов Ю.С.</i> Роль и значение кларков химических элементов в расширенном воспроизводстве запасов минеральных ресурсов	21
<i>Галченко Ю.П.</i> Природно-техническая система освоения месторождения при использовании конвергентной горной технологии	24
<i>Игизбаев Р.К., Игизбаев М.К., Игизбаев К.Б., Магер А.Н.</i> Отработка месторождений глубокими карьерами на основе прогнозирования и превенции геомеханических катастроф, с целью обеспечения полноты выемки полезных ископаемых	27
<i>Кильдибаева С.Р., Суяргулова Э.Э., Кильдибаева Г.Р.</i> Влияние начальных параметров на температуру затопленной струи для первого и второго этапа течения	30
<i>Лаврик А.В., Рассказова А.В.</i> Обоснование эффективной технологии переработки золотосодержащей руды месторождения Делькен по минералого-технологическим характеристикам	32
<i>Матвеева Т.Н., Громова Н.К., Ланцова Л.Б., Гладышева О.И.</i> Перспективность применения реагентов класса дитикарбаматов для извлечения меди из хвостов обогащения медно-оловянных руд	35

<i>Хамзина Т.А., Кузнецова И.Н.</i> К вопросу обогащения углей открытой добычи	40
<i>Шумилова Л.В., Хатькова А.Н., Размахнин К.К.</i> Рациональное природопользование с позиций геоэтики на основе экологизации инженерных решений	42

ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ И РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

<i>Абен А.М., Нурпеисова М.Б.</i> Методика ведения мониторинга с использованием спутниковых систем и обработки его результатов..	46
<i>Аверин А.П.</i> Усовершенствование конструкции ультразвукового зонда для исследования приконтурной зоны горной выработки	49
<i>Аверин А.П., Белоусов Ф.С., Трофимов В.А., Филиппов Ю.А.</i> Закономерность диссипации сейсмической энергии точечного источника в массиве горных пород	51
<i>Адил Н., Рысбеков К.Б.</i> Геодезическое обеспечение строительства зданий	55
<i>Антипенко А.В., Дрибан В.А., Хохлов Б.В.</i> Технология выбора шахтного ствола для откачки воды глубинными погружными насосами	57
<i>Анциферов А.В., Глухов А.А.</i> Программный комплекс обработки результатов сейсмических наблюдений	60
<i>Борисенко Э.В., Гузев О.А., Корвякова Н.П., Подрухин А.А.</i> Эмпирические характеристики длительного водонасыщения образцов горных пород угленосного массива Донбасса	63
<i>Брухавецкая А.О., Добрынин И.А.</i> Состояние и перспективы развития систем анализа грануметрического состава взорванной горной массы в России и за рубежом	68
<i>Ревва В.Н., Васютина В.В.</i> Влияние метанонасыщения горных пород на поведение их в объемном поле сжимающих напряжений...	69
<i>Демин В.Ф., Алиев С.Б., Баймульдин М.М., Танекеева Г.Д., Демина Т.В.</i> Исследование деформационных процессов в эксплуатационных выработках, прилегающих к выемочному стволу	72
<i>Демин В.Ф., Алиев С.Б., Баймульдин М.М., Танекеева Г.Д., Демина Т.В., Никонова Т.Ю.</i> Исследование условий обеспечения безопасности работ в очистных забоях с высокой сменной нагрузки	75
<i>Демин В.Ф., Алиев С.Б., Танекеева Г.Д., Баймульдин М.М., Демина Т.В.</i> Геомеханические исследования угле-породного массива горных пород вокруг выработок	80

<i>Джангулова Г.К., Бекбергенов Д.К., Бектур Б.К., Касымканова Х.М.</i> Геомеханическое обоснование параметров при отработке запасов руд Восточного участка месторождения «Акжал» в соответствии с рекомендуемой системой разработки	83
<i>Добрынин А.А.</i> О возможных перспективах применения жидких взрывчатых веществ в горном деле	87
<i>Есина Е.Н., Доскалов А.И.</i> Анализ наблюдений за деформациями бортов при разработке глубоких горизонтов карьера «Кальмакыр» (Узбекистан).....	91
<i>Ефремовцев Н.Н.</i> Применение прямых эмульсий и комбинированных физико-химических воздействий для повышения энергетической эффективности буровзрывных работ. Синергетические эффекты.....	94
<i>Жариков И.Ф., Докутович М.И.</i> Обоснование параметров буровзрывных работ при циклично-поточной технологии	97
<i>Игизбаев Р.К., Игизбаев М.К., Игизбаев К.Б., Магер А.Н.</i> Районирование карьерных и шахтных полей по категориям буримости и взрываемости, с целью сокращения затрат на БВП в размере 20% и выше	99
<i>Кайратов Д., Нурпеисова М.Б.</i> Современные методы наблюдений за деформациями зданий и сооружений	102
<i>Кирков А.Е., Табагуа М.А.</i> Развитие методов оценки структурных характеристик массивов горных пород в свете обоснования устойчивых параметров откосов карьеров.....	106
<i>Константинов А.В., Лештаев В.С.</i> Подготовка признакового пространства нейросетевой модели для классификации сейсмоакустических событий PROGNOZ-ADS	108
<i>Кочанов А.Н.</i> Некоторые результаты исследований в области взрывного разрушения горных пород	112
<i>Крюков В.Г.</i> Роль геологических и геомеханических факторов при моделировании рудных месторождений Дальнего Востока России... ..	115
<i>Кулибаба С.Б., Есина Е.Н.</i> Определение горизонта полной подработки над очистной выработкой	118
<i>Лапиков И.Н., Трофимов В.А., Филиппов Ю.А.</i> Визуализация напряженно-деформированного состояния массива горных пород с использованием программного комплекса Micromine	121
<i>Ломов М.А., Федотова Ю.В., Константинов А.В.</i> Анализ результатов сейсмического мониторинга Николаевского месторождений за 2021 год.....	124

<i>Медведев Е.А., Негурица Д.Л.</i> Геомеханический мониторинг при строительстве многофункционального центра.....	126
<i>Медведев Е.А., Негурица Д.Л., Терешин И.А.</i> О геомониторинге при строительстве в Москве подземных сооружений.....	129
<i>Меженев М.Е., Зайцев Д.В., Кочанов А.Н., Панфилов П.Е.</i> Общие черты деформационного поведения горных пород и биоминералов.....	131
<i>Рассказов М. И., Сидляр А.В., Крюков В.Г., Терёшкин А.А., Цой Д.И.</i> Геомеханические исследования и оценка структурных особенностей массива горных пород Южно-хинганского месторождения марганцевых руд	134
<i>Романевич К.В.</i> Долгосрочный мониторинг подземных сооружений с применением метода ЕЭМИ (ЕИЭМПЗ).....	138
<i>Сайлыгараева М.А., Солтабаева С.Т., Байгурин Ж.Д.</i> Основные направления по развитию системы мониторинга за состоянием конструктивных особенностей уникальных зданий и сооружений....	141
<i>Стариков Г.П., Борисенко Э.В., Шатохин С.В., Корвякова Н.П.</i> Влияние эффекта Ребиндера на прочностные свойства горных пород.....	143
<i>Терешкин А.А., Аникин П.А., Рассказов М.И., Цой Д.И.</i> Разработка критериев локального геомеханического мониторинга.....	147
<i>Трофимов В.А., Филиппов Ю.А., Загорименный И.М., Блохин Д.И.</i> Оценка несущей способности элементов анкерной крепи с неоднородным распределением прочности закрепления вдоль их длины	150
<i>Федоров Е.В., Вартанов А.З., Милетенко Н.А.</i> Оценка напряженно-деформированного состояния массива по изменению параметров его цифровых изображений	153
<i>Федоров Е.В., Кулибаба С.Б., Милетенко Н.А.</i> Оценка природной и остаточной газоносности угольных пластов на шахте им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс»	158
<i>Франтов А.Е., Мингазов Р.Я., Фадеев В.Ю.</i> Исследование углеводородных материалов, используемых при изготовлении гранулитов ...	161
<i>Ходжанов К., Рысбеков К.Б.</i> Использование лазерно-сканирующей технологии при геодезических работах	163
<i>Цой Д.И., Федотова Ю.В., Терешкин А.А., Рассказов М.И.</i> Геомеханическое состояние рудной зоны «Николаевская» по результатам экспериментальных исследований.....	166

<i>Чурсин И.Н.</i> Наблюдения процесса подработки территории на шахте им. С.М.Кирова с использованием радиолокационных спутниковых снимков Sentinel-1	169
<i>Шилова Т.В., Сердюк И.М.</i> Экспериментальное исследование укрепления рыхлой породы двухкомпонентной полимерной смолой.....	172
<i>Шиповский И.Е.</i> Динамическое моделирование устойчивости техногенного склона	175

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

<i>Ашимова А.А., Рысбеков К.Б., Нурпеисова М.Б.</i> Переработка отходов – одно из ключевых направлений развития «зеленой» экологии Казахстана	181
<i>Бондаренко А.А.</i> Изменение основных параметров и технологических процессов подземного рудника при внедрении самоходного аккумуляторного горнотранспортного оборудования	184
<i>Ветюгов Д.А., Русский А.В., Жигарев В.В.</i> Бетонит – минеральное сырье для производства железорудных окатышей.....	186
<i>Гаджиева Л.А.</i> Оценка свойств вмещающих пород месторождений для формирования на их основе горнотехнических конструкций специального назначения	190
<i>Закорименный И.М., Блохин Д.И.</i> Вовлечение в сферу промышленного производства оставленных запасов угля за счет использования технологии термохимической переработки	193
<i>Зубков П.О.</i> Оценка перспектив подземного выщелачивания калийных солей Ново-Гремячинского месторождения на основе анализа мирового опыта	196
<i>Карпов В.Н., Немова Н.А., Резник А.В.</i> Организация тестирования буровых машин и инструмента в условиях горного производства.....	199
<i>Князькин Е.А., Яковлев И.В.</i> Обоснование корректировки логистической схемы Гремячинского подземного рудника с учетом доставки для закладки сухих солейотходов	203
<i>Комаров Д.П., Милетенко Н.И.</i> Повышение надежности горных машин и оборудования – важная составляющая эффективного освоения недр	206
<i>Кузнецова Л.В., Анферов Б.А.</i> Направления совершенствования комплексного освоения угольных месторождений	208

<i>Молдабаева Г.Ж., Сулейменова Р.Т., Тузелбаева Ш.Р., Каримова А.С., Марданова Л.О.</i> Анализ эффективности и регулирование реализуемой системы разработки месторождения Забурунье	214
<i>Никоненко Т.В., Простакишин М.Ф., Шумилова Л.В.</i> Рациональная переработка золотосодержащих отходов (на примере горных предприятий Забайкалья).....	217
<i>Радченко Д.Н., Залевская К. Н.</i> Выбор технологии открытой разработки освоения неоднородных по составу и структуре золотосодержащих техногенных образований	220
<i>Радченко Д.Н., Татарников В.И.</i> Выбор состава закладочных смесей для формирования консолидированного закладочного массива при подземной отработке Гремячинского месторождения	222
<i>Рыбалкин Л.А., Мезин А.А., Сердюк И.М., Шилова Т.В.</i> Исследование изменений микроструктуры угля и его газопроницаемости после цикличной обработки жидким азотом.	225
<i>Федотенко Н.А., Гавриленко В.В.</i> Эффект перераспределения содержания серы в различных классах крупности горных пород медноколчеданного месторождения Южного Урала	228
<i>Фролова А.Ю., Зотов В.В.</i> К вопросу о повышении ресурса футеровки скипов подъемных установок.....	231
<i>Цупкина М.В.</i> Исследование физико-механических свойств старогодных отходов обогащения медно-колчеданных руд как основа обоснования параметров их разработки	233
<i>Чебан А.Ю.</i> Совершенствование технологии комбинированной выемки руд при разработке сложноструктурных месторождений	236
<i>Юков В.А.</i> Переход к устойчивому развитию горнодобывающего предприятия	239

ГАЗОДИНАМИКА И РУДНИЧНАЯ АЭРОЛОГИЯ

<i>Бобин В.А.</i> Методика реконструкции параметров внезапного выброса угля и газа на шахте «Юный коммунар»	244
<i>Бобин В.А.</i> Сорбционная частица – базовый элемент блоковой структуры угольного вещества	246
<i>Гришин Е.Л.</i> Аэрологическая безопасность при работе машин с ДВС....	249
<i>Гусева И.П.</i> Влияние сорбционно-кинетических параметров угля на структуру газовыделения угольной шахты	251

<i>Денисенко В.П., Абакумова Е.В.</i> Газодинамический способ определения эффективности защитного действия опережающей надработки выбросоопасных пластов	254
<i>Докучаева А.И., Малинникова О.Н., Долгова М.О.</i> Подбор вводных термогравиметрических параметров при оценке склонности углей к самовозгоранию	258
<i>Забурдяев В.С., Харченко А.В.</i> Ресурсы угольного метана	260
<i>Камбурова Л.А., Радченко А.Г., Киселев Н.Н., Радченко А.А.</i> Аналитический способ расчета природной газоносности углей различного марочного состава	263
<i>Кобылкин С.С., Кузнецов И.И., Федоров Д.А., Кобылкин А.С.</i> Оценка влияния местных и лобовых аэродинамических сопротивлений на воздухораспределение в вентиляционной сети	266
<i>Кормициков Д.С., Кузнецов А.И.</i> Результаты испытаний системы навигации комбайна	269
<i>Накаряков Е.В.</i> Анализ закономерностей накопления и выноса выхлопных газов от машин с ДВС в тупиковых камерообразных горных выработках	271
<i>Ощепков Т.С.</i> Расчет воздухораспределения в подземных сооружениях метрополитена для определения параметров систем обеспыливания воздуха	273
<i>Попов М.Д.</i> Расчет устойчивости воздушных потоков в рудничных вентиляционных сетях по факту тепловой депрессии пожара	276
<i>Радченко А.Г., Киселев Н.Н., Донченко Э.В., Радченко Д.Ю.</i> Изменение давления газа в ряду метаморфизма углей и с глубиной в Центральном геолого-промышленном районе Донбасса	279
<i>Радченко А.Г., Киселев Н.Н., Донченко Э.В., Радченко А.А.</i> Изменения напряженно-деформированного и газодинамического состояния угольного пласта при переходе лавой зоны геологического нарушения	281
<i>Ульянова Е.В., Малинникова О.Н., Пашичев Б.Н., Докучаева А.И.</i> Связь неоднородности микроструктуры угольного вещества с опасными проявлениями в шахтопластах	284
<i>Янников А.М.</i> Типы пластовых газов и форма их нахождения во вмещающих породах в пределах зон динамического воздействия ультраосновного магматизма (на примере Далдыно-Алакитского кимберлитового района)	288

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР

<i>Гаврилов В.Л., Фёдоров В.И.</i> Оценка эффективности управления качеством угля на малых разрезах Крайнего Севера	291
<i>Крюков В.Г.</i> Стратегия развития горного комплекса – основа оптимального государственного управления недрами	294
<i>Панфилов Е.И., Сабянина Т.В.</i> Экспертная оценка полноты извлечения калийных солей из недр	297
<i>Прокофьева Л.М., Кузовлева Н.Ф., Сума С.</i> Состояние алюминиевой отрасли России и перспективы ее сырьевого обеспечения	300
<i>Рыжова Л.П., Верчеба А.А., Боровков Ю.А., Кольцова В.М.</i> Подходы системного анализа в антикризисном управлении минерально-сырьевого комплекса	303
<i>Сергеев А.А., Салахов И.Р., Рыжова Л.П.</i> Применение статистических методов для прогноза ценовых показателей компании	306
<i>Федотенко Н.А.</i> Теоретические аспекты управления профессиональным развитием персонала горнодобывающих предприятий	308
<i>Череповицын А.Е., Ларичкин Ф.Д., Федосеев С.В., Фадеев А.М., Гончарова Л.И.</i> Влияние комплексного использования минерального сырья на устойчивость горнопромышленного комплекса	311

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И РОБОТОТЕХНИКА В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ СЕКТОРЕ. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

<i>Аксенов С.А.</i> Компьютерное моделирование в задачах идентификации механических свойств материалов, подвергаемых большим пластическим деформациям	315
<i>Вартанов А.З., Федоров Е.В., Нефедов С.И., Аксенов С.А.</i> Возможности диагностики состояния необсаженных скважин с применением технологий, искусственного интеллекта анализа данных и цифровых двойников	317
<i>Дёмин Д.О., Вартанов А.З.</i> Цифровые системы эндоскопического исследования скважин	319
<i>Евсютин О.О., Джанашиа К.М.</i> Способ аппаратной аутентификации изображений с помощью цифровых водяных знаков	321

<i>Захаров В.Н., Нефедов С.И.</i> Задача оптимального обнаружения сигналов сейсмической и сейсмоакустической активности.....	324
<i>Князькин Е.А.</i> Оценка производительности горнотранспортного комплекса карьера на основе анализа больших данных	326
<i>Мещеряков Я.Е.</i> Анализ эффективности применения цепных кодов для обработки пространственных данных сейсмической активности	328
<i>Мещеряков Я.Е., Нефедов С.И.</i> Оценка эффективности цифровой обработки пространственных данных сейсмической активности процессорной архитектурой RISC-V	330
<i>Мещеряков Я.Е., Нефедов С.И.</i> Сравнительный анализ полупроводниковых акселерометров для применения в телеметрической системе регистрации сейсмической активности	332
<i>Нефедов С.И.</i> Современное состояние отечественной электронной элементной и компонентной базы цифровой обработка информации и перспективы ее развития в условиях санкционного давления	334
<i>Нефедов С.И., Икренников М.С.</i> Статистический анализ сигналов сейсмической активности как объектов обнаружения и идентификации оптимальными алгоритмами	336
<i>Нефедов С.И., Коновальцев А.В., Решетова К.В.</i> Малогабаритная одноплатная универсальная мобильная вычислительная платформа для применения в системах обработки данных реального времени	338
<i>Нишионова Ж.А., Беляев А.М., Ковалёв Д.Б.</i> Подвесные устройства рудничных подъемных установок с ленточными тяговыми органами	339
<i>Плохих В.В., Чецин Д.О., Данилов Б.Б.</i> Исследование процесса изменения энергетических параметров пневмоударных машин с целью реализации адаптивных технологических процессов	342
<i>Побегайло П.А., Ильина А.Н.</i> Исследования элементов рабочего оборудования экскаваторов с гидравлическим приводом.....	346
<i>Прокофьева Е.Н., Некрасов Г.А., Чашкин Л.Б., Кантута З.Д.</i> Исследование применения БПЛА для горнодобывающей отрасли	349
<i>Чашкин Л.Б., Прилепко П.М., Прокофьева Е.Н., Востриков А.В.</i> Построение цифровых моделей объектов горной промышленности на базе open-source инструментов	352

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ РАБОТ

<i>Домитина В.К.</i> Инструменты реализации государственной экологической политики на региональном уровне	356
<i>Кайманаков И.С., Курбанов Н.Х., Будина Т.С.</i> Эколого-экономическая эффективность переработки золошлаков от сжигания ТБО	359
<i>Клишин В.И., Федорин В.А., Шахматов В.Я.</i> Очистка сточных вод при добыче угля комбинированным (открыто-подземным) способом....	362
<i>Лусис А.В., Горбачева Т.Т., Иванова Л.А.</i> Реабилитации техногенно нарушенных ландшафтов с применением нетрадиционных мелиорантов в арктической зоне РФ	365
<i>Прошляков А.Н.</i> Методика экологической оценки последствий накопления отходов горного производства в экосистемах окружающей среды	369
<i>Анциферов А.В., Туманов В.В., Иванов Л.А., Савченко А.В., Анциферов В.А., Ялпуга Е.А., Донченко Э.В., Салий С.Г., Ершова Г.А.</i> Диагностика скоплений метана по микросейсмическим исследованиям.....	372
<i>Стефунько М.С., Докутович М.И.</i> К вопросу геоэкологической оценки производства буровзрывных работ.....	375
<i>Стефунько М.С.</i> Принципы устойчивого развития и трансформация ESG в горно-перерабатывающей отрасли.....	378
<i>Тарасов В.М., Тарасов Д.В., Фомин А.И.</i> Совершенствование освоения месторождений полезных ископаемых с применением нового типа секции механизированной крепи	380
<i>Тарасов В.М., Фомин А.И., Тарасов Д.В.</i> Эксплуатация подземных сооружений в шахте	384
<i>Шадрин А.В.</i> Обоснование совокупности геофизических методов для текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов	387

Подписано в печать с оригинал-макета 18.10.2022 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага «Мега Сору Office». Печать офсетная. Набор компьютерный. Объем
25,25 п.л. Тираж 300 экз. Заказ № 268.

Институт проблем комплексного освоения недр им. академика
Н.В. Мельникова РАН
111020, Москва, Крюковский тупик, 4.
Издание ИПКОН РАН, 111020, Москва, Крюковский тупик, 4

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК