

ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР В XXI ВЕКЕ ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ • 2021

ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР В XXI ВЕКЕ ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ



15 МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

Москва
2021

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

**ПРОБЛЕМЫ
ОСВОЕНИЯ НЕДР В XXI ВЕКЕ
ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ**

***15 МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ***

25-28 октября 2021 г.

**Москва
2021**

Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 15 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 25-28 октября 2021 г. – М: ИПКОН РАН, 2021 – 352 с.

В сборнике опубликованы материалы 15 Международной научной школы молодых ученых и специалистов, посвященные последним достижениям в области теории и технологии комплексного освоения недр Земли. Представлены результаты новых исследований по таким направлениям как геология, техника и технология освоения месторождений твердых полезных ископаемых, геомеханика, разрушение горных пород, обогащение полезных ископаемых. Рассмотрены вопросы, связанные с управлением горного производства, техникой безопасности и охраной окружающей среды, геоэкологией. Освещены экономические аспекты проблемы освоения недр.

Для широкого круга специалистов, работающих в области освоения, добычи и переработки минерального сырья, геоэкологии и экономики.

Редакционный совет: член-корреспондент РАН *В.Н. Захаров* (председатель), академик РАН *К.Н. Трубецкой*, академик РАН *В.А. Чантурия*, член-корреспондент РАН *Д.Р. Каплунов*, *И.И. Айнбиндер*, *С.Д. Виктор*, *Е.В. Красноко*, *С.Б. Кулибаба*, *Т.Н. Матеева*, *О.Н. Малиникова*, *Н.А. Милетенко*, *В.Н. Одищев*, *П.Г. Пацкевич*, *М.В. Рыльникова*, *А.Л. Самусев*, *В.А. Трофимов*, *В.С. Федотенко*, *Т.В. Чекушина*, *И.В. Шадрюнова*.

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ВЗАИМОУВЯЗКА ПРОЦЕССОВ СЕЛЕКТИВНОЙ ВЫЕМКИ ПОРОД ВСКРЫШИ И ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОГРАЖДАЮЩИХ ДАМБ ТЕХНОГЕННОЙ ЕМКОСТИ*

Пыталев И.А., Якшина В.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

На сегодняшний день применение ограждающих дамб в горной промышленности сосредоточено на строительстве хвостохранилище, являющимся отдельным горнотехническим сооружением, функционирование которого обеспечивает работу обогатительной фабрики. Формирование ограждающих дамб горнотехнических сооружений, одновременно является процессом строительной геотехнологии и отвалообразования, поскольку материал, используемый, при создании дамбы представлен попутными породами вскрыши. Возведение ограждающих дамб, требуемой конструкции достигается созданием технологических площадок с разделением на зоны, для складирования скальных и рыхлых пород вскрыши которые разрабатываются селективно. С целью повышения вместимости техногенной емкости, а также снижение материалов для возведения ее ограждающих дамб на технологических площадках предусматривается зона формирования габрионных конструкций. Совмещение процесса отвалообразования и формирования ограждающей дамбы обеспечивает повышение эффективности ведения открытых горных работ и снижение землеемкости горнодобывающих предприятий в едином комплексе добычи и переработки твердых полезных ископаемых.

Селективная выемка пород вскрыши и достижение требуемых характеристик габрионной стены для формирования ограждающей дамбы

Процесс селективной выемки может быть как простой, так и сложный в зависимости от геологического строения месторождения. Простая выемка осуществляется путем формирования нормальных заходок и выборочным способом [1]. Сложная селективная выемка заключается в применении одного из приемов таких как:

*Статья выполнена при поддержке гранта Президента МД-3602.2021.1.5

- раздельная погрузка, однако, данный способ применяется при четко выраженной границе полезного ископаемого и пород вскрыши;
- сортировка руд по фракциям;
- комбинированная погрузка.

Определение и выбор способа селективной выемки необходимо предусмотреть на стадии проектирования разработки месторождения полезных ископаемых.

Расчет парка горнотранспортного оборудования при селективной выемке значительно отличается от валовой, что обусловлено применением техники различного типоразмера. При этом неизбежно увеличение эксплуатационных затрат величина которых составляет от 15%.

При формировании ограждающей дамбы селективная выемка предусматривается для разделения пород вскрыши на рыхлые и скальные. Рыхлые породы при отсыпке дамбы используются в качестве материала для исключения миграции загрязняющих веществ в гидросферу и литосферу. Данные породы предлагается складировать на технологических площадках в штабелях вблизи участка по отсыпке дамбы. Технологическая площадка достаточна для размещения дамбы, формирование которой позволит непрерывно обеспечить строительство техногенной емкости и ее требуемых характеристик. Скальные породы используются в качестве материала для отсыпки основного тела дамбы и для создания габионной подпорной стены. Складирована скальная вскрыша аналогично рыхлой. Схема размещения штабелей на технологической площадке, представлена на рис. 1.

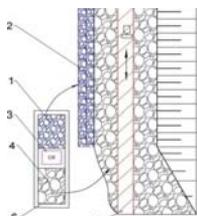


Рис. 1. Схема технологической площадки

- 1 – скальная порода для наполнения габионных каркасов; 2 – габионная подпорная стена; 3 – сортировочный комплекс; 4 – скальная порода; 5 – рыхлая порода; 6 – штабель

Технологические площадки формируются вдоль отсыпаемой ограждающей дамбы и перемещаются по мере необходимости исходя из эксплуатационных затрат на транспортировку.

Технология формирования ограждающей дамбы с глиняным ядром

Согласно предлагаемой технологии формирования ограждающей дамбы на первоначальном этапе предусматривается перемещение пород вскрыши на технологическую площадку расположенную со стороны возводимого низового откоса. По мере развития горных работ и углубления рабочих горизонтов осуществляется подвигание фронта работ по возведению дамбы от периферии к центру (от низового к верховому откосу). Скальная порода вскрыши транспортируется непосредственно с забоя в штабель, расположенный на участке строительства дамбы. Наравнение ограждающей дамбы возможно двумя способами: периферийным и площадным. Строительство дамбы условно можно разделить на два периода. В первом периоде формирование осуществляется периферийным способом, что обеспечивает снижение расходов на бульдозерные работы по перемещению вскрышных пород на 15%. Второй период наступает в случае отсутствия соблюдения допустимого расстояния между верхней бровкой карьера и нижней бровкой верхового откоса ограждающей дамбы, для обеспечения размещения и безопасной работы транспортного оборудования. Работы по возведению дамбы в данный период осуществляются площадным способом. Ограждающая дамба формируется слоями. Толщина слоя зависит от типоразмера бульдозера применяемого для планировки скальной породы и составляет ≤ 1 м.

Создание противофильтрационной системы инженерной защиты достигается возведением глиняного ядра слоями, толщина которых составляет не более 0,5 м сформированного из рыхлых пород. Соблюдение данных параметров необходимо для компенсации естественной осадки ограждающей дамбы. Кроме того с целью повышения противофильтрационных характеристик создаваемого глиняного ядра целесообразно производить уплотнение каждого слоя укладываемых рыхлых пород с использованием дорожных вибрационных катков [2]. Высота укладываемого слоя не превышает 0,5 м.

Угол низового откоса предусматривается вылаживать в соответствии с категорией земель данного участка недр и видом разрешенного использования, для дальнейшей их рекультивации и возврату собственнику.

Предусматривается вариант, когда верховой угол ограждающей дамбы формируется с применением габионных подпорных стенок, это позволяет увеличить его угол и как следствие сократить площади земель для формирования дамбы [3].

Формирование габионной подпорной стены

Область применения габионных подпорных стенок для создания горнотехнических и гидротехнических сооружений горной промышленности, согласно [3] зависит от физико-механических свойств и параметром применяемых габионных конструкций, для обеспечения требуемого диапазона значений результирующего угла и обеспечения сохранения устойчивости дамбы [4].

Процесс создания габионных конструкций заключается в сборке габионов на участке монтажа в пределах технологической площадки. Нижний слой габионов закрепляется в массиве забитыми по углам стержнями и связываются между собой [5], с целью обеспечения устойчивости собранной конструкции. Затем механизированным способом происходит процесс заполнения габионных каркасов. Заполняются каркасы скальной породой заранее размещенной в штабелях. Для получения необходимого размера куска до 250мм с целью обеспечения плотной укладки породы и минимального количества пустот, на технологической площадке предусматривается сортировочный комплекс. Габионы укладываются рядами друг на друга и связываются по всему периметру. Схема заполнения габионных конструкций представлена на рис.2.

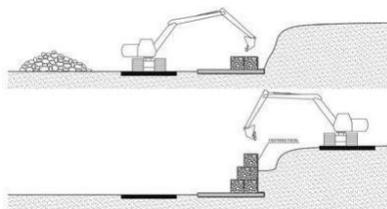


Рис. 2. Схема заполнения габионных конструкций

Вывод

Взаимоувязка процесса отвалообразования и селективной выемки пород вскрыши с целью формирования ограждающей дамбы обеспечивает повышение эффективности ведения открытых горных работ и снижение землеемкости горнодобывающих предприятий за счет сокращения площадей нарушенных земель в период эксплуатации техногенной емкости путем рекультивации и последующей сдачи собственнику.

Список литературы

1. Иванов В.В. Технология добычных работ на карьерах: учеб. Пособие. СПб, 2015. – 6 с.
2. Пыталев, И.А. Обоснование параметров открытой геотехнологии комплексного освоения крупноподходящих месторождений для устойчивого развития горнотехнических систем: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.22; 25.00.21 / И.А. Пыталев. – Магнитогорск, 2019. – 200 с.
3. Зотеев О.В., Кравчук Т.С., Пыталев И.А., Якшина В.В. Исследование возможности применения габионных конструкций при комплексном освоении георесурсов. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле, 2020г. – 182 с.
4. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – С.-Пб, ВНИМИ, 1998. – С. 207.
5. ОДМ 218.2.049-2015 Рекомендации по проектированию и строительству габионных конструкций на автомобильных дорогах. ООО «НТЦ ГеоПроект», 2015.
6. Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В., Тер-Мартirosян З.Г., Чернышев С.Н. Механика грунтов, основания и фундаменты: учеб. Пособие для строит. вузов / под ред. С.Б. Ухова. – М.: Высшая школа, 2007. – 566 с.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕАГЕНТА ДИТИОПИРИЛИМЕТАНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ТРУДНОБОГАТИМЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД

Матвеева Т.Н., Гетман В.В., Каркешкина А.Ю.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Развитие добывающей промышленности неуклонно приводит к постепенному истощению ресурсов. В настоящее время более 95 % всех сульфидных руд, содержащих цветные, редкие и драгоценные металлы, обогащаются методом флотации. Наиболее распространенными в промышленности реагентами собирателями при флотации золотосодержащих руд являются ксантогенаты щелочных металлов, которые не селективны при флотационном разделении сульфидных золотосодержащих минералов. Поиск и разработка новых эффективных реагентов для флотационного извлечения благородных металлов при переработке труднообогатимых руд является актуальной задачей.

Анализ литературных источников и проведенные ранее исследования показали [1,2], что аналитические реагенты группы пиразолов могут найти применение в качестве реагентов-собирателей при флотации золотосодержащих сульфидных руд. В качестве реагента собирателя для

флотации золотосодержащих сульфидов предложен аналитический реагент дитиопирилметан (ДТМ). Дитиопирилметан является слабым основанием, обладает восстановительными свойствами и участвует в окислительно-восстановительных реакциях с ионами металла, в которых расходуется не только на образование комплекса, но и на восстановление элементов. В кислой среде образует с золотом устойчивые окрашенные в красный цвет катионные комплексные соединения [3].

Флотационные исследования ДТМ в качестве дополнительного реагента собирателя к бутиловому ксантогенату калия (БКК) проводили на мономинеральных фракциях (крупностью $-0,1+0,063$ мм) пирита и пирита с искусственно нанесенным золотом по методике, разработанной в ИПКОН РАН, также на мономинеральных фракциях (крупностью $-0,1+0,063$ мм) арсенопирита и арсенопирита с золотом. Навеску минерала массой 1 г помещали в лабораторную флотомашину (V-25 мл). Флотацию вели в боратном буфере pH 9,18. Обработка реагентами ДТМ+БКК проводили в течение 1 мин, пенообразователем (МИБК) – в течение 0,5 мин. Время флотации 1 минута.

На рисунке 1 представлены результаты флотации пирита и пирита с нанесенным золотом. Концентрация БКК изменялась от 0-10 мг/л, при этом концентрация ДТМ оставалась постоянной и составляла 10 мг/л.

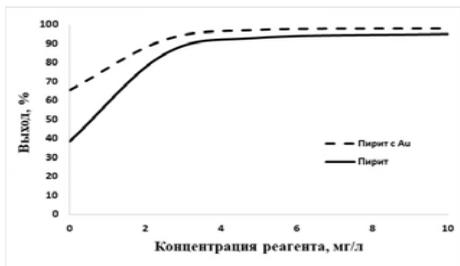


Рис. 1. Результаты сравнительной мономинеральной флотации пирита и пирита с золотом, реагентами ДТМ+БКК

В результате исследований установлено повышение выхода, как чистого пирита, так и пирита с нанесенным золотом до 95 и 98 %, соответственно. При этом выход пирита с нанесенным золотом выше чем пирита без золота, максимальная разница в выходе наблюдается при малых концентрация БКК (до 2,5 мг/л).

При флотации арсенопирита и арсенопирита с нанесенным золотом концентрация БКК изменялась от 0-15 мг/л, концентрация ДТМ оставалась постоянной и составляла 10 мг/л. Результаты представлены на рисунке 2.

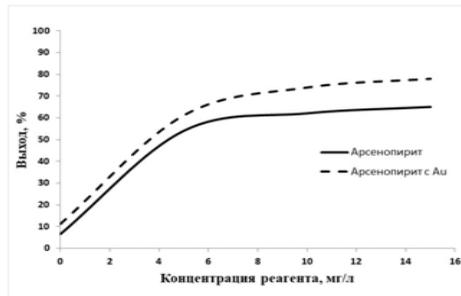


Рис. 2. Результаты сравнительной мономинеральной флотации арсенопирита и арсенопирита с золотом, реагентами ДТМ+БКК

Выход арсенопирита с нанесенным золотом выше выхода арсенопирита без золота. Максимальная разница достигнута при концентрации БКК 15 мг/л и составляет 13 %.

Таким образом, выявлено, что дитиопирилметан влияет на флотационные свойства золотосодержащих сульфидных минералов. В сочетании с традиционным реагентом собирателем сульфидных минералов - бутиловым ксантогенатом калия дитиопирилметан повышает выход минералов с искусственно нанесенным золотом по сравнению с минералами без золота что может свидетельствовать о способности ДТМ взаимодействовать с ионами золота на поверхности минералов, образуя устойчивые соединения.

Список литературы

1. Зимбовский И.Г. Физико-химическое обоснование нового реагента собирателя класса пиразола при флотационном разделении сульфидов медно-цинковых руд Дисс. на соискание ученой степени кандидата химических наук. Москва – 2013.
2. Иванова Т.А., Чантурия В.А., Зимбовский И.Г., Гетман В.В. Исследование механизма взаимодействия комплексообразующего реагента диантипирилметана с сульфидными минералами и касситеритом, входящими в

состав труднообогатимых оловянных сульфидных руд // Цветные металлы. – 2017. – № 10. – С. 8–13.

3. А.С. 515747 СССР, МПК² С 07 D 231/08.Производные дитопирилметана, обладающие комплексообразующей способностью к благородным и цветным металлам / Долгоров А.В. № 2044107/04; заявл. 15.07.74; опубл. 30.05.76 Бюл. № 20.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРОЧНЕНИЯ ПРИКОНТУРНОГО ГОРНОГО МАССИВА

Дрибан В.А., Хламов Д.М.

Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела МОН ДНР (г.Донецк)

Среди различных методов повышения устойчивости протяженных горных выработок наибольшее распространение получили локальные методы. Это объясняется их доступностью (применяются прямо из проходимой выработки), относительной дешевизной и принципиальной возможностью применения практически в любых горно-геологических и горнотехнических условиях [1]. Тем не менее, применение методов данной группы до сих пор основано на эмпирических закономерностях, полученных в ограниченных диапазонах горно-геологических условий. Попытки же применения локальных методов в условиях, отличных от тех, для которых была разработана расчетная методика, часто приводят к тому, что их эффективность оказывается существенно ниже ожидаемой. Основным смыслом применения локальных методов в практике горного производства, в подавляющем большинстве случаев, является повышение прочностных характеристик приконтурного массива для уменьшения смещений пород внутрь контура горной выработки. Это и определило цель настоящей работы – выявление закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния приконтурного массива при его упрочнении.

Модели и моделируемые условия

Все модели представляют собой плоский разрез однородного изотропного горного массива размером 100×100 м с выработкой круглого сечения в центре и нарушением контура в виде первичного клина с радиальной высотой 1 см и углом вдавливания 90° . Модельные задачи решались в упруго-пластической постановке, модель поведения материала – приближение Друкера-Прагера к закону Кулона-Мора. Общими

для всех моделей являются следующие параметры: модуль Юнга – 10 ГПа; коэффициент Пуассона – 0,3. Сцепление и угол внутреннего трения изменялись в зависимости от заданной прочности материала. Угол пластического течения принимался равным углу внутреннего трения. Так же для имитации условий близких к гидростатическому сжатию в центральной части моделей задавались следующие граничные условия: для левой и нижней грани – запрет нормальный перемещений; для верхней и правой граней – равномерная распределенная нагрузка.

В центре каждой модели вокруг выработки создавалась выделенная поверхность круглой формы и радиусом 3, 4, 5 и 6 м, что соответствует размерам приконтурной области 2, 3, 4 и 5 м. Данные области создавались с двумя целями: 1) для оптимизации процесса сгущения элементной сети в интересующей области; 2) для возможности задания прочностных характеристик массива в приконтурной области отличных от характеристик материала основной части модели.

Методика расчетов

Расчеты производились в два этапа. На первом этапе определялись нагрузки в точках неустойчивого равновесия, соответствующие критерию склонности приконтурного массива к клинообразованию с точностью до 1 кПа, по методике описанной в работе [9]. Нагрузки определялись для следующих условий: диапазон прочностей массива 10–60 МПа с шагом 10 МПа; угол внутреннего трения $10\text{--}40^\circ$ с шагом 10° ; четырехгеометрических схем с размером приконтурной области 2, 3, 4 и 5 м.

Наиболее доступным и эффективным и как следствие наиболее распространенным способом упрочнения приконтурного массива является анкерование. В методических указаниях [1] приведена номограмма коэффициентов упрочнения k_p при применении стандартных анкеров (длиной 2–2,5 м) различной прочности. Максимально возможная величина коэффициента упрочнения по номограмме $k_p=2$. Это, в частности, и определило границы диапазона условий для второго этапа расчетов.

На втором этапе для каждой из 96-и равновесных нагрузок производились три серии расчетов, в которых при фиксированной нагрузке постепенно увеличивалась прочность материала приконтурной области за счет увеличения сцепления. Шаг увеличения прочности 20%, т.е. расчеты производились для величин $k_p = 1,0, 1,2, 1,4, 1,6, 1,8$ и $2,0$. В первой серии нагрузка принималась равной равновесной нагрузке, полученной на первом этапе, во второй серии нагрузка увеличивалась на 50%, в третьей серии нагрузка увеличивалась на 100%. В каждом расчете фиксировались две величины: максимум интенсивности деформаций в ядре аномалии и максимум интенсивности деформаций на контуре выработки в районе аномалии.

Далее производился расчет показателя опасности клинообразования по формуле:

$$\text{---}, \quad (1)$$

где ϵ_a – максимум интенсивности деформаций в ядре аномалии, мм/м;
 ϵ_k – максимум интенсивности деформаций на контуре выработки в районе аномалии, мм/м.

Физический смысл показателя опасности клинообразования p_k заключается в следующем, чем больше положительное значение показателя, тем выше склонность приконтурного массива к образованию клинообразных структур на контуре горной выработки, т.е тем выше опасность появления клина вдавливания. Отрицательное значение показателя означает отсутствие опасности клинообразования на данном участке горного массива.

По результатам расчетов были построены графики зависимости показателя опасности клинообразования от коэффициентов упрочнения приконтурного массива $f(p_k) = k_y$ (пример графиков рис. 1).

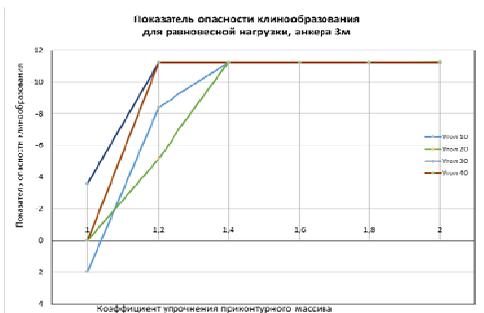


Рис. 1. Показатель опасности клинообразования для равновесной нагрузки и прочности массива 30 МПа, длина анкеров 3 м

Выводы

1. При упрочнении приконтурного массива анкерными системами конечный результат зависит от геомеханической ситуации, а также от прочности анкеров и плотности их установки – эти параметры, согласно [1] непосредственно влияют на коэффициент упрочнения k_y . Длина ан-

керов на величину коэффициента упрочнения значительного влияния не оказывает, поэтому в большинстве случаев вполне достаточно применения стандартных анкеров длиной 2-2,5 м.

2. Границы полосы условий, при которых возможно эффективное противодействие клинообразованию с помощью анкерных систем на данном этапе следует ограничить диапазоном от $P_{равн}$ до $1,5 P_{равн}$.

Список литературы

1. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания: КД 12.01.01.201-98. – Угв. Минуглепромом Украины 25.06.98. – Донецк: УкрНИМИ, 1998. – 154 с.
2. Дрибан, В.А. Об одном подходе к оценке устойчивости массива горных пород вокруг выработки / В.А. Дрибан // Наукові праці УкрНДМІ – 2010. – №7. – С. 211 – 223.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА ЛЮМИНОФОРОВ ДЛЯ ИНДИКАЦИИ АЛМАЗОВ В УСЛОВИЯХ РЕНТГЕНОЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ СЕПАРАЦИИ КИМБЕРЛИТОВЫХ РУД

Подкаменный Ю.А.^{1,2}

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

*Политехнический институт (филиал) «Северо-Восточный
федеральный университет имени М.К. Аммосова» в г. Мирном*

Выбор технологии обогащения зависит от вещественного состава алмазосодержащего сырья, контрастности механических, физических и физико-химических свойств ценного компонента и вмещающих пород, крупности алмазов и содержания полезного компонента в общем объеме добываемой руды. В настоящее время эффективно применяются информационный, гравитационный, флотационный и адгезионный методы обогащения. Опытном обогащения алмазосодержащей руды крупностью -50+6 мм и доводкой гравитационных концентратов класса крупности -6+1 мм подтверждено, что одним из наиболее экономически целесообразных методов является рентгенолюминесцентная сепарация. Исследование рентгенолюминесцентных свойств алмазов и сопутствующих минералов для научного обоснования значений критериев разделения рентгенолюминесцентной сепарации алмазосодержащего сырья является актуальной задачей, имеющей важное отраслевое значение.

Заметная часть кристаллов алмаза характеризуется аномально низкими или высокими природными значениями быстрой и медленной компонент сигнала люминесценции, что приводит к выходу их соотношений за пределы технологически оптимального интервала и, как следствие, обуславливает попадание алмазных кристаллов в хвостовые продукты РЛС [1–7].

Для решения проблемы извлечения алмазов с аномальными параметрами сигнала люминесценции специалистами ИПКОН РАН, МПТИ (ф) СВФУ, «Якутнипроалмаз» и НИГП АК «АЛРОСА» предложен метод повышения эффективности действующих схем рентгенолюминесцентной сепарации, основанный на применении люминесцирующих веществ, способных избирательно закрепляться на поверхности алмазов и корректировать параметры их светимости [8]. Применение люминофоров для корректировки параметров сигнала люминесценции имеет большой потенциал благодаря возможности широкого выбора химических соединений, обладающих свойствами рентгено- или фотолюминесценции [9].

Исследования проводились на люминофорсодержащих композициях и на прошедших этими композициями обработку искусственных слабосветящихся алмазов и минералах кимберлитов: пиробах, оливине, эпидоте (рисунок 1).

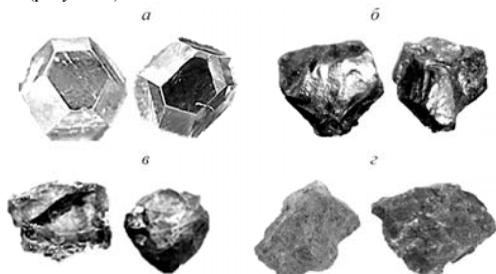


Рис. 1. Внешний вид исследуемых алмазов и минералов кимберлита: *а* — синтетические алмазы, размер — 3 + 2 мм; *б* — минерал-спутник алмаза, пироп, размер — 3 + 2 мм; *в* — главный породообразующий минерал кимберлита, оливин, размер — 2 + 1 мм; *г* — гидрофильный минерал, эпидот, размер — 3 + 2 мм

Изучение спектральных и спектрально-кинетических параметров исследуемых объектов выполнено в несколько этапов в лаборатории института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» с помощью портативного сепаратора ПОЛЮС-М [15]. Принцип работы сепаратора основан на использовании свойства алмазов люминесцировать при воздействии рентгеновского излучения и различиях интенсивности люминесценции у минералов кимберлита и алмазных кристаллов.

В аппарате реализован люминесцентно-абсорбционный режим анализа, с расположением рентгеновской трубки и приемника люминесценции по разные стороны потока материала.

Результаты анализа данных по измерениям параметров индикаторов на основе цетана и композиций антрацена сцинтилляционного с К-35 в различном соотношении, представленные в табл. 1, показали, что люминофоры и их смеси обладают высокой способностью к рентгенолюминесценции в масляной среде.

Таблица 1— Измеренные параметры индикаторов с органической композицией цетана с люминофорами

Совет	Соотношение К-35 и антрацена	Свертка	Время затухания сигнала, мс	мВ		К ₃₅	Индикация
				МК	БК		
Цетан + люминофоры	9:1	0.3	2.0	5954	14300	2.2	+
	9:1	0.7	2.8	7656	16980	2.0	+
	4:1	0.5	1.8	4630	16453	4.1	+
	4:1	0.5	1.8	4454	16366	4.8	+
	1:1	0.5	1.8	1235	17243	12.1	–
	1:1	0.5	1.8	1405	17391	11.8	+

Установлено, что в исследованных диапазонах соотношений концентраций выбранных люминофоров в органическом растворителе цетане полученные композиции обладают необходимыми для модифицирования алмазов спектрально-кинетическими характеристиками [5].

Выполнены экспериментальные исследования, позволяющие обобщать и апробировать метод модифицирования спектрально-кинетических характеристик алмазов люминофорсодержащими органическими композициями. С использованием данного метода подтверждена эффективность применения композиции органического (антрацена) и неорганического (К-35) люминофоров в цетане, при различных соотношениях компонентов.

С помощью опытного сепаратора ПОЛЮС-М определены спектрально-кинетические характеристики люминесцентного излучения люминофоров и их смесей в различном соотношении на поверхности

алмаза и минералов кимберлитов. Результаты исследований показали возможность достижения для синтетических алмазов необходимых соотношений БК и МК люминесцентного сигнала путем обработки смесью люминофоров К-35 и антрацена с цеаном при определенном соотношении компонентов. Подтверждено, что люминофор антрацен целесообразно использовать в качестве самостоятельного активатора люминесценции алмазов, отличающихся своими природными характеристиками и теряемых в условиях стандартных настроек РЛС и их селекции от породных минералов.

Список литературы

1. Мионов В.П. Оптическая спектроскопия алмазов из концентратов и хвостов рентгенолюминесцентной сепарации // Наука и образование. — 2006. — № 1. — С. 31-36.
2. Монастырский В.Ф., Макалин И.А., Новиков В.В., Плотникова С.П., Никифорова Т.М. Повышение эффективности рентгенолюминесцентной сепарации алмазосодержащего сырья // Науки и образование. — 2017. — № 3. — С. 86-90.
3. Макалин И.А. Исследование закономерностей распределения характеристик рентгеновской люминесценции алмазосодержащего сырья: дис. ... канд.техн.наук. — Екатеринбург, 2013. — 140 с.
4. Мартынович Е.Ф., Мионов В.П. Рентгенолюминесценция алмазов и ее использование в алмазодобывающей промышленности // Изв. вузов. — 2009. — № 12-3. — С. 202-210.
5. Мионов В.П. Использование явления люминесценции в алмазодобывающей промышленности.// Наука и техника в Якутии. — 2005. — № 1 (8). — С. 11-14.
6. Владимиров Е.Н., Казаков Л.В., Колосова Н.П. Повышение эффективности работы сепаратора алмазов за счет цифровой обработки сигналов // Совр. электроника. — 2008. — № 2. — С. 64-69.
7. Монастырский В.Ф., Шлюфман Е.М. Повышение эффективности работы аппаратов РЛС при обогащении алмазосодержащего сырья. IV Конгресс богатителей стран СНГ / Материалы конгресса, Т. III. — М., 2003. — С. 9-12.
8. Чангурия В.А., Двойченкова Г.П., Морозов В.В., Ковальчук О.Е., Подкаменный О. Е., Яковлев В. Н. Экспериментальное обоснование состава люминофоров для индикации алмазов условиях рентгенолюминесцентной сепарации кимберлитовых руд // ФТПРПИ. — 2018. — № 3. — С. 112-120.
9. Menshikova A.Yu., Pankova G.A., Evseeva T.G., Shabsels B.M., and Shevchenko N. N. Luminophorecontaining polymer particles: Synthesis and optical properties of thin films on their basis, Nanotechnologies in Russia, April 2012, Vol. 7, Issue 3-4. — P. 188-195.

К ВОПРОСУ О РОБОТИЗАЦИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Добрынин А.А., Добрынин И.А.

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

Роботизация охватывает всё большее количество областей и в т.ч. горную промышленность, однако в России как-то неспешно, особенно, что касается технологии взрывных работ.

В некоторых городах развитых стран мира уже стал появляться первый беспилотный транспорт, например, в Англии тестируется пассажирский автобус.

Изобретательные люди также принимают участие в развитии данного направления на практике. Китайка Чен Тао, пытаясь спастись от коронавируса, воспользовалась игрушечной машинкой с радиоуправлением. Безопасная игрушка, оснащённая двумя видеокамерами и динамиком, ездит за продуктами и с её помощью хозяйка общается с продавцами и людьми на улицах крупного города.

Горные предприятия с точки зрения автоматизации и роботизации технологических процессов имеют преимущество по сравнению с городскими условиями, где уже были аварии с беспилотными автомобилями, хотя бы потому, что здесь, при эффективном контроле территории и управлении персоналом предприятия, встречается меньше неадекватных и т.п. людей, а в случае успешного внедрения, даже на первом этапе, дистанционного управления технологическим оборудованием должно произойти существенное сокращение работников из числа тех, которые вынуждены находиться в загазованном, запылённом призабойном пространстве и в других опасных местах, где степень риска получить травму и профзаболевание очень высокая. Удаление бурильщиков, взрывников, водителей-операторов смесительно-зарядных машин (СЗМ) и других работников из призабойного пространства обеспечит снижение стоимости бурения, зарядания, транспортировки взрывчатых материалов (ВМ), забойки за счёт экономии на заработной плате и времени отдыха работников, а также экономии энергии, топлива и др. материалов.

Дистанционное управление такими процессами как бурение, экскавация и транспортирование разрушенной горной массы уже внедряется на горных предприятиях Австралии, Канады, России, США, Чили, ЮАР [1-3], поэтому есть основание считать, что в скором времени оно будет освоено передовыми горными предприятиями мира.

Процесс изготовления взрывчатых веществ (ВВ) и размещение взрывчатых материалов (ВМ) в зарядных выработках, является одним из наиболее опасных среди технологических процессов, без которых сегодня невозможно горное производство, где необходима энергия взрыва.

Чтобы, хоть как-то автоматизировать и далее роботизировать операции зарядки ВВ, поначалу предполагалось разместить боевики с взрывной сетью заранее, что, в принципе технически возможно, однако это могло создать известные трудности для манёвров СЗМ на заряжаемом блоке.

Решить данную проблему, т.е. открыть широкие горизонты для развития новых, в т.ч. роботизированных взрывных технологий можно, используя беспроводные системы инициирования (БСИ). И, весьма кстати, в мире появилась первая БСИ «WebGen™», разработанная компанией «Ogisa», которая передает сигнал для инициирования взрыва через массив горных пород и полностью исключает необходимость использования внутрискважинных и поверхностных соединительных проводов [3].

Промежуточные детонаторы (ПД) БСИ «WebGen™» включают в себя: электронику с батареей, соединительный порт для установки замедления, 3-х осевую антенну, пентолитовую шашку с детонатором и замковое устройство, удерживающее все элементы в конструкции ПД. ПД БСИ собираются и кодируются непосредственно возле заряжаемых выработок.

БСИ «WebGen™» имеет 3-й уровень совокупной функциональной безопасности (SIL 3), т.е. система всегда находится в безопасном состоянии до момента инициирования и, возможно, в т.ч. поэтому уже применяется на горных предприятиях в Австралии, Аргентине, Бразилии, Доминиканской Республике Канаде, Колумбии, Мексике, Перу, США, Финляндии, Чили.

Внедрение БСИ, относимых авторами к системам инициирования 6-го поколения, позволит значительно повысить уровень безопасности операций с ВМ в условиях как открытых, так и подземных горных предприятий, при этом открываются широкие возможности для внедрения принципиально новых ВВ, изготавливаемых в СЗМ на местах их применения, в т.ч. в процессе зарядки взрывных скважин, например, жидких взрывчатых растворов, исходным сырьём для которых могут быть различные, в т.ч. невзрывчатые компоненты [4-6].

Выводы

1 Современный уровень развития науки и техники позволяет уже сегодня приступить к разработке роботизированных взрывных технологий для горной промышленности.

2 Исключение большого числа работников из технологического процесса обеспечит существенное снижение себестоимости и значительно повысит его безопасность, т.к. присутствие ограниченного числа

операторов, управляющих оборудованием и контролирующих его работу предполагается только за пределами опасной зоны.

3 Внедрение роботизации наиболее опасных процессов горного производства подтолкнёт исследователей к разработке и внедрению принципиально новых взрывных технологий, которые допустить в присутствии людей в принципе было невозможно.

Список литературы

1. Онуприенко В.С., Шептура В.И., Персиянов Е.В., Волков А.В. Современное состояние и перспективы развития горных работ в Кировском филиале АО «Апатит», Горный журнал № 9, 2019, с. 50-56.
2. Исыянов О.А., Марчев А.С., Раболыт А.Н., Мерескин И.В. Опыт применения низкопрофильной роботизированной погрузочно-доставочной машины XLPD при отработке маломощных пластообразных рудных тел Рудника № 8 ПАО «ППГХО» им. Е.П. Славского». Горная Промышленность № 6 / 2019, с. 44-48.
3. Оверченко М.Н., Мозер С.П. Оборудование и технологии компании ORICA для ведения подземных горных работ. Горная Промышленность № 5 (147), 2019.
4. Liu, J. Liquid explosives. – Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2015. – 344 p.
5. Добрынин А.А. Взрывы промышленных ВВ – значимый экологический аспект. Рациональное освоение недр № 1, 2019, с. 64-72.
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.

ЗАЩИТА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, КАК НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ПРЕОДОЛЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫЗОВОВ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Федотенко В.С.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

В настоящее время особенно остро стоит вопрос о необходимости последовательного преобразования модели развития России, нацеленной на структурную перестройку и опережающий рост реального сектора экономики, базирующийся на прорывных достижениях в области науки и техники. В свою очередь, аналогичное справедливо, в частности, и для горнодобывающего комплекса, как одного из ключевых секторов производства, зачастую являющегося начальным и потому

определяющим звеном всей цепочки формирования добавленной стоимости. Очевидно, что в рассматриваемом случае успешность разработки, внедрения и поддержания технологического ресурса определяется эффективностью проводимых научных исследований, активностью инновационного процесса, скоростью трансфера знаний и технологий, а также способностью конкретных предприятий воспринимать инновации. Стоит также отметить, что реализация всего комплекса связанных с этим взаимодействий в условиях непрерывного усложнения, как внешних, так и внутренних условий функционирования горнодобывающих предприятий, требует комплексного подхода к анализу и корректировке управляющих воздействий субъектов, ответственных за выполнение стратегических планов развития.

В этой связи одну из ключевых ролей в последовательном решении задач, стоящих перед отраслью в целом и, соответственно, перед научным сообществом, как центром генерации новых технических и организационных решений, адекватных современным условиям, играет механизм своевременного внедрения передовых достижений, призванных сформировать конкурентные преимущества и устранить противоречия, накопившиеся в результате течения объективных процессов развития производственных систем и среды их функционирования. При этом в его основе лежит система отношений в области применения формальных средств защиты прав на интеллектуальную собственность, но только в виде оформления охранных документов, но в виде создания целостной системы, позволяющей обеспечить защиту прав как самих патентообладателей, так и результатов их научно-технологической деятельности от недобросовестной конкуренции. Стабильное функционирование такой системы является важнейшим условием стимулирования инновационного процесса, лежащего в основе выработки реакций, адекватных глобальным вызовам, возникающим на том или ином этапе развития горнодобывающего комплекса.

Список литературы

1. Ленчук Е.Б. Новые возможности и риски в осуществлении научно-технологического развития России. Экономическое возрождение России. 2019.(1):46–52.
2. Перепечко Л. Н., Цукерблат Д. М. Формирование вектора развития интеллектуальноинновационной деятельности научных учреждений (на примере СО РАН) // Вестник Российской академии интеллектуальной собственности и Российского авторского общества. 2019. № 3. С. 82–100.

3. Шегельман И.Р. Патентная активность российских организаций и предприятий: проблемы и пути решения. В сб.: Инновационные технологии в образовании и науке: материалы междунар. науч.-практ. конф. Т. 1. Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс»; 2017:303–307/

4. Подвесная скважинная забойка: пат. 2371671 Рос. Федерация N 2008115168/03 / Федотенко С.М., Федотенко В.С., Федотенко Н.А.; заявл. 17.04.2008; опубл. 27.10.2009, Бюл. N 30. 5 с.

5. Способ рассредоточения заряда в скважине: пат. 2319924 Рос. Федерация N 2006124019/03 / Федотенко С.М., Федотенко В.С.; заявл. 04.07.2006; опубл. 20.03.2008, Бюл. N 8. 4 с.

6. Способ формирования комбинированного заряда: пат. 2364828 Рос. Федерация N 2008106302/03 / Федотенко С.М., Кокин С.В., Федотенко В.С.; заявл. 18.02.2008; опубл. 20.08.2009, Бюл. N 23. 5 с.

НАЗЕМНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ

Ахметжанов А.¹, Жалгасбеков Е.¹, Касымканова Х.М.¹,
Милетенко Н.А.²

¹Казхский национальный университет имени аль-Фараби,
г. Алматы, Казахстан

²Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН

Скорость развития технологии на данный момент высока как никогда. Компьютерные системы позволили намного упростить маркшейдерско-геодезические работы как полевые, так и камеральные. Объединение возможностей геодезических и фотограмметрических приборов позволило создать абсолютно новый прибор – систему трехмерного лазерного сканирования (наземного лазерного сканера).

Наземное лазерное сканирование находит широкое применение в различных областях науки и производства для решения разнообразных задач. Этот метод весьма эффективен при маркшейдерско-геодезических съемках горных разработок, обмеров зданий, сооружений, съемке ледников и построении различных моделей, топографических съемках горных районов, определении условий формирования трещин на земной поверхности, как объектов для проникновения поверхностных вод в подземные выработки [7, 8].

Суть технологии лазерного сканирования заключается в определении пространственных координат точек объекта. То есть, прибор, при помощи фазового или импульсного безотражательного дальномера вычисляет расстояния до всех точек объекта и измеряет вертикальные и

горизонтальные углы. При этом формируется трёхмерное изображение (с координатами XYZ) в виде облака точек (скана, растрового изображения). Принцип действия схож с работой электронного тахеометра, но в отличие от него, процесс съемки происходит быстрее. А это делает наземное лазерное сканирование самым оперативным и высокопроизводительным средством получения точной и полной информации о любом объекте.

Для производства трехмерного лазерного сканирования в первую очередь производится рекогносцировка объекта сканирования. Точки стояния прибора, с которых будет производиться сканирование, выбираются таким образом, чтобы обеспечить максимальное перекрытие сканируемого объекта. Определение плановых и высотных координат точек стояния лазерного сканера производится с использованием тахеометра (от пунктов государственной геодезической сети), либо GNSS технологий.

На базе Карагандинского государственного технического университета действует центр лазерного сканирования и научная школа под руководством д.т.н., профессора Низаметдинова Ф.К., которая выполнило ряд научно-исследовательских работ по мониторингу состояния прибортовых массивов на карьерах Центрального Казахстана.

Сканирование проводилось с использованием горного сканера Leica HDS 8800 (рис. 1).



Рис. 1. Горный сканер Leica HDS 8800 191

При производстве съемки сканер устанавливался на штатив (рис.2).



Рис. 2. Штатив для установки геодезических приборов

Для повышения точности наземного лазерного сканирования нами и коллегами с КазННТУ им. Сатпаева разработано и запатентовано устройство для установки на него сканера и других высокоточных электронных, лазерных и роботизированных приборов при проведении гео-мониторинга земной поверхности, а также деформационных процессов инженерных сооружений.

Репер содержит опору, на верхней поверхности которой выполнен центр с резьбой для установки прибора с установленными плано-высотными координатами X, Y, Z.

Помимо этого, опора репера выполнена в виде бетонного или железобетонного основания, на верхней поверхности которого закреплена металлическая плита, а центр с установленными плано-высотными координатами выполнен в виде резьбы для установки прибора (рис. 3).

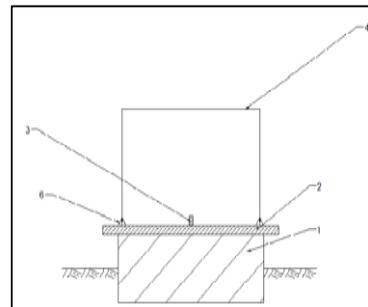


Рис.3. Разрез конструкции грунтового репера:

- 1 – опора бетонного основания; 2 – металлическая плита;
3 – центр с резьбой; 4 – пластиковая защита

Новое устройство позволит повысить точность центрирования, оперативность измерения при отсутствии штативов в пунктах стояния и наблюдения.

Список литературы

1 Касымканова Х.М., Омралдин М.Н., Абдрахман О. Методы съемки трещиноватости горного массива //Труды 10 международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблема освоения недр в XXI веке глазами молодых». М, ИПКОН РАН. – 2013. – С. 66 – 68.

2 Трубещкой К.Н. и др. Справочник. Открытые горные работы – Москва, «Горное бюро», 1994. – 590 с.

3. Низаметдинов Н.Ф., Низаметдинов Р.Ф. Наземное лазерное сканирование в геодезии. / Маркшейдерский вестник. – 2013. - № 3. – С. 25-27.

4. Низаметдинов Ф. К., Ожигин С. Г., Ожигина С. Б., Ожигин Д. С. Мониторинг устойчивости бортов карьеров Казахстана / Маркшейдерский вестник. – 2013. – № 3. – С. 19–24.

5. Лазаренко С., Хадарович А. Применение технологии наземного лазерного сканирования // Архитектура и строительство. – 2008. – No 20.

6. Патент, № 4700, номер заявки 2019/1091.2 Постоянный грунтовый репер для геодезических измерений.

РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ МОНИТОРИНГ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБ НА БАЛАНСОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Абдрахманова З.Т.¹, Кан А.Н.¹, Юн Р.В.¹, Ефименко С.А.¹,
Макаров Д.В.²

¹ТОО «Корпорация Казахмыс», Караганда, Казахстан

²Институт проблем промышленной экологии Севера
Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия

ТОО «Корпорация Казахмыс» является крупнейшим производителем катодной меди в Казахстане. Шахты и карьеры ПО «Жезказганцветмет», ПО «Балхашцветмет» и ПО «Карагандацветмет» Горно-обогатительного комплекса (ГОК) разрабатывают месторождения медьсодержащих полиметаллических руд очень сложного вещественного состава: Жезказган, Жаман-Айбат, Жиландинская группа (Итауз, Восточная Сарыоба, Западная Сарыоба, Кипшакпай, Карашошак), Конырат, Саякская группа, Шатырколь, Нурказган, Абыз, Акбастау, Кусмурын.

Запасы руд и металлов по вышеуказанным месторождениям утверждены протоколами Государственных комиссий по запасам (ГКЗ) полезных ископаемых СССР и РК. Согласно этим протоколам, максимальный список (далее – Список) основных и сопутствующих балансовых компонентов по всем месторождениям, разрабатываемым ТОО «Корпорация Казахмыс», достигает 15 – это: Cu, Pb, Zn, Ag, Au, Re, S, Se, Te, Mo, Cd, As, Co, In, Hg. Этот Список должны (в идеале) обеспечить носимые и лабораторные спектрометры, анализирующие геологоразведочные пробы. 15 балансовых элементов – это конечная цель

аппаратурных и методических исследований, ведущихся в корпорации. Достижение поставленной цели позволит с максимальной информативностью проводить геологоразведочные работы во всех горных подразделениях ТОО «Корпорация Казахмыс» и существенно сократить затраты на химический анализ, так как химические анализы проб с рудных пересечений будут заказываться не «вслепую», а в полном соответствии с результатами экспресс-анализа.

В ТОО «Корпорация Казахмыс» с 1971 года применяется рентгенофлуоресцентный метод (РФМ) анализа (РФА) порошковых проб руд и с 1977 года – РФМ опробования (РФО) руд, поэтому все экспресс-лаборатории оснащены лабораторными энергодисперсионными рентгенофлуоресцентными (EDXRF) спектрометрами, РЛП–21Т (ТОО «Аспап Гео, г. Алматы, Казахстан) различных модификаций, а геофизические службы – носимыми EDXRF спектрометрами РПП–12 различных модификаций.

Лабораторный спектрометр РЛП–21Т (модификация 2010 года) позволяет одновременно определять содержания 31 элемента: Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Mo, Fe, Se, As, Ba, W, Bi, Ti, Cr, Mn, V, Ni, Al, Si, S, Ca, Ga, Br, Sr, Zr, Rb, Y, Nb, Pd, U, Th, причем легкие элементы (S, Si, Al) определяются без использования вакуума или инертного газа и за одно измерение с остальными элементами. Экспозиция измерений – 150 сек. Предел обнаружения по серебру (критерий 3σ) – 0,76 ppm. Спектрометр РЛП–21Т (2010) базовой комплектации закрывает 10 элементов (Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Co, Mo, Se, As, S) Списка.

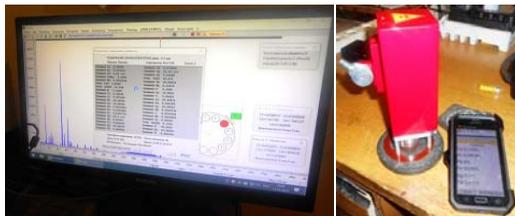
Один из спектрометров РЛП–21Т (2010) оснащен опцией «РФА на рений». Данная опция позволяет определять содержания 19 элементов: Re, Cu, Zn, Pb, K, Ca, Ti, Cr, V, Mn, Fe, Co, Ni, Ge, As, Se, Ba (оценка), S (оценка), W. Исследования показали, что спектрометр обеспечивает точность РФА на рений по III категории (точность рядового химического анализа), начиная с содержаний рения 1,5+ ppm при экспозиции измерений 500 сек. Опция «РФА на Re» используется в автономном режиме.

Таким образом, спектрометр РЛП–21Т (2010) закрывает 11 элементов Списка. Незакрытыми остаются 4 элемента – Au, Te, In, Hg.

Следующий шаг – оснащение лабораторий РФА спектрометрами РЛП–21Т новейших модификаций и, в частности, РЛП–21Т (2020) (рис. 1, рис.2А). При разработке данного спектрометра ставилась задача обеспечения РФА проб на теллур. В этой модификации используются: рентгеновская трубка на напряжение 60 кВ; FAST SDD детектор площадью 70 мм²; турель на 10, а не 9, как было раньше (рис. 1), кювет с пробями (сами кюветы и по высоте, и по диаметру больше); 6 режимов работы,



Рис. 1. EDXRF спектрометр РЛП–21Т (2020)



А. Экран монитора РЛП–21Т (2020)

Б. РПП–12Т

Рис. 2. EDXRF спектрометры РЛП–21Т (2020) и РПП–12Т

главные из которых: «Общая» на 40 элементов и соединений (Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Fe, S_{общ.}, SiO₂, Mo, Se, CaO, Mn, Al₂O₃, P, R, Sc, Ti, V, Cr, Co, Ni, Ga, Ge, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Pd, Sn, Sb, BaSO₄, Ta, W, Hg, Bi, Th, U) и «Общая La» на 42 элемента (тоже, что и в режиме «Общая», плюс In, Te); режимы «TeФ» и «LaФ» (Ф – фильтр) позволяют проводить высокоточный РФА при низких (< 1,0 ppm) содержаниях серебра, кадмия, теллура, индия, селена, и ряда других элементов; регулируемая экспозиция измерений – от 80 до 150 сек.

В таблицу «Процентное содержание элементов» спектрометра РЛП–21Т (2020) по сравнению с таблицей «Процентное содержание элементов» спектрометра РЛП–21Т (2010) среди прочих дополнительно включены In, Sn, Sb, Te. Обеспечение возможности РФА этих элементов потребовал существенной переработки рентгенооптической схемы датчика спектрометра, замены мишени из теллура на мишень из лантана и серьезного усложнения программного обеспечения.

Таким образом, в сегменте «Лабораторный РФА» из всего Списка основных и сопутствующих элементов остались не закрытыми только золото и частично рений.

Остановимся подробнее на ситуации с охватом Списка основных и сопутствующих элементов в сегменте «РФО руд и керна» носимыми EDXRF спектрометрами.

До 2017 года для целей РФО руд в условиях естественного залегания и в отбитой горной массе использовались носимые EDXRF спектрометры РПП–12 (ТОО «Аспап Гео»). РПП–12 – это: радиоактивный источник закрытого типа Pu–238, пропорциональный детектор излучений СИ–1, устройство регистрации и обработки результатов, 4 определяемых элемента (Cu, Pb, Zn, Fe). Максимальная высота РФО забоя – 7–8м. Экспозиция измерений – 10с.

Понятно, что данный спектрометр, закрывающий всего три элемента Списка, подлежал замене на спектрометр с более широкими возможностями в плане количества определяемых элементов. Выход: переход на современные EDXRF спектрометры: а) с рентгеновской трубкой – это расширит верхний энергетический интервал возбуждающего излучения и, следовательно, список определяемых элементов (в частности, определять содержания серебра и кадмия); б) с полупроводниковыми (Si–Pin и SDD) детекторами, обеспечивающими более высокое энергетическое разрешение. Основная проблема здесь – необходимость в РФО забоев высотой 7–8м.

С 2017 года в геофизические службы рудников начали поступать носимые EDXRF спектрометры РПП–12П и РПП–12Т. Носимые EDXRF спектрометры других фирм не рассматривались по причинам: а) непригодности к РФО высоким (до 7м) забоев; б) отсутствия, работающей с высокой оперативностью, системы сервисного обслуживания (у ТОО «Аспап Гео» такая система не имела). Последнее обстоятельство было определяющим, так как только в шахты и карьеры ПО «Жезказганцветмет» ежедневно выходят 18 бригад РФО забоев.

Спектрометр РПП–12П шел на прямую замену спектрометру РПП–12. Спектрометр РПП–12П – это: радиоактивный источник закрытого типа Pu–238, кремниевый дрейфовый детектор SDD площадью 25 мм² с термоохлаждением и энергетическим разрешением 140 эВ по линии 5,9 кэВ; смартфон CAT s60 с ударопрочным корпусом (вместо устройства регистрации и обработки результатов в спектрометре РПП–12); схема передачи сигнала от датчика к смартфону с помощью стандарта беспроводной связи малой дальности bluetooth; 12 определяемых элементов: Cu, Zn, Pb, Fe, Ba, K, Ca, Ti, Mn, Ni, As, Sr; максимальная высота РФО забоя – 7–8м. Из-за использования радиоактивного источника этот спектрометр закрывает только 5 элементов Списка.

Спектрометр РПП–12Т разрабатывался для определения предельно низких (1 ppm +) содержаний серебра, кадмия и ряда других элементов. Спектрометр РПП–12Т (рис. 2Б) – это: детектор SDD (S = 25 мм², термоохлаждение, разрешение 140 кэВ по линии 5,9 кэВ); рентгеновская трубка (50 кВ, 10 Вт); до 4 см² площади сбора аналитической информации с поверхности объекта; серийный смартфон с операционной системой Android и с защитой класса IP67; схема передачи сигнала от датчика к смартфону с помощью стандарта беспроводной связи малой дальности bluetooth; мощный (8000 мАч) аккумулятор; 34 определяемых элемента – Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, As, Ba, Fe, Mo, Mn, Ti, V, Cr, Co, K, Ca, Ni, Ga, Br, Rb, Sr, Zr, Y, Nb, Sn, Sb, Bi, Se, In, Pd, Te, W, Th, U; устройство для проведения РФА порошковых проб; три рабочих режима: «Руда в естественном залегании и в отбитой горной массе», «Керн скважин», «Руда в виде порошка»; комплект из двух (по 1,0 м) штанг (максимальная высота РФО забоя – 4м); варианты исполнения – шахтный (рис. 2Б) и карьерный (керновый); вес датчика – не более 1,5 кг. После окончания гарантированного срока (1 год) можно дополнительно заказать 2–3 штанги и нарастить максимальную высоту РФО забоя до 7–8м. Спектрометр РПП–12Т закрывает 11 элементов из Списка. Незакрытыми остаются Au, S, Re, Hg.

Обсудим перспективы РФА на золото носимыми и лабораторными EDXRF спектрометрами.

Перспективы определения содержаний золота посредством прямого (без использования кислотного разложения навесок проб и осаждения золота на твердый экстрагент – ионообменную смолу) РФА на спектрометре РПП–21Т есть. Например, ТОО «Аспап Гео» разработало по заказу Аналитической лаборатории ТОО «Центр Консалтинг» (руководитель Шевелев Г.А.) модификацию спектрометра РПП–21Т на 42 элемента (с золотом, но без теллура). На рис. 3 приведены фрагменты таблиц «Процентное содержание элементов» двух породных проб, в которые методом добавок были введены 10 и 20 ppm золота.

А	Элемент Lu	<0,0001%	Элемент Ta	<0,001%
	Элемент W	<0,001%	Элемент Au	10,17±0,60 г/т
	Элемент Bi	<0,001%	Элемент Th	6,81±0,50 г/т
Б	Элемент Lu	<0,0001%	Элемент Ta	<0,001%
	Элемент W	<0,001%	Элемент Au	22,82±0,66 г/т
	Элемент Bi	<0,001%	Элемент Th	6,88±0,50 г/т

Рис. 3. Фрагменты «Таблиц содержаний элементов», полученных по результатам РФА проб с добавками 10 (А) и 20 (Б) ppm золота

Результаты РФА этих проб получились весьма обнадеживающими: 10,17±0,60 и 22,82±0,66 ppm. Предстоят дополнительные исследования

на пробах с меньшими содержаниями золота. Но иллюзий питать не следует: даже, если максимально оптимизировать условия возбуждения линий L–серии золота, увеличить экспозицию измерений, перейти на пресловутые пробы, вряд ли удастся выполнять РФА с точностью III третьей категории (точность рядового химического анализа») при содержаниях золота в пробах меньше 1 ppm.

В настоящее время проводятся исследования по выяснению возможности проведения РФА и РФО на золото руд месторождения Абыз с помощью спектрометра РПП–12Т, используя коэффициенты множественной корреляции золота с другими элементами. Но этот вариант может сработать только на рудах месторождения Абыз, содержащих повышенные содержания золота, по сравнению с другими месторождениями, разрабатываемыми рудниками ТОО «Корпорация Казахмыс».

С носимыми EDXRF спектрометрами достичь положительных результатов при прямом (без корреляции) РФО керна скважин на золото в классе содержаний < 5 ppm на данный момент невозможно, хотя в рекламных проспектах зарубежных фирм утверждается, что можно. В частности, речь идет о носимых EDXRF спектрометрах: Delta и Vanta фирмы Olympus Scientific Solutions Americas Corporation (США), S1 TITAN 800 фирмы Bruker AXS Handheld LTD, (США), The Niton XL3t 955 Ultra Mining Analyzer фирмы Thermo Fisher Scientific Inc. (США), EDX Pocket фирмы SkuRay Instrument (Китай) и других. Золото они определяют, но с большой погрешностью. Например: 0,0031±0,0035 ppm; «<LOD (LOD – ниже предела обнаружения)» (TheNiton) на ГСО–3594 (аттестованное значение 12,1 ppm).

Выводы:

1. В сегменте «Лабораторные спектрометры» спектрометром РПП–21Т (2020г., 42 элемента) удалось обеспечить РФА 13 из 15 элементов Списка балансовых компонентов.

2. Опцией «РФА на Re» в спектрометре РПП–21Т (2010г., 19 элементов) обеспечен РФА на рений с содержаний 1,5+ ppm.

3. В сегменте «Носимые спектрометры» спектрометром РПП–12Т (2017г., 34 элемента) удалось обеспечить РФО 11 из 15 элементов списка балансовых компонентов.

ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ, РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА И ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Кочанов С.А.¹, Кочанов А.Н.²

¹ Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С.О. Макарова

² Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук

Ультразвуковые методы получили широкое применение для оценки свойств, напряженно-деформированного состояния, изменений структуры горных пород в результате внешних воздействий при проведении как лабораторных, так и натуральных экспериментов [1-3]. В тоже время известно, что ультразвуковые вибрации сами по себе могут влиять на физические свойства материалов и их прочность, и ультразвуковая обработка является эффективным способом воздействия на структуру материала с целью улучшения его свойств [4]. С этих позиций в настоящей работе анализируются результаты исследований по ультразвуковому контролю образцов горных пород при динамическом воздействии. Основные результаты и методика данных исследований опубликованы ранее в работе [5]. Определение скорости продольных волн в образцах горных пород осуществлялось по схеме прозвучивания, когда датчики с собственной частотой 100 кГц располагались на противоположных гранях образца и перемещались с шагом 3 см. Ультразвуковой контроль проводился до, непосредственно после и в течение длительного времени после неразрушающего динамического воздействия на образцах с характерными размерами порядка 50x25x12,5 см.

В качестве примера на рис 1 и 2 приведены результаты определения скорости продольных волн в локальных точках образца песчаника до и после динамического воздействия на базе 25 см. Анализируя зависимости, представленные на рис 1, до динамического воздействия можно отметить значительное увеличение скорости с момента первоначальных ультразвуковых измерений, что при всех прочих постоянных условиях, очевидно, связано с фактом их проведения и, соответственно, ультра-

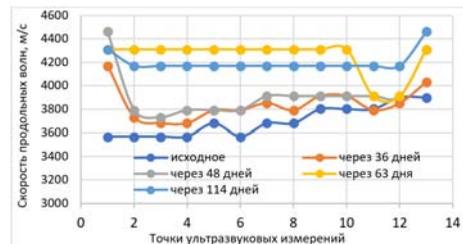


Рис. 1. Значение скорости продольных волн в локальных точках измерения в образце песчаника до динамического воздействия с течением времени

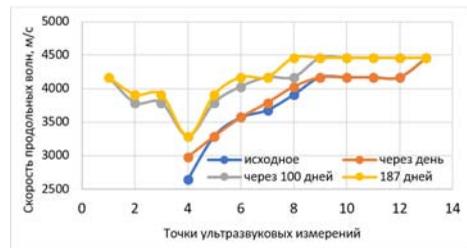


Рис. 2. Значение скорости продольных волн в локальных точках измерения в образце песчаника после динамического воздействия с течением времени

звуковым воздействием. Объяснение этим результатам можно найти в рамках работы [5], согласно которой при ультразвуковом воздействии в среде возможно развитие микротрещин и пластических деформаций и в тоже время благодаря релаксационным свойствам материала залечивание очагов микротрещин, тот или иной сценарий зависит амплитуды и мощности высокочастотных импульсов, а также от структурных свойств самого материала.

На рис. 2 представлены зависимости скорости продольных волн с течением времени после динамического воздействия. При первоначальном измерении наблюдается закономерное снижение скорости продольной волны в зависимости от расстояния до источника динамического

воздействия с минимальным значением ~ 2500 м/с. Через день наблюдений картина практически не изменяется за исключением роста значений скорости в непосредственной близости от источника воздействия. Через 100 дней значения скорости в отдельных измерительных точках достигают значений 4500 м/с, что превышает значения скорости до воздействия. Наблюдаемые закономерности в данном случае изменений скорости позволяют предположить, что имеет место процессы зазачивания микродефектов, когда разрушение не реализовано в виде фрагментации, на которые накладывается влияние ультразвуковых вибраций.

При использовании разрушающих методов акустического контроля большое значение придается определению прочностных показателей горных пород по параметрам упругих волн. О наличии корреляционной связи между пределами прочности и акустическими параметрами свидетельствуют многочисленные экспериментальные данные [6-7]. Наиболее общая зависимость между пределом прочности на сжатие σ_c и скоростью продольных волн C_p для различных пород имеет вид [6]:

$$\sigma_c = \rho C_p^2 (1 - 2\mu) / 2B (1 - \mu),$$

где ρ – плотность; μ – коэффициент Пуассона; $B = 180-240$ – в зависимости от типа горной породы.

Однако наличие корреляции еще не означает, что существует причинно-следственная зависимость одного параметра от другого. Природа прочности отлична от природы упругих показателей, так как последние представляют собой интегральные характеристики породы со всеми ее неоднородностями, а прочность определяется в основном межкристаллическими связями и характеризует наиболее слабые участки испытываемого образца. Проведенный нами эксперимент наглядно иллюстрирует тот факт, что упругие и прочностные параметры могут неодинаково реагировать на различные внешние воздействия. Образцы доломита помещались в раствор азотной кислоты различной концентрации и в раствор ПАВ. Изучались прочность на сжатие и скорость продольных волн до и после физико-химического воздействия. Оказалось, что при снижении прочности в среднем на 10-20% скорость продольных волн, наоборот, в зависимости от концентрации растворов увеличивается на 5-15%.

В заключении можно отметить, что результаты исследований могут быть использованы для развития представлений о процессах деформирования и разрушения горных пород и послужить основой для разработки новых экспериментальных методик изучения этих процессов с помощью акустических методов при проведении ультразвуковых измерений в образцах горных пород и материалов.

Список литературы

1. Ржевский В.В., Ямщиков В.С. Акустические методы исследования и контроля горных пород в массиве. М.: Наука, 1973. 256 с.
2. Шкуратник В.Л., Николенко П.В., Ануфренкова П.С. Об особенностях ультразвуковых измерений в образцах угля с использованием поперечных упругих волн // 2020. №7.С.5-12.
3. Аверин А.П. Исследование параметров затухания при ультразвуковых наблюдениях // ГИАБ. №10. 2004.С.112-114.
4. Шамина О.Г., Паленов А.М., Стопинский З.И., Ткаченко В.С., Якушина Н.А. Влияние ультразвуковых вибраций на физико-механические свойства пород // Изв.АН СССР Физика Земли. 1990. №8. С.15-18.
5. Викторов С.Д., Кочанов А.Н. Динамика упорядочивания микроструктуры и свойств образцов горных пород в результате взрывного воздействия // Известия РАН. Серия физическая. 2014. Т. 78. №4. С. 388-391.
6. Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмологии М.: МГУ. 1981. 176 с.
7. Шейнин В.И., Дзагоев А.М., Блохин Д.И. Смиланский А.Л. Оценка качества и прочности бетона с использованием с использованием данных ультразвуковых испытаний // Основания, фундаменты и механика грунтов 2012. №4. С.6-11.

ВОЛНОВОЕ ПОЛЕ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД С УЧЕТОМ ДИССИПАЦИИ ЭНЕРГИИ

Трофимов В.А., Филиппов Ю.А., Белоусов Ф.С., Пашичев Б.Н.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Взрывное воздействие на массив горных пород является наиболее эффективным способом формирования полостей в горных породах, как в горнотехническом строительстве, так и горнодобывающей промышленности [1]. При этом выделяется значительное количество энергии, которая направлена на разрушение пород за счет непосредственного влияния газообразных продуктов взрыва, формирующих зоны дробления вокруг взрывных скважин [2, 3]. Показано, что на такого рода разрушение необратимо расходуется только часть энергии взрыва (20-30%), а остальная энергия заключена в сейсмических волнах [4], распространяющихся по породному массиву от места взрыва. Такие динамические воздействия могут распространяться от участка ведения взрывных работ на достаточно большие расстояния, постепенно затухая с увеличением расстояния от взрыва.

Интенсивность сейсмического воздействия можно характеризовать следующими параметрами: пиковая скорость перемещения частиц

породы [5], частота их колебания и продолжительность воздействия, спектр воздействия [6].

Отметим, что интенсивность воздействия в некоторой произвольной точке массива определяется несколькими основными факторами. Во-первых, отметим распределение напряжений в массиве горных пород, что в свою очередь является следствием горнотехнической обстановки, т.е. наличием и пространственным распределением выработанных пространств в массиве.

Во-вторых, это деформационные свойства пород массива, которые в большинстве случаев считаются линейно-упругими. Однако во многих случаях учет нелинейности деформационных свойств породы может существенным образом изменить закономерности распространения колебаний в массиве горных пород. Одной из задач проводимого исследования является количественное сравнение закономерностей распространения волн в упругой и неупругой средах.

Задача решается в рамках численного моделирования методом конечных элементов. Схематически постановка задачи показана на рисунке 1, где приведены размеры рассматриваемой области, соответствующие граничные условия и источник сейсмического воздействия.

Отметим, что фактически источником воздействия является взрыв некоторого количества вполне определенного ВВ, со своими конкретными параметрами, детонацию которого следовало бы включить в расчетную схему задачи. Такой подход был бы уместен при решении задачи для конкретной горнотехнической ситуации для определенного участка конкретной шахты. Задача исследования состоит в получении достаточного общих закономерностей, не связанных с деталями воздействия.

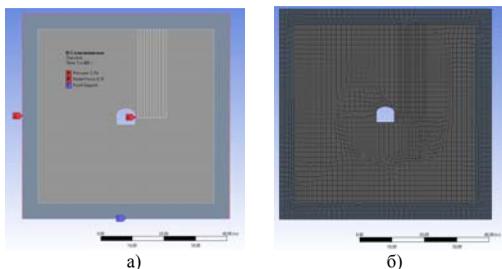


Рис. 1. Постановка задачи

При этом в качестве источника сейсмической волны задается точечное воздействие на массив, приложенное в центре взрыва, который считается также точечным. При этом воздействие может задаваться в виде некоторой волны давления, задаваемой в явном виде, либо волны смещений (скоростей, ускорений). Временные зависимости параметров в этих волнах – это параметры, определенные в результате экспериментальных замеров при взрывных экспериментах.

В качестве нагружающего воздействия к одному из узлов сетки, расположенному посредине вертикальной стенки, была приложена горизонтальная сила величиной 1000Н и продолжительностью действия – 4 мкс (см. рис. 1а).

Рассмотрим для примера некоторые результаты проведенных расчетов, в которых были получены закономерности изменения во времени параметров напряженно-деформированного состояния массива вблизи обнажения для различных деформационных моделей породы. На рисунке 2 для сравнения приведены кривые изменения горизонтальной составляющей скорости для упругой модели и модели с учетом ползучести материала. При этом в качестве модели ползучести была принята «Time Hardening Model» с параметрами $C_1=1,236 \cdot 10^{-13}$, $C_2=0.687$. Введение в расчет механизмов и соответствующих величин, определяющих релаксацию со временем параметров нагружения приводит к сглаживанию пульсаций, в частности, скоростей, т.е. уменьшению основных частот процесса.

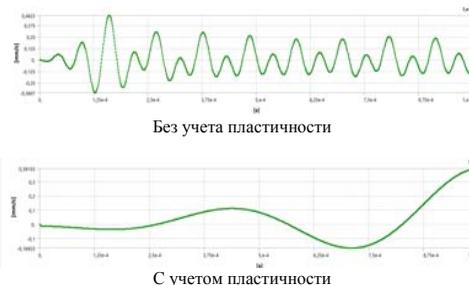


Рис. 2. Изменение во времени величины горизонтальной компоненты скорости в точке на расстоянии 1 метр вглубь массива от точки приложения силы

В результате выполнения настоящей работы можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Построена математическая модель, адекватно описывающая явление относительного затухания высокочастотных колебаний при распространении возмущения от точечного источника.

2. Исследовано относительное затухание высокочастотных колебаний малой амплитуды в условиях напряженно-деформированного состояния в борту одиночной выработки. Показано существенное влияние диссипативного поведения материала на характер затухания колебательного процесса.

Список литературы

1. Влияние взрывных работ разреза «Заречный» на капитальные горные выработки шахты «Талдинская-Западная-2» / Менжулин М.Г., Афанасьев П.И., Коршунов Г.И., Щипачев А.С. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. Т.2. С.591-596

2. Analysis of quarry-blast-induced ground vibrations to mitigate their adverse effects on nearby structures / O. Erten, G. Konak, M.S. Kizil, A.H. Onur, D. Karakas // International Journal of Mining and Mineral Engineering. – 2009. – V.1. – №4. – P.313-326.

3. Bernardo G. Advancements in shotcrete technology. / Bernardo G., Guida A., Mecca I. // Conference: STREMAN. 2015. Pp. 591-602. DOI: 10.2495/STR150491

4. Проблемы обеспечения сейсмической безопасности при строительстве транспортных тоннелей / Холодилев А.Н., Гендлер С.Г., Виноградова Е.Ю., Шилиев А.С. // Записки Горного института. 2007. Т. 171. С. 229-232. ISSN 0135-3500.

5. Development of a model for predicting the dynamic effect on the stability of rock excavation / Karasev M.A., Sotnikov R.O., Sinegubov V.U., Egorova N.A., Makarov K.V., Thorikov A.I. // Journal of Physics: Conference Series. 2019. №1. pp. 1230-1236 DOI:10.1088/1742-6596/1384/1/012051

6. Эквист, Б.В. Повышение безопасности короткозамедленного взрывания / Б.В. Эквист – Текст: непосредственный // ГИАБ. – 2017. – № 5. – С.389–394.

НАКОПЛЕНИЕ И МАССОПЕРЕНОС МЕТАНА В ГЕОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЗОНАХ

Стариков Г.П., Мельник Т.Н., Подрухин А.А.

ГУ ИФГП, г. Донецк, ДНР

Распределение метана в горных породах не имеет четких закономерностей. Практика геологоразведочных работ на уголь показывает, что в ряде случаев происходит значительное газовыделение из скважин, иногда с катастрофическими последствиями. Горными выработками часто раскрывались отдельные ловушки, газ из которых выделялся на

протяжении длительного периода времени. Коллекторами выступает поровое или трещинно-поровое пространство [1]. Объяснение факта повышенного газовыделения на поверхности над геодинамическими зонами можно получить на основании описания причин накопления газа в зонах геологических нарушений [2, 3].

Выделение метана в геодинамической зоне можно представить как диффузию по макроскопическому каналу (границе геологического нарушения), заключенному внутри породы с меньшей газопроницаемостью. Ширина зоны существенно повышенного газовыделения составляет около 20-30 м [3], а длина канала h может достигать нескольких сотен метров. Коэффициент диффузии удобно заменить его эффективным аналогом, не уточняя конкретный механизм диффузионного и фильтрационного массопереноса:

$$D_f = \frac{1}{h} D_f(x) dx, \quad D_f = \frac{\kappa}{\mu} P \quad (1)$$

где κ – коэффициент проницаемости породы (m^2), μ – динамическая вязкость метана (Па·с), P – давление метана в газосодержащем пласте, которое будем считать постоянным (ввиду относительно малого сечения газопроводящего канала). Как показывают расчеты и шахтные эксперименты, величина P может достигать 30 атм и увеличиваться на 10-20% в потенциально выбросоопасных зонах [1].

В силу естественных или техногенных подвижек породы может сформироваться новый канал массопереноса, соединяющий зону, не подвергавшуюся ранее дегазации и в силу структурных (повышенная пористость) или прочностных факторов (пониженные модули упругости, иной тип породы и т. п.) накопившую избыточное количество метана, с поверхностью. Для решения данной задачи можно использовать развитый математический аппарат, описывающий диффузию атомов по границам зерен, в частности, модель Фишера.

При диффузионном отжиге материал диффундирует вдоль оси u в объем зерна, а также вдоль его границы. Поскольку предполагается, что коэффициент зернограницной диффузии D_b много больше, чем в объеме кристалла D , диффузانت проникает по границе выше, чем в других местах (коэффициенты диффузии полагаем изотропными и постоянными). Именно поэтому начинается объемная диффузия вещества в двух стенок границы зерен в окружающие кристаллы. В рассматриваемой нами ситуации метан быстрее поднимается по газопроводящему каналу в геодинамической зоне и при этом через стенки канала проникает в окружающую породу, характеризующуюся меньшей газопрони-

чаемостью. Поскольку $D \ll D_b$, прямой вклад диффузии с поверхности $y=0$ убывает быстрее, чем вклад массопереноса по каналу. Ширину и длину канала обозначим соответственно δ и h , причем $\delta \ll h$.

Основой для решения данной задачи является система диффузионных уравнений

$$\frac{\partial c_b(x, y, t)}{\partial t} = D_b \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) \quad \text{при } x \leq \frac{\delta}{2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial c(x, y, t)}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) \quad \text{при } x \geq \frac{\delta}{2} \quad (3)$$

с граничным условием

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_b \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{D}{2\delta} \frac{\partial c}{\partial x} \Big|_{|x| \leq \frac{\delta}{2}} \quad (4)$$

Начальные и граничные условия на бесконечности имеют вид

$$c(x, 0, t) = c_0 H(t), \quad c(x, y, 0) = 0 \quad \text{при } y > 0, \quad c(x, \infty, t) = 0 \quad (5)$$

где $c(x, y, t)$ – концентрация в произвольной точке углепородного массива, c_0 – константа, имеющая размерность объемной плотности, а $H(t)$ – единичная функция Хевисайда. Поскольку для соотношения результатов расчета с экспериментальными данными нам необходимо знать, в основном, концентрацию метана вблизи поверхности, на глубине порядка метра, то в граничных условиях $c_b \rightarrow 0$ при $y \rightarrow \infty$, концентрация диффузанта в канале равна

$$c_b(h, t) = c_0 \exp \left(- \frac{\sqrt{2} D^{1/4} h}{(\pi t)^{1/4} (\delta D_b)^{1/2}} \right) \quad (6)$$

$$c(x, h, t) = c_0 \exp \left(- \frac{\sqrt{2} D^{1/4} h}{(\pi t)^{1/4} (\delta D_b)^{1/2}} \right) \operatorname{erf} \left(\frac{h}{2\sqrt{Dt}} \right) \quad (7)$$

Давление газа, выходящего на поверхность (или поступающего в датчик):

$$P_s(t) = \frac{P}{\gamma h} \exp \left(- \frac{\sqrt{2} D^{1/4} h}{(\pi t)^{1/4} (\delta D_b)^{1/2}} \right) \quad (8)$$

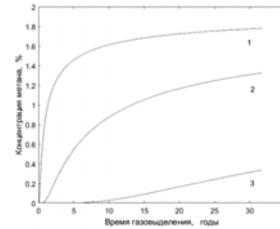


Рис. 1. Газовыделение в геодинамической зоне при различной проницаемости пород: $h=700$ м, $\gamma=0,15$, $\mu=1,14 \cdot 10^{-5}$ Па·с, $P=3 \cdot 10^5$ Па; $1 - \kappa=10^{-12}$ м², $2 - \kappa=10^{-13}$ м², $3 - \kappa=10^{-14}$ м²

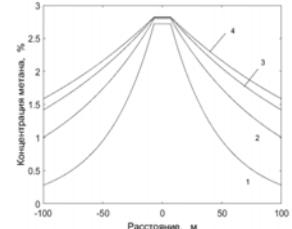


Рис. 2. Распределение метана в окрестности геодинамической зоны ($h=700$ м, $D=10^{-7}$ м²/с, $D_b=10^{-3}$ м²/с): $1 -$ через 1 час от момента, когда поток метана на поверхности геодинамической зоны становится стационарным, $2 - 1$ сутки, $3 - 5$ суток, $4 - 10$ суток

Контроль выделения метана на поверхности геодинамических зон может являться эффективным средством для определения участков, где метан может, во-первых, локально накапливаться в количествах, превышающих средние значения в углепородных пластах в данной местности и, во-вторых, проникать в здания и сооружения на поверхности, создавая угрозу накопления газа до уровня взрывоопасных концентраций. Расчеты показывают возможность оценки содержания метана на глубине по уровню поверхностного газовыделения.

Список литературы

1. Алексеев, А.Д. Физика угля и горных процессов / А.Д. Алексеев. – К.: Наукова думка, 2010. – 423 с.
2. Стариков, Г.П. Методические основы определения времени формирования опасных концентраций метана в замкнутых объемах, расположенных на территории закрытых шахт / Г.П. Стариков, А.А. Подрухин, Э.В. Борисенко // Труды РАНИМИ: сб. науч. трудов. – 2018. – № 5 (20). – С. 128–144.
3. Сергиенко, А.И. Графоаналитический способ определения границ распространения геодинамических зон на земной поверхности в пределах горных отводов закрытых шахт / Сб.: Физико-технические проблемы горного производства / А.И. Сергиенко, А.А. Подрухин // Вып. №13. Под общей редакцией А.Д. Алексеева. – Донецк: ИФГП НАНУ, 2010. – С. 128-135.

РАДОНОМЕТРИЯ КАК ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И МЕСТ СКОПЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ

Шалованов О.Л., Бородин Д.С., Салий С.Г.

*Республиканский академический научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт горной геологии,
геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИИМ),
г. Донецк, МОН ДНР*

Современные геодинамические процессы, происходящие в Донбассе, вызываются движениями массива горных пород в результате подработки. Данные явления неблагоприятно влияют на состояние зданий и сооружений на земной поверхности. Современное представление о радоне имеет неоднозначное мнение. Однако, многие из исследований, проведенных по радонометрии, сходят к единому мнению, что радон можно считать одним из косвенных признаков геодинамической активности массива горных пород. В статье выполнен краткий анализ современных методов мониторинга радоновыделения, применяемых для изучения современного структурно-геодинамического состояния массивов горных пород.

Как известно, радон – химически инертный газ, источник альфа-излучения, в 7,5 раз тяжелее атмосферного воздуха. Образуется в процессе распада U^{238} и Th^{232} . Наиболее стабильный изотоп (^{222}Rn) имеет период полураспада 3,8 суток. Генерация и накопление его в горных породах происходит непрерывно. Радоновое поле в каждой точке геологического пространства характеризуется определенными значениями объемной активности радона (ОАР) в поровом воздухе и плотности потока радона (ППР) [1-3].

Геодинамически активные разрывные тектонические структуры вызывают аномалии объемной активности радона в почвенном воздухе. Проницаемость тектонических разрывов зависит от степени их геодинамической активности, так как активизация современных геодинамических процессов препятствует процессу «залечивания» трещин разрывного нарушения [2, 3]. Радонометрия как метод исследований геодинамических и сейсмических явлений широко применяется в странах бывшего СНГ и за рубежом (Россия, Украина, Беларусь, США и др.) [3-7, 9, 10].

Далатаказиным Т.Ш. выполнены исследования по выявлению геодинамически активных зон горного массива Грибного месторождения нефти [2]. В результате автором были получены следующие результаты:

1) относительное превышение величины объемной активности радона в почвенном воздухе надразломных участков прямо пропорционально амплитудам и частотам циклических геодинамических движений;

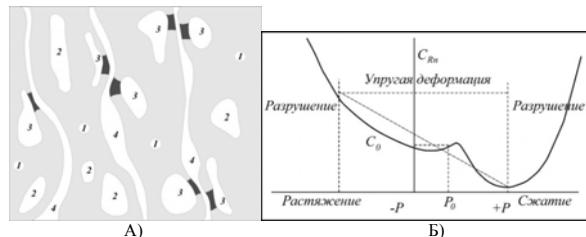
2) установлен неравномерный характер распределения поля радоновых эманаций в пределах разрывных структур в соответствии с современной геодинамической активностью;

3) проведенные исследования подтвердили возможность эффективного использования радонометрии на территориях с мощным чехлом осадочных пород для решения задач геодинамического структурирования.

Исследованиями Уткина В. И. и Юркова А. К. [3] создана модель трещиновато-пористой среды и построен график зависимости концентрации радона от давления в горном массиве. Выявленные закономерности также подтверждают эффективность использования радонометрии в качестве метода регистрации активизации геодинамических процессов (рис. 1). График изменения концентрации радона от величины давления показывает то, что при увеличении давления выход радона изменяется неравномерно. Сначала с нарастанием давления трещины перекрываются и выход радона нелинейно уменьшается. Далее при увеличении нагрузки происходит разрушение массива, ломаются слабые перемычки между порами и выделение радона существенно увеличивается.

Что касается Донбасса, то изучение радона применялось в составе методов СГДК (метод структурно-геодинамического картирования) и СТАГИ (метод структурно-атмо-геохимических исследований) для картирования выходов разрывных нарушений под покровные отложения [4-6].

В процессе применения метода СГДК авторами делался упор на изучение покровных отложений в качестве источника информации о геодинамических процессах, происходящих в тектонических структурах горного массива.



- 1 – скелет (основание) горной породы; 2 – изолированные поры;
3 – разрушающиеся поры при изменении давления; 4 – трещины

Рис. 1. Модель трещиновато-пористой среды (а) и качественная характеристика изменения концентрации радона (C_{Rn}) в горной породе при изменении внешней нагрузки (Р) (б)по Уткину В. И [3]

Одним из примеров использования радонометрии в Донбассе для картирования геодинамических зон, а также мест скопления углеводородов – работа Багрия И.Д. [7]. Объект исследования – поле шахты им. А.Ф. Засядько. На участке применялся комплекс методов структурно-атмо-геохимических исследований (СТАГИ) с целью поиска перспективных мест газовых скоплений в Донбассе

Авторами получены следующие результаты: 1. Были выделены наиболее области с наиболее интенсивными аномалиями радона (западной, юго-западной и северной частях участка «Северный»). Одна из локальных интенсивных аномалий радона находится на продолжении 18 западного конвейерного штрека по пласту m_3 , где в 2009 г. произошел внезапный выброс газа, угля и породы. 2. Авторы отмечают тот факт, что радон имеет субширотное распространение, что совпадает с простиранием линиамента по данным дешифровки космоснимка (см. рис. 2).



1 – изолинии содержания показателя содержания радона, Bq/m^3 ; 2 – граница Северного участка; 3 – пункты наблюдений; 4 – пункты наблюдения, где показатель превышает среднее $+3S$; 5 – линиаменты; 6 – скважины и их номера; 7 – горные работы по пласту m_3 ; а) граница отработавшей части пласта, б) проходка по состоянию на 05.2009 г. 18 западного конвейерного штрека пласта m_3 , в) разрывные нарушения и зоны трещиноватости по результатам проходки и по результатам бурения скважины № 3985, г) места внезапных выбросов газа, угля и пород; 8 – условные обозначения из плана горных работ по пласту p_1 шахты «Бутовка»: а) ожидаемый надвиг, б) зоны ликвидированных пожаров, в) места взрыва газа.

Рис.2. Схема распределения показателей содержания радона в подпочвенном воздухе на Северном участке поля шахты им. А.Ф. Засядько [7]

Из анализа литературных источников, можно сделать вывод, что измерение концентраций радона позволяют оценить как современную геодинамику, так и прогнозировать возможные места скоплений углеводородных газов на шахтных полях в зонах разрывных нарушений.

Таким образом, метод регистрации радоновыделения может быть в перспективе с успехом использован в условиях Донбасса для решения следующих задач:

- выявления участков современной активности тектонических нарушений;
- выявления зон трещиноватости и разуплотнения горных пород, для оценки возможных путей углеводородов.

Список литературы

1. Кременев О. Г. Методика контроля радоновыделения на ликвидируемых угольных шахтах / О. Г. Кременев // Материалы 5-й международной научно-практической конференции. Том 1. Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве. – Донецк, 2019. – С. 34-38.
2. Далатказин Т. Ш. Использование радонометрии при изучении современной геодинамики на территориях перекрытых мощным чехлом осадочных пород для решения задачи обеспечения безопасной эксплуатации объектов недропользования / Т. Ш. Далатказин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2011. – С. 97-100.
3. Уткин В. И. Радон как индикатор геодинамических процессов / В. И. Уткин, А. К. Юрков // Геология и геофизика, 2010, т. 51, № 2. – С. 277-286.
4. Панов Б. С. Опыт применения структурно-геодинамического картирования для изучения рудоносных тектонически активных разломов Б.С. Панов, Е.П. Тахтамиров, Ю.С. Рябштан, В.И. Алехин – Осадочные породы и руды, – Киев: Наукова думка, 1980.
5. Савченко А. В. Основы изучения геодинамического строения горного массива территорий расположения шламонакопителей / А.В. Савченко, О.В. Савченко, Г.А. Петенко, В.В. Туманов., М.Ю. Богак // Горная геология, геомеханика и маркшейдерия. Сборник научных докладов, том 1. Донецк: УкрНИИМИ НАН Украины, 2004. – С. 257-261.
6. Савченко А. В. Применение структурно-геодинамического картирования горного массива для обеспечения безопасности гидротехнических сооружений / В.В. Кульченко, Г.А. Петенко, О.В. Савченко, А.Н. Хромов // Горная геология, геомеханика и маркшейдерия. Сборник научных докладов, том 1. Донецк: УкрНИИМИ НАН Украины, 2004. С. 234-237.
7. Багрий И.Д. Прогнозування геодинамічних зон та перспективних площ на видобування шахтного метану вугільних родовищ Донбасу / І.Д. Багрій, П.Ф. Гожик, В.І. Почтаренко, С.Д. Аксьом, В.Р. Дубосарський, І.С. Мамишев, А.М. Кізлат, В.М. Палій. – К.: Фоліант, 2011. – 236 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ УГЛЯ СПОСОБОМ ОДНООСНОГО СЖАТИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ

Стариков Г.П.¹, Мельник Т.Н.², Нескреба Д.А.¹

¹ ГП «Институт физики горных процессов», ДНР

² ГП «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», ДНР

Оценка механических свойств каменного угля является крайне актуальной и важной задачей [1]. Хрупкость угля зачастую не позволяет в точности соблюсти требования к подготовке образцов для испытаний на прочность согласно ГОСТ. Поэтому представляется целесообразным разработать метод определения прочности угольного вещества, который позволит тестировать раздробленные образцы малых размеров и получать данные о механических характеристиках массива в целом. Для решения поставленной задачи были проведены исследования по одноосному деформированию диспергированного угля, образовавшегося после разрушения исходного образца [2]. Использовался уголь марки Ж с шахты им. А.А. Скочинского.

Был отобран уголь в виде трех фракций с диаметром гранул 0,4–0,5 мм, 2–2,5 мм и 5 мм, навеской по 35 г. Фракции поочередно засыпались в контейнер высокого давления, который устанавливался на пресс с регистрирующей аппаратурой. Результаты измерений дали возможность построить графики нагрузка–относительная деформация для каждой из фракций (рис.1). Далее для более удобной обработки данных применялась их экспоненциальная и логарифмическая аппроксимация.

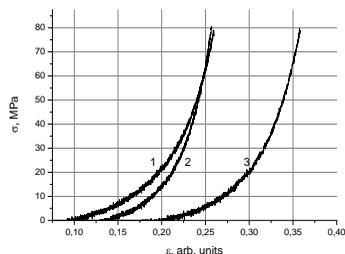


Рис.1. Экспериментальные кривые нагрузка–относительная деформация для ненарушенного угля фракцией, мм: 1–0,4, 2– 2,5, 3 – 5

В [3] теоретически доказано, что анализ хода нагружения гранулированного материала позволяет судить о прочности материала гранул. Более того [4], предел прочности σ , определяемый согласно ГОСТ при одноосном сжатии куба, связан с прочностью угля в пласте σ_l простым соотношением $\sigma_l = 0,7\sigma_c$, что позволяет связать с определяемым в лаборатории σ_c скорость нарастания напряжений по мере удаления от края пласта $k_c \sim \sigma_c$. Соответственно, зная скорость нарастания, можно определить среднее давление в пласте и его максимальное значение, равное коэффициенту формы пласта, т.е. отношению средних нормальных напряжений к пределу прочности на одноосное сжатие. А следовательно, устанавливается прямая связь между лабораторно определяемыми прочностными свойствами фрагментированного угля и параметрами напряженного состояния конкретного угольного пласта, что представляется крайне важным с точки зрения прогнозирования выбросов и обеспечения безопасности горных работ.

Модель Торре [5] предоставляет прямую зависимость между давлением прессования и пределом текучести материала

$$P = 2\sigma_l \ln \frac{\gamma_0}{\gamma} \quad (1)$$

где σ_l – предел текучести, а γ_0 и γ – начальная и текущая пористость прессовки. В случае прессования угля, предел текучести можно считать совпадающим с пределом прочности. На начальной стадии сжатия угол наклона аппроксимирующей логарифмической кривой, который собственно и представляет интерес для оценки предела прочности, практически совпадает с углом наклона экспериментального графика. Предел прочности, рассчитанный в рамках данной модели, составил 3,4 МПа для фракции размером 0,5 мм, 6,8 МПа – для фракции 2,5 мм и 2,9 МПа для 5 мм.

Однако особый интерес для анализа и последующего определения прочности [2] представила собой зависимость разности деформации порошков, состоящих из гранул угля разного размера при одном и том же нагружении (рис. 2). Видно, что начиная с некоторой величины нагружения, разность деформаций становится практически постоянной. По-видимому, данный факт связан с тем, что здесь уже произошло интенсивное разрушение частиц и влияние их размера на деформационные кривые мало. Однако на начальной стадии нагружения, до 20 МПа, данные кривые имеют более выраженную зависимость от нагрузки. При дифференцировании данных кривых оказывается, что их угол наклона

существенно изменяется при давлении порядка 3 МПа. На кривой 2, соответствующей наибольшей разнице в размерах гранул, 0,5 и 5 мм, в данной точке даже наблюдается максимум. Соответственно, можно считать, что здесь меняется характер происходящих процессов, и данную точку можно считать пределом прочности материала гранул, выше которой происходит массовое их разрушение.

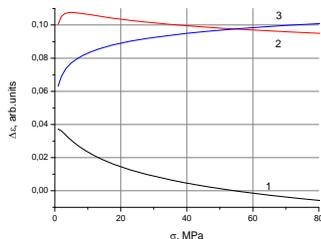


Рис.2. Разность деформаций при одной и той же нагрузке на уголь с фракциями разного размера: 1 – 2.5 и 0.4 – 0.5 мм, 2 – 5 и 0.4–0.5 мм, 3 – 5 и 2.5 мм

Таким образом, обработка и анализ экспериментальных кривых по одноосному сжатию угля в виде фракций с различным размером частиц представляется удобным методом определения прочности угля, который не предусматривает сложной процедуры подготовки образца строго определенной формы и размера. Значение предела прочности определяется по изменению угла наклона кривых разности деформации гранул разных размеров при одном и том же нагружении в его начальной стадии. Параметры прочности, определенные таким способом, находятся в хорошем соответствии с результатами оценок другими методами. В дальнейшем полученные результаты могут быть использованы для расчета распределения напряжений в конкретном угольном пласте и прогнозирования поведения пласта с точки зрения обеспечения безопасности горных работ.

Список литературы

1. Алексеев, А.Д. Физика угля и горных процессов. – К.: Наукова думка, 2010. – 423 с.
2. Стариков Г.П., Мельник Т.Н., Нескреба Д.А. Определение прочности диспергированных горных пород // ФТВД. – 2020. – Т.30, № 4. – С.83-92.

3. Жданович, Г.М. Теория прессования металлических порошков. – М.: Металлургия, 1969. – 264 с.
4. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. – М.: Недра, 1983. – 280 с.
5. Torre, C. Theorie und Verhalten der zusammengespresten Pulver // Berg und Huttenmannische monatsh. – 1948. – № 93. – P. 62-67.

ПРОГНОЗ ОЧАГОВ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ ПО СООТНОШЕНИЮ ДИФфуЗИОННОЙ И ФИЛЬТРАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОТОКА МЕТАНА ИЗ УГЛЯ

Стариков Г.П.¹, Мельник Т.Н.², Хашеватская Н.В.¹,
Шажко Я.В.¹, Кравченко А.В.¹

¹ ГУ «Институт физики горных процессов», г. Донецк, ДНР

² ГУ «ДонФТИ им. А.А.Галкина», г. Донецк, ДНР

Описание процесса переноса метана в угле, направленное в первую очередь на достоверное отображение формирования очагов выбросов угля и газа, требует вовлечения большого числа термодинамических и физико-механических параметров.

Ключевым параметром, характеризующим скорость переноса и накопления метана, является коэффициент диффузии. Призобойная часть угольного массива находится в условиях предельного напряженного состояния [1,2]. В момент разрушения или при взрывных работах, вызывающих ударную адиабату, энергия формоизменения затрачивается на прирост трещиновато-пористой структуры системы уголь-газ. Изменяется и эффективная энергии активации массопереноса, который включает в себя одновременно протекающие процессы диффузии в твердом теле и кнудсеновской и молекулярной фильтрации по каналам и трещинам.

Эволюцию локального повышения температуры, эквивалентной энергии формоизменения, можно описать при помощи фундаментального решения уравнения теплопроводности. Если температура повышена в некоторой области $x_1 < x < x_2$, то ее изменение описывается как

$$T(x, t) = \frac{T_{off}}{2} \left[\Phi \left(\frac{x - x_1}{2\sqrt{D_{heat} t}} \right) - \Phi \left(\frac{x - x_2}{2\sqrt{D_{heat} t}} \right) \right] \quad (1)$$

где $\Phi(z)$ – интеграл вероятностей, T_{off} – температура в момент ее повышения (т.е. разгрузки пласта), x – расстояние от точки повышения температуры x_0 , D_{heat} – коэффициент температуропроводности угля. Релаксация коэффициента кнудсеновской диффузии будет происходить по закону $D_f = (D_{heat}t)^{-1/4}$, молекулярной диффузии $D_f = (D_{heat}t)^{-3/4}$. Коэффициент твердотельной диффузии будет зависеть от времени как

$$D(t) = D_0 \exp\left(-\frac{2\sqrt{\pi}E_a\sqrt{D_{heat}t}}{RT_{off}L}\right) \quad (2)$$

В момент локального повышения эффективной температуры разгрузки или прохождения ударной волны характеристики твердотельной диффузии приближаются к фильтрационным. Соотношение времен затухания обеих компонент в неопасном по выбросам состоянии $t_f/t_d = 0.063$, а при приближении очистной выемки к очагу выброса становится равным $t_f/t_d = 0.56$. Увеличение соотношения времен затухания диффузионной и фильтрационной составляющих коэффициента эффективной диффузии может быть критерием приближения к очагу выброса, как и изменение на два порядка предэкспоненциального множителя второй компоненты, определяющей степень снижения энергии активации диффузии метана из угля – $D_f \cdot D_a$.

Изучение экспериментальных временных зависимостей эффективного коэффициента диффузии, и их экспоненциальная интерполяция позволяют выделить компоненты, которые по величине и скорости затухания могут быть поставлены в соответствие фильтрационной и твердотельной составляющим. Первая компонента имеет предэкспоненциальный множитель, остающийся практически неизменным у угля из очага выброса $D_{эф} = 6 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$. Вторая компонента, измеренная при отсутствии признаков газодинамической активности призабойной зоны пласта, имеет предэкспоненциальный множитель, меньший первого в 20 раз, но при приближении к очагу выброса угля и газа коэффициент эффективной диффузии меняется с $3 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ до $10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$.

На рисунках 1, 2 представлены зависимости коэффициента диффузии метана в угле от времени. Рис.1, кривая 1, представляет собой результат измерений диффузии из угольного штыва, отобранного при бурении скважины в конвейерном штреке 3 западной лавы пласта h_6 в отсутствие опасности выброса. Иная картина наблюдалась в угольном массиве того же пласта за 48 часов непосредственно перед выбросом мощностью 960 т., происшедшего 06.06.2010 г. (рис.2).

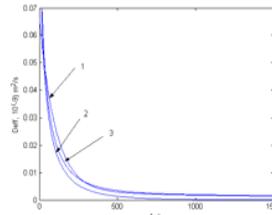


Рис. 1. Эффективный коэффициент диффузии метана в угольном веществе при отсутствии опасности выброса. 1 – эксперимент, 2 – расчет коэффициента твердотельной диффузии, 3 – эффективный коэффициент диффузии с учетом фильтрационного вклада

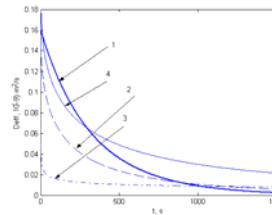


Рис. 2. Эффективный коэффициент диффузии метана при опасности выброса. 1 – эксперимент, 2 – расчет коэффициента твердотельной диффузии, 3 – коэффициент диффузии с учетом фильтрационного вклада, 4 – эффективный коэффициент диффузии с учетом фильтрационного вклада

Горно-экспериментальные исследования по оценке достоверности теоретических и лабораторных результатов включали бурение разведочных скважин диаметром 42 мм на глубину до 6 м с интервалом отбора угольных проб через 1,0 м, измерения параметров диффузии метана в угле измерителем ШИММ, определение энергии активации десорбции воды и метана при температурах 50-350°C. Результаты подтвердили обоснованность теоретических выводов о возможности использования зависимости кинетики степени изменения эффективной диффузии активируемой локальной температурой эквивалентной энергии формоизменения, для прогноза очагов геологических нарушений угольных пластов и степени их газодинамической активности.

Критерий, характеризующий категорию выбросоопасности рассчитывается по формуле $B_1 = D_f / D_d$. При значении $B_1 < 5$ – пласт особо выбросоопасный; $B_1 \geq 5 \leq 10$ – выбросоопасный; $B_1 \geq 10 \leq 15$ – угрожаемый.

Критерий, характеризующий степень газодинамической активности рассчитывается как $B_2 = \tau_f / \tau_d$. При значении $B_2 \geq 5$ – на любом интервале бурения прогнозируется очаги выброса угля и газа; $B_2 \leq 0,25$ – прогнозируется выбросоопасная зона; $B_2 \leq 0,1$ – невыбросоопасная зона.

Таким образом, теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены критерии, определяющие категорию зон геологических нарушений пластов и степень их газодинамической активности, основан-

ные на закономерностях изменения кинетики эффективной диффузии метана в угле. Установлены параметры способа прогноза выбросоопасности угольных пластов и методики измерения параметров массопереноса метана в угле.

Список литературы

1. Физико-химия газодинамических явлений в шахтах / В.В. Ходот, М.Ф. Яновская, Ю.С. Пресмыслер [и др.]. – Москва: Наука, 1972, – 138 с.
2. Алексеев А.Д. Фазовые состояния и кинетика десорбции метана из угля / А.Д. Алексеев, В.А. Васильковский, Н.А. Калугина // Геотехническая механика: міжвід. зб. наук. праць / Ін-т Геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, – 2006. – Вип. 67. – С. 32-38.
3. Иванов Б.М., Хайфец А.Г., Аюров В.Д. Анализ результатов промышленных испытаний автоматизированного способа прогноза выбросоопасных зон угольных пластов // Вопросы предотвращения внезапных выбросов: Научн. сообщ. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1987. – С. 46-49.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОГЕННО ИЗМЕНЕННОГО МАССИВА^{*}

Косырева М.А.¹, Еременко В.А.¹, Сухорукова М.А.¹, Шерматова С.С.²

¹Горный институт НИТУ «МИСиС», г. Москва, Россия

²Инженерная академия РУДН, г. Москва, Россия

Горные породы обладают такими свойствами, как пределы прочности на сжатие и растяжение, модуль упругости, трещиноватость и многими другими. У массива предела прочности на сжатие нет, а у породы – есть. В целом массив суммарно обладает всеми свойствами горных пород, из которых состоит. Из вышеказанного может вытекать количественный подход к оценке состояния и свойств массива, а также его нарушенности. Как литосферный объект массив и его нарушенность должны описываться суммой следствий. Нарушенность – это не трещиноватость, а вот породы могут быть трещиноватыми. Нарушенность – это оценка этой трещиноватости в пределах массива.

^{*} Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-17-00034)

Для количественной оценки состояния техногенно измененного массива горных пород предлагается измеренные значения параметров, полученных с использованием акустических, геофизических, деформационных и др. методов, превратить в безразмерные показатели путем отношения измеренных (измененных) значений к параметрам ненарушенного массива. Сумма этих безразмерных показателей будет являться характеристикой массива.

Если в зоне влияния горных работ регистрируются изменения напряжений относительно исходного напряженного состояния, то при количественной оценке необходимо учитывать и соотношение напряжений.

Сравнение безразмерных показателей может определить темп изменения состояния массива. Безразмерные величины можно объединять в интегральный показатель. При этом количественные показатели необходимо классифицировать.

Идея состоит в том, что сумма этих свойств и будет свойством техногенно измененного массива – интегральный показатель свойств пород, слагающих техногенно измененный массив. Отклонение от исходного состояния нетронутого массива – это и есть параметр техногенного изменения состояния массива GD (grounddeterioration). Устойчивость массива RMS (rockmassstability) можно определить:

$$RMS = 1 + GD \quad (1)$$

$$GD = \sum_{i=1}^k n_i \quad (2)$$

$$n_i = \begin{cases} 0, & \text{если } n_i^u = n_i^0 \\ \frac{n_i^u}{n_i^0}, & \text{если } n_i^u \neq n_i^0 \end{cases}, \quad (3)$$

где n_i – показатель техногенного изменения различных свойств массива, n_i^0 – показатель нетронутого массива, n_i^u – показатель измененного массива, k – число показателей техногенного изменения различных свойств массива.

Если показатель n_i имеет негативное влияние на устойчивость массива, то в (2) он входит со знаком «-», если положительное – «+».

Если $GD = 0, \text{ то } RMS = 1$. Таким образом, показатель устойчивости нетронутого массива $RMS = 1$.

Следует отметить, что устойчивость техногенно измененного массива горных пород может быть $RMS < 1$, в том числе с отрицательным знаком, если замеренные величины выше исходных и имеют негативное влияние на устойчивость массива. $RMS > 1$ – показатель устойчивости массива, а $RMS < 1$ характеризуют его неустойчивость. Чем выше abs

(RMS) в обоих случаях, тем массив более устойчив или неустойчив соответственно.

Параметры техногенно измененных свойств массива могут включать все значения n_i , которые экспериментально исследуются и регистрируются, например, физико-механические и сейсмоакустические свойства горных пород, электросопротивление массива, качество породного массива (индекс Q, рейтинг RMR и др.), напряжения, деформации и многие известные другие параметры.

Устойчивость техногенно измененного массива RMS в условиях ведения горных работ на исследуемом участке изменяется со временем: как правило, снижается.

В качестве примера приведем расчет устойчивости массива RMS для условий ведения подземных горных работ на одном из разрабатываемых участков Таштагольского месторождения. В исходном поле геомеханическим методом по дискованию ядра регистрируется максимальное напряжение $n_1^0 = \sigma_1 = 25$ МПа, а в условиях ведения горных работ во вторичном поле – $n_1^u = \sigma_{max} = 35$ МПа, следовательно, $n_1 = -1,4$. По наблюдениям за развитием деформационных процессов методами глубинных и контурных реперов, а также оптической съемке стенок скважин в условиях ведения горных работ определены максимальные микродеформации во вторичном поле $n_2^u = \epsilon_\mu = 850$; в исходном состоянии $n_2^0 = \epsilon_\mu = 150$ (что подтверждается результатами численного моделирования), соответственно, $n_2 = -5,66$. Методом оценки степени удароопасности массива горных пород по регистрации естественного электромагнитного излучения прибором «ANGEL-M» на рассматриваемом участке в исходном поле определяется амплитуда импульсов $n_3^0 = A = 11$ мкВ; в условиях ведения горных работ $n_3^u = A = 40$ мкВ, $n_3 = -3,63$. На основе микросейсмических наблюдений с использованием прибора «Сапфир» регистрируется средняя активность массива $n_4^0 = N_{a1} = 2$ импульса за 15 сек; в условиях ведения горных работ $n_4^u = N_{a1} = 12$ импульсов за 15 сек, $n_4 = -6,00$. На основе оценки степени удароопасности массива горных пород электрометрическим методом в исходном поле электросопротивление массива $n_5^0 = \bar{\rho}_1 = 400$ Ом/м, а в условиях ведения горных работ $n_5^u = \bar{\rho}_2 = 300$ Ом/м, $n_5 = -0,75$.

Подставляем полученные значения в формулу (1) и получаем количественную оценку техногенно измененного массива горных пород по пяти показателям: $RMS = 1 + GR = 1 + \sum_{i=1}^5 n_i = 1 - 1,4 - 5,66 - 3,63 - 6 - 0,75 = -16,44$. Т.к. $RMS < 1$, техногенно измененный массив неустойчив.

Следует отметить, что при проведении дальнейших экспериментальных исследований необходимо классифицировать количественные параметры RMS и разбить их значения на классы и категории устойчивости.

Необходимо понятие «техногенно измененные недра» и «вторичное поле напряжений» наполнить содержанием. Например, «техногенно измененный массив горных пород»: где его начало и конец? Начало – это выработка. Часть литосферы, участок техногенно измененных недр – это и есть массив. В этом объеме есть участок полного разрушения, где ведутся горные работы. Есть также участок изменения свойств массива, геофизический экотон [1-3]. На его внешней границе заканчиваются техногенно измененные недра и начинается исходное состояние литосферы, и на этой же границе заканчивается техногенно измененный массив. Соответственно, техногенно измененный массив – это та часть литосферы, свойства которой изменены в результате ведения горных работ. Он может иметь разную форму, размеры, свойства и пр. И всегда у него есть граница, где $RMS = 1$, т.е. часть литосферы с измененными свойствами переходят в исходное состояние литосферы. Внутри участка техногенно измененных недр есть зона полного разрушения (зона горных работ), где используются, например, крепь или искусственные целики. Это зона, где свойства литосферы обнуляются. В ней нет свойств литосферы или массива, есть только свойства горных пород. Далее за этой зоной начинается зона перехода свойств. Т.е. разрушением порождается изменение геомеханического состояния массива и появляется зона, где возникают измененные свойства массива в отличие от его исходного состояния, соответственно, до границы участка техногенно измененных недр или горного массива. Зона перехода свойств – это техногенно измененный массив. Например, в условиях применения систем с обрушением руды, зона перехода свойств значительна по размерам и ее граница формируется за пределами зоны обрушения руды и вмещающих пород.

Предложен новый подход к количественной оценке устойчивости техногенно измененного массива и показатель RMS, отражающий степень изменения его состояния в процессе ведения горных работ в условиях применения систем разработки различного класса.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Мясков А.В., Галченко Ю.П., Еременко В.А. Обоснование и создание конвергентных горных технологий подземной разработки мощных месторождений твердых полезных ископаемых // Горный журнал. – №5. – 2019. – С. 6-13.

2. Galchenko Yu.P., Eremenko V.A., Kosyeva M.A., Vysotin N.G. Features of secondary stress field formation under anthropogenic change in subsoil during underground mineral mining // Eurasian Mining. – 2020. – № 1. – pp. 9-13.

3. Еременко В.А., Галченко Ю.П., Косырева М.А. Оценка влияния геометрических параметров традиционно применяемых природоподобных систем подземной разработки рудных месторождений на исходное поле напряжений// Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2020. — № 3. — pp. 98-109.

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В КВАРЦЕСОДЕРЖАЩИХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ ПРИ ДЕФОРМАЦИЯХ В НАКОВАЛЬНЕ БРИДЖМЕНА

Стариков Г.П., Шатохин С.В., Корвякова Н.П.

При деформировании горной породы изменяется как термодинамический потенциал, так и уровни энергии образования различных дефектов; возникают термодинамические благоприятные условия для образования различных типов дефектов и их кооперативного взаимодействия. Наличие большого количества структурных дефектов, существенным образом влияет на физико-механические свойства твердых тел.

Цель настоящей работы – исследовать поведение кварцесодержащих горных пород при их деформации в наковальне Бриджмена

Объект исследования – процесс воздействия на структуру образца песчано-глинистого сланца кручения под давлением в наковальне Бриджмена.

Предмет исследования – закономерности структурно-фазовых изменений в кварцесодержащих горных породах.

Задача исследования – установить наличие фазовых переходов при достижении критического значения деформации образцом песчано-глинистого сланца, подвергающегося деформациям уплотнения в наковальне Бриджмена.

Методика исследования. В настоящей работе обработке под давлением (1, 3, 5 кБар со сдвигом 1 об/мин. (на угол в 360°)) подвергались образцы песчано-глинистого сланца ш. им. Скочинского. Использовали термобарические методы исследований образцов песчано-глинистых сланцев, подвергнутых сдвиговому воздействию под давлением на наковальнях Бриджмена при повороте наковален на угол 360°, которые моделируют большое давление горного массива. Определена энергия активации дегидратации воды в образцах по методу Бройдо-Прокопчука.

Результаты исследования. Приведенные на рисунке 1 данные, показывают нелинейную закономерность потери массы. Так наибольшее значение потери массы было получено после обработки образцов давлением в 1 кБар. С ростом давления данный параметр уменьшался и далее возрастал. Это говорит о циклических фазовых переходах в образцах.

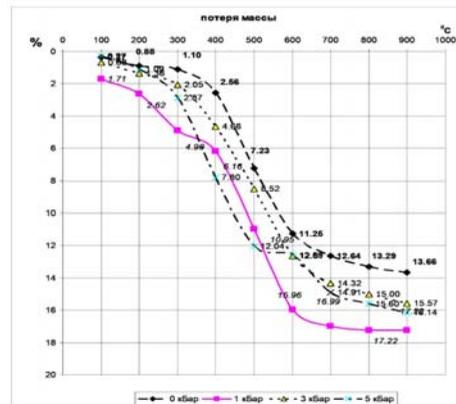


Рис. 1. Потеря массы в образцах песчано-глинистого сланца после обработки их кручением под давлением в камере Бриджмена

В процессе пластического течения песчано-глинистого сланца под высоким давлением происходят существенные изменения, как в кристаллической, так и в аморфной фазах. Ряд данных свидетельствует о том, что, несмотря на воздействие высокого давления, в принципе подавляющего молекулярную подвижность, при пластическом деформировании в образцах проявляется высокая подвижность [1]. Поскольку при высоком давлении лимерные вещества находятся в основном в стеклообразном состоянии, перемещение сегментов, а также осколков макромолекул на значительные расстояния, вызванные сдвиговой деформацией, приводят к резким изменениям кинетики накопления и диссипации энергии.

Энергия упругих напряжений, возникающих в областях динамического влияния в результате действия разных энергетических источников, расходуется главным образом на деформационные процессы, реализующиеся в виде остаточных пластических и разрывных деформаций. Первые связаны с медленно протекающим формоизменением горных пород за пределом теку – части, вторые – с их быстрым хрупким разрушением за пределом прочности.

С ростом степени стеснения пластической деформации плотность дислокаций увеличивается, что приводит к «хаосу» в структуре – беспорядочному распределению дислокаций. Диссипация упругой энергии при нагружении поликристаллической структуры может происходить также путем образования двойников деформации, путем поворота структурных элементов и др., но и эти процессы требуют движения дислокаций и других точечных дефектов.

По мере генерации дислокаций в результате нагружения породы плотность дислокаций в малоугловых границах возрастает и последние превращаются в границы субзерен, плотность дислокаций в которых может быть более 10^{12} см⁻² [2]. При этом отток энтропии из тела зерна обеспечивается вследствие ухода дислокаций в субграницы и уменьшения их плотности внутри субзерен до исходной – порядка 10^8 – 10^9 см⁻².

Результаты, представленные в таблице 1 и на рис. 2, показывают, что в процессе воздействий деформации с использованием наковальни Бриджмена при давлении P=1 кВар в образце увеличилась концентрация $\alpha - Si_2O_2$ и $\beta - Si_2O_2$ соответствующие прочной и пластичной фаз кварца.

Таблица 1 – Результаты фазового анализа образцов ш.Скочинского в процессе воздействий деформации с использованием наковальни Бриджмена

Сравнение фазового состава образцов ш.Скочинского	$\alpha - Si_2O_2 \cdot MeO_2 \cdot nH_2O, \%$	$\alpha - Si_2O_2, \%$	$\beta - Si_2O_2 \cdot MeO_2 \cdot nH_2O, \%$	$\beta - Si_2O_2, \%$
	№ 0-P=0 кВар	25	17,5	23,5
№ 1 P=1 кВар	14,9	20,2	25,7	39,2
№2 P=3кВар	13,4	14,1	25,1	47,4
№3 P=5кВар	14	19	29	39

Повышение давления с P=1 кВар, до P=3 кВар, вызывает фазовый переход типа $\alpha - Si_2O_2 \rightarrow \beta - Si_2O_2$. Дальнейшее же увеличение давления сопровождается обратным фазовым переходом типа $\beta - Si_2O_2 \rightarrow \alpha - Si_2O_2$. При этом α -кристаллобит резко уменьшается по своей концентрации при увеличении давления до P=3 кВар при дальнейшем росте давления до P=5 кВар остается практически неизменным, около 14%, по сравнению с 23% в исходном состоянии. Однако β -кристаллобит остается стабильным.

Табличные данные представлены также в виде графика.

Энергетическая картина процесса сверхвысокой нагрузки на образцы представлена на рис. 3.

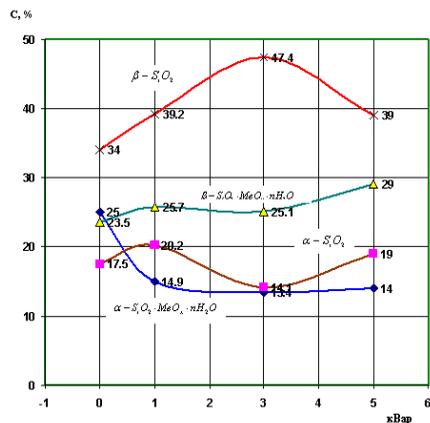


Рис. 2. Изменение фазового состава образцов ш. Скочинского, 7м от нарушения, в зависимости от воздействия приложенного давления

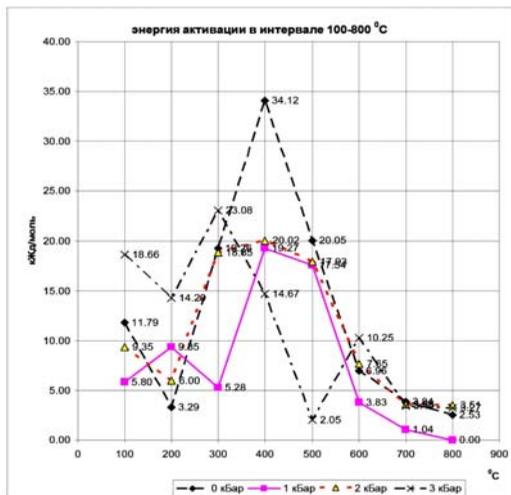


Рис. 3. Энергия активации дегидратации образцов песчано-глинистого сланца после обработки их кручением под давлением в камере Бриджмена

Анализируя данные на рисунке 3 можно отметить некоторую зависимость пиков энергии активации от роста приложенного давления к образцам. Так наибольшее значение отмечено в исходном образце, при давлении в 1 кБар происходит снижение показателя при неизменной температуре в 400 °C, при росте давления до 3 кБар отмечаем два близких пика с изменением температуры с 400 °C до 300 °C т.е. происходит фазовый переход. С ростом давления до 5 кБар наблюдается рост энергии активации, но уже при температуре 300 °C..

Образование дефектов сопровождается приращением деформаций материала, что приводит к снижению прочностных и деформационных характеристик с соответствующим перераспределением внутренних напряжений, и будет зависеть от условий, накладываемых на изменение н. д. с. материала [3].

В процессе исследования, установлено что с ростом давления в наковальне Бриджмена песчано-глинистый сланец подвергается деформациям уплотнения, при достижении критического значения происходит фазовый переход кристаллического в аморфное и при дальнейшем дроблении начинается фаза рекристаллизации.

Выводы. Таким образом, в горных породах при механическом нагружении в условиях, обеспечивающих максимальное исчерпание пластичности, как результат эволюции ячеистой структуры формируется дисклинационная диссипативная структура. Во время деформации свободная энергия деформированного образца уменьшается за счет перестройки дислокаций в конфигурации с низкой энергией (образование субзеренных границ или сеток).

Превышение предела прочности образовавшейся структуры материала на растяжение возникшими растягивающими напряжениями будет являться причиной накопления потенциальных областей образования дефектов, склонных к началу их реализации.

Таким образом, геологическая первооснова, связанная с локальными нарушениями физико-механических характеристик горных пород и фазовым состоянием кварца в них, играет роль катализатора, который при прочих равных условиях оказывается причиной развития локальных вывалов [4].

Список литературы

1. Глезер А.М., Метлов Л.С. Физика мегапластической (интенсивной) деформации твердых тел // Физика твердого тела, 2010, том 52, вып. 6 – С. 1090-1097.
2. Смольяков А.Р. Диссипация энергии разрушения в процессах дезинтеграции руд// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) – №15 – 2009 – С. 309-317.
3. Теплов В.А., Пилогин В.П., Талуц Г.Г. Образование диссипативной структуры и фазовые переходы в сплавах железа при сдвиге под давлением // Известия РАН. Металлы. 1992. № 2. С. 109–115.
4. Стариков Г.П., Самойленко З.А., Шагохин С.В. Научные основы метода определения очага внезапного обрушения горных пород // Труды РАНИМИ – №8 (23) часть 1 – 2019 – С.352-359.

АНАЛИЗ НЕДОСТАТКОВ ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРАВИЛ ОХРАНЫ СООРУЖЕНИЙ И ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ВРЕДНОГО ВЛИЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАЗРАБОТОК

Кулибаба С.Б., Федоров Е.В.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

В настоящее время условия отработки угольных пластов под застроенными территориями и природными объектами в РФ регламентируются «Правилами охраны...» [1], целью которого является охрана зданий, сооружений, коммуникаций, водных объектов, лесонасаждений, сельскохозяйственных угодий и др. от негативного воздействия проводимых подземных горных разработок. Этот документ можно условно разделить на две части – нормативную и методическую.

В нормативной части определены: границы зоны влияния подземных разработок и продолжительность процесса сдвижения; условия безопасной выемки угля в зонах влияния на подрабатываемые объекты земной поверхности и шахтные стволы; расчетные, допустимые и предельные показатели деформаций земной поверхности для подрабатываемых объектов; правила построения предохранительных целиков. В методической части документа приведены: методика расчета сдвижений и деформаций земной поверхности; горные и конструктивные меры защиты подрабатываемых объектов; методика прогноза водопритоков в шахту при ведении горных работ; экономическая оценка мер защиты объектов, и др.

Опыт показывает, что в современных условиях подземной разработки в Правилах охраны [1] наблюдается несоответствие целого ряда положений фактическому состоянию вещей. Следует подчеркнуть, что ныне действующие Правила охраны вышли в 1998 г. взамен предшествующих, изданных в 1981 г. с аналогичным названием, которые были утверждены еще в 1979 г., и многие его положения были перенесены в действующий документ практически без изменений. Исходя из этого, можно заключить, что все нормативно-методические положения, регламентирующие правила ведения горных работ в зонах влияния на здания, сооружения и природные объекты, соответствуют условиям разработки, существовавшим 20-40 лет назад, и не соответствуют современным условиям разработки месторождений, что, в конечном итоге, негативно влияет на точность расчетов и адекватность принимаемых инженерных

решений, а, следовательно, снижает безопасность эксплуатации подрабатываемых объектов.

Так, в нормативной части документа [1] к основным недостаткам относятся такие, как: неоднозначность в определении границ зоны опасного влияния подземных разработок на земной поверхности; недостаточный диапазон нормативных значений средней скорости подвигания очистного забоя для корректного расчета временных параметров процесса сдвижения земной поверхности; отсутствие методики определения периода затухания этого процесса после остановки очистного забоя, и др. Ранее нами уже обращалось внимание на наличие некоторых из указанных недостатков, в частности, на проблему локализации на земной поверхности опасной зоны над очистной выработкой [2].

В методической части рассматриваемого документа [1] наибольшего внимания с нашей точки зрения требует методика расчета сдвижений и деформаций земной поверхности. Существующая методика, к сожалению, не обеспечивает необходимой точности прогноза в современных условиях. Так, на рис. 1 показаны графики оседаний участков земной поверхности при ее подработке лавами 2458, 2459 и 2460 пласта Болдыревский за период 2016-2018 гг. (шахта им. С. М. Кирова, АО «СУЭК-Кузбасс»), из которых видно, что кривые ожидаемых величин (2) существенно отличаются от фактических, полученных в результате маршейдерских измерений (1). Анализ показал, что при внесении необходимых поправок точность прогноза существенно повышается (кривая 3 на рис. 1).

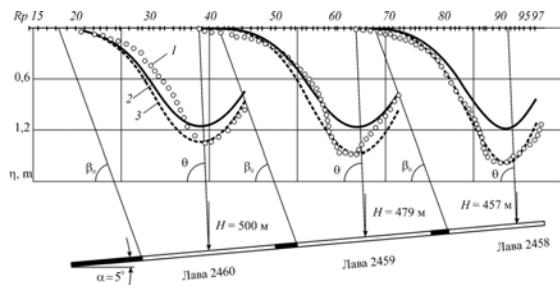


Рис. 1. Графики оседания земной поверхности над лавами 2458, 2459 и 2460: 1 – фактические; 2 – рассчитанные по методике [1]; 3 – рассчитанные с учетом поправок к параметру средней глубины разработки

Помимо указанных выше недостатков, в документе [1] имеются и другие неточности, которые заметно снижают эффективность его применения на практике. В частности, это относится к значениям граничных углов, определяющих границы мульды сдвижения на земной поверхности в Кузбассе. В интервале углов падения пластов α от нуля до 54° граничные углы по падению пласта вычисляются по формуле $\beta_0 = 75^\circ - 0,9\alpha$. Но тогда в случае горизонтальном залегании пласта, т. е. при $\alpha = 0$, угол β_0 , вычисленный по данной формуле, примет значение 75° , что противоречит логике, потому что в этом случае все граничные углы должны быть одинаковы, а их значения соответствовать значению угла δ_0 и составлять 70° . Эта неоднозначность в определении границы мульды сдвижения со стороны падения пласта неизбежно приводит к ошибкам прогноза деформаций земной поверхности.

Приведенный выше краткий анализ позволяет заключить, что действующие в настоящее время Правила охраны [1] содержат в себе целый ряд неточностей, как в нормативной, так и в методической частях документа, что вызвано несоответствием некоторых его положений современным условиям разработки месторождений. Эта проблема может самым серьезным образом негативно сказаться на уровне безопасного состояния зданий, сооружений и природных объектов, расположенных на подрабатываемых территориях. Исходя из этого можно констатировать, что существует настоятельная потребность в переработке и модернизации действующих Правил охраны с целью актуализации их нормативно-методической базы. Кроме того, отсутствие регистрации данного документа в Минюсте России делает его юридически незначимым и существенно сужает сферу его применения.

Совершенствование рассматриваемого документа должно происходить, на наш взгляд, в следующих направлениях. Во-первых, следует актуализировать нормативную часть документа в соответствии с современными условиями разработки месторождений и характером застройки подрабатываемых территорий. Во-вторых, необходимо усовершенствовать методическую часть документа с учетом накопленного актуального опыта подработки объектов и результатов новейших исследований в области сдвижения горных пород. В-третьих, логично было бы изменить концепцию нового документа, в котором основной акцент должен быть смещен с охраны объектов на возможность их безопасной подработки. Однако в этом случае методика расчета сдвижения земной поверхности должна быть максимально адаптирована к современным условиям ведения горных работ, поскольку эффективность принимаемых инженерных решений по обеспечению безопасности подрабатываемых объектов напрямую зависит от точности прогнозирования их деформаций.

Список литературы

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – С.-Петербург, ВНИМИ, 1998. – 291 с.
2. Kulibaba S. and Esina E. A new approach to the problem of protection of undermined objects on the earth's surface. E3S Web of Conferences Electronic edition. Volume 41 (2018). Kemerovo, Russian Federation, October 3-5, 2018.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ВЫЯВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПЕРИОДОВ ОБРУШЕНИЯ КРОВЛИ ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ДЛИННЫМИ ЛАВАМИ

Блохин Д.И.¹, Лаптева А.²

¹*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

²*Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС»*

В настоящее время внедрение высокопроизводительного надежного очистного оборудования и связанное с ним повышение уровня концентрации горных работ при подземной разработке пологих угольных пластов, в том числе мощностью более 3,5 м., обусловило в большинстве случаев переход шахт к структуре «шахта-лава» [1, 2]. При этом наблюдается тенденция существенного увеличения геометрических размеров выемочных столбов. Например, длина лавы в реально действующих забоях сейчас достигает значений 350 – 400 м [1].

Изменившиеся условия отработки выемочных столбов приводят к появлению ранее не наблюдавшихся особенностей пространственного распределения напряженно-деформированного состояния угленосного массива, в результате которых обрушение кровли в выработанное пространство приобретает более сложный характер.

Указанные геомеханические процессы в свою очередь тесно связаны с изменениями метанообильности рассматриваемых высокопроизводительных выемочных участков. Поэтому исследование существующих геомеханических ситуаций с целью оценки пространственных параметров обрушения кровли и последующего прогноза газокинетических параметров выемочных участков является актуальным и практически значимым.

Для описания изменчивости свойств неоднородной среды, какой, несомненно, и является углеродный массив, достаточно эффективным может оказаться использование прикладных методов теории случайных функций [3, 4]. Практическое применение статистических моделей пространственной изменчивости неоднородной среды, в том числе ее механических свойств, обычно проводится с принятием стандартных гипотез о стационарности и эргодичности рассматриваемых случайных функций или функций, получаемых из них различными преобразованиями. Эти гипотезы позволяют определять вероятностные характеристики рассматриваемых функций по нескольким или даже лишь по одной имеющейся реализации. Такой подход широко используется в исследованиях по инженерной геологии и прикладной геомеханике [5, 6].

Цель работы – построение основанной на использовании алгоритмов спектрально – корреляционного анализа методики выделения и описания различных составляющих исследуемых случайных функций, отражающих влияние различных факторов на изменчивость распределения значений напряженно-деформируемого состояния углеродного массива в зоне очистного забоя.

В качестве примера указанных реализаций в настоящей работе рассматриваются результаты измерений изменений давления в стойках механизированной крепи при отработке выемочного столба. На рис. 1 представлены данные полученные в лаве 24-63 ш. им. С.М. Кирова АО «СУЭК – Кузбасс» в период с 27.02.21 по 19.03.2021.

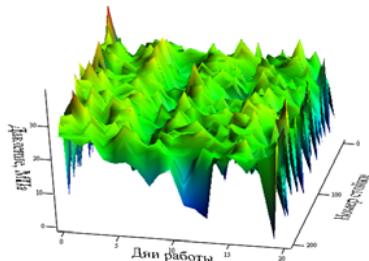


Рис. 1. Пример пространственно-временного распределения значений давления в гидравлических стойках механизированной крепи при отработке угольных пластов длинными лавами

В ходе работ выявлена разномасштабная периодичность в распределении параметров, характеризующих напряженно-деформированное состояние углеродного массива в приконтурной области выемочного столба (при отработке запасов угля лавами протяженностью более 300 м).

Так же для лавы 24-63 произведен анализ хронометража работы оборудования комплексного механизированного забоя в указанный выше период с 27.02.21 по 19.03.2021. В результате установлена качественная связь влияния периодичности обрушения пород кровли при работе механизированных комплексов на состав рудничной атмосферы призабойного пространства (рис. 2).

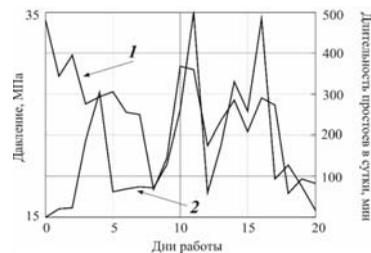


Рис. 2. Пример зависимости от времени давления в одной из гидростоек механизированной крепи (1) и длительности простоев (по метановому фактору) очистного оборудования (2)

Периодичность обрушения основной кровли, обусловленная иерархической трещино-блочной структурой углеродного массива, а вместе с ней и периодичность изменения концентрации метана в призабойном пространстве должны соответствовать зависимостям, установленным по давлению на крепь, и в процессе отработки выемочного столба могут быть оценены по данным мониторинга.

Список литературы

1. Артемьев В.Б. АО «СУЭК». Подземные горные работы, динамика развития // Горный информационно – аналитический бюллетень. – 2018. – № S48. – С. 13 – 22.
2. Копылов К.Н., Кубрин С.С., Загоршменный И.М., Решетняк С.Н. Экспериментальные исследования параметров работы очистного комбайна угольной шахты при различных скоростях подачи // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № S29. – С. 48–55.
3. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. – М.: Наука, 1968. – 463 с.

4. Серебренников М.Г., Первозванский А.А. Выявление скрытых периодичностей. – М.: Наука, 1965. – 244 с.

6. Шейнин В.И. Интерпретация составляющих пространственной изменчивости горного массива и оценка их вероятностных характеристик // Физико – технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1982. – № 4. – С.3– 7. Иофис М.А., Одинцев В.Н., Блохин Д.И., Шейнин В.И. Экспериментальное выявление пространственной периодичности наведенных деформаций массива горных пород // Физико – технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2007. – № 2. – С. 21 – 27.

ГЕОМЕХАНО–ГАЗОТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫБРОСОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА ТЕКУЩЕМ УРОВНЕ

Радченко А.Г.¹, Киселев Н.Н.¹, Гетманец Л.В.¹, Радченко А.А.²

¹ Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (Министерство образования и науки, г. Донецк)

² ООО «Лемакс», г. Таганрог, Российская Федерация (Министерство промышленности и торговли РФ)

Более 60 лет назад в работах академика А.А. Скочинского и В.В. Ходота была предложена физико-механическая модель формирования выбросоопасных зон угольных пластов. Согласно этой модели формирование выбросоопасности угольных пластов происходит под влиянием следующих трех факторов: 1) физико-механические свойства угля – ФМС; 2) газокинетические свойства угольного пласта – ГКС; 3) напряженно-деформированное состояние пласта – НДС. Анализ литературы [1] показал, что существует тесная взаимосвязь и взаимообусловленность между циклическо протекающими геомеханическими процессами и полями напряжений, создающими неоднородные деформационные поля, которые обуславливают формирование неоднородных полей распределения природной газоносности угольных пластов – X_{np} . Участки с повышенными градиентами напряжений – $\Delta\sigma$ и природной газоносности – ΔX_{np} отличаются повышенными градиентами температуры угольных пластов – ΔT^0 , C и характеризуются как потенциально опасные по выбросам угля и газа. В анализируемой физико-механической модели формирования выбросоопасных зон [2] недостаточное внимание было уделено влиянию геомеханических, технологических и термодинамических процессов на триаду совместно действующих факторов: ФМС, ГКС и НДС.

Поэтому, целью настоящей работы является рассмотрение основных положений новой более перспективной геомехано-газотермодинамической модели формирования внезапных выбросов угля и газа на текущем уровне.

В связи с неоднородностью и анизотропией свойств угольного массива, в нем под воздействием геомеханических процессов формируются неоднородные тепловые поля. Результаты выполненных шахтных измерений показывают, что существует тесная взаимосвязь между физико-механическими свойствами углей, их напряженно-деформированным, газодинамическим состояниями и протекающими в углепородном массиве геомеханическими, технологическими и термодинамическими процессами. В 2011 году академик Опарин В. Н. указывал на необходимость развивать новое научное направление: геомеханическая термодинамика. Анализ основных положений работ [2, 3, 4, 5] позволил разработать геомехано-газотермодинамическую модель формирования выбросов угля и газа на текущем уровне (рисунок 1).



Рис. 1. Геомехано-газотермодинамическая модель формирования выбросов угля и газа на текущем уровне: а) геомеханические процессы; б) технологические процессы; в) термодинамические процессы; г) газокинетические свойства-ГКС; д) напряженно-деформированное состояние пласта-НДС; е) физико-механические свойства пласта-ФМС

В процессе проведения горных выработок под воздействием геомеханических процессов, протекающих в углепородном массиве, в угольном пласте формируются неоднородные пространственно-временные структуры разных уровней и масштабов. При периодическом, циклическом росте напряжений в угольном пласте снижаются газопроницаемость и степень дегазации пласта, возрастают давление свободного и сорбированного газа в пласте, растут температура угольного пласта и внутренние термонапряжения в пласте.

На изменение свойств и состояний угольного массива оказывают влияние следующие **геомеханические факторы**: состав пород кровли, очередность залегания слоев, расстояние от слоя до кровли пласта, мощность, крепость и угол залегания породного слоя, глубина разработки угольного пласта, его мощность, крепость и угол падения, длина лавы, скорость ее подвигания, расстояние отхода лавы от разрезного ходка, шаг посадки основной кровли, расстояние до максимума опорного давления и т. д.

К технологическим факторам, влияющим на изменение свойств и состояний угольного пласта, относятся: системы вскрытия, подготовки и разработки пластов, способ выемки угля (буро-взрывной, комбайном, гидровывмывание, на отбойный молоток и др.), противовыбросные мероприятия (гидро-отжим, гидрорыхление, гидровывмывание полостей, разгрузочные скважины, щели, пазы, торпедирование угля, торпедирование кровли пласта, вибровоздействие на пласт и другие).

При воздействии геомеханических и технологических факторов возрастают статические и динамические нагрузки на угольный пласт, в результате этого изменяются газотермодинамические параметры пласта, прежде всего растут температура угольного пласта, температура свободного и сорбированного газа, возрастают термо- и баронапряжения. **Газотермодинамические факторы** оказывают существенное влияние на свойства и состояния угольного пласта. С ростом температуры пласта возрастает кинетическая энергия свободного и сорбированного газа, растет энергия угольного массива. По данным [5], ряд авторов считают, что повышение температуры угольного пласта является информативным показателем и с его помощью можно выделить зоны повышенного горного давления, зоны разгрузки и дегазации пласта, зоны повышенной потенциальной выбросоопасности пласта. Участки повышенной потенциальной выбросоопасности угольных пластов характеризуются ростом концентрации потенциальной энергии упругого сжатия в призабойной зоне угольного пласта [5]. В работе [5] установлена особая роль, которую играет температура на локальном участке угольного массива. Рост температуры объясняется с позиций наблюдаемых экзотермических эффектов, возникающих в устьях движущихся микротрещин.

Выводы. Предложенная новая геомехано- газотермодинамическая модель учитывает влияние геомеханических, технологических и термодинамических процессов на формирование выбросоопасности угольных пластов на текущем уровне. Выбросоопасные зоны характеризуются повышенными значениями градиентов напряженного состояния, газового давления и температуры угольного массива.

Список литературы

1. Минеев, С.П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: [монография]. [Текст] / С.П. Минеев, А.А. Рубинский, О.В. Витушко, А.Г. Радченко // Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010.– 603с.
2. Ходот, В.В. Внезапные выбросы угля, породы и газа [Текст] / В.В. Ходот // М.: Госгортехиздат, 1961. – 363 с.
3. Рыженко, И.А. Прогноз выбросоопасности призабойной части пластов по температурному режиму [Текст] / И.А. Рыженко, И.Я. Еремин // Уголь Украины. – 1988. – № 3. – С. 36 – 37.
4. Малиникова, О.Н. Связь термодинамических процессов с выбросоопасностью угольных пластов при ведении горных работ / О. Н. Малиникова, Г.Н. Фейт // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках. – Симферополь: ТНУ, 2007. – С. 191-195.
5. Булат А.Ф. Некоторые проблемы газодинамических явлений в угольном массиве в контексте нелинейной неравновесной термодинамики [Текст] / А.Ф. Булат, В.И. Дырда // Геотехнічна механіка. – 2013. – Вып. – 108. – С. 3-30. Электронный ресурс. – Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/gtm_2013_108_3.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЯ МЕТРОПОЛИТЕНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТПМК НА СУЩЕСТВУЮЩИЕ ОБЪЕКТЫ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Закоршменний И.М.¹, Федянин О.С.²

¹ *Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

² *Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС»*

Направление транспортного развития в современных мегаполисах характеризуется комплексным освоением подземного пространства. Основным и наиболее эффективным способом разгрузки наземных транспортных путей является развитие сети метрополитена. Однако, строительство любого подземного сооружения приводит к изменению напряженного состояния вмещающего массива, сопровождающегося его деформациями. Этот процесс может оказывать отрицательное воздействие на уже существующую городскую инфраструктуру в зоне влияния проводимых работ. Величина и характер возможных деформаций зависят от многих факторов и определяются на основании геомеханического анализа.

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ

Иванов П.Н.

Национальный Исследовательский Технологический Университет
«МИСиС» Горный институт

С начала XXI века, потребление угля выросло почти на 50 %, поскольку он является одним из главных энергетических ресурсов, который способен поддерживать развивающую мировую экономику и потребности энергетики. Это в свою очередь предполагает все более высокие показатели количества извлекаемого сырья и постоянные инновации в области технологии добычи. При современных условиях разработки месторождений условия добычи становятся все более сложными. Одним из опасных геодинамических явлений являются внезапные выбросы газа, которые в значительной степени ограничивают безопасную и эффективную добычу угля.

При контроле и мониторинге данных природных явлений, одним из ключевых параметров контроля угольного пласта является его газопроницаемость [1]. Она связана со многими факторами, включая напряженно-деформированное состояние массива, сорбцию/десорбцию газа, марку угля. Особое влияние на газопроницаемость оказывают структурные особенности угля и его поровое пространство [2].

Структура угля, как правило, представляет собой систему с двойной пористостью, которая характеризуется большим количеством трещин различной направленности. В некоторых работах также было отмечено, что, так как трещины являются основными каналами фильтрации, то определение физико-механических свойств на образцах, извлеченных из угольного массива, является решающим элементом для определения характера проницаемости угля в различных направлениях, то есть, анизотропной проницаемости. Экспериментальные сведения показывают, что вертикальная проницаемость угольного пласта гораздо ниже, чем его проницаемость в горизонтальном направлении и с увеличением глубины залегания, анизотропия начинает приобретать все более явный характер.

В настоящее время анизотропию изучают посредством определения физико-механических свойств образцов, извлеченных из угольного пласта в различных его точках для сопоставления общей картины о структуре пласта. Данный случай имеет ряд недостатков ввиду достаточно сильной степени неоднородности структуры угля и в высоком разбросе значений физико-механических свойств. Поэтому моделирование проницаемости угольного пласта должно проводиться с исполь-

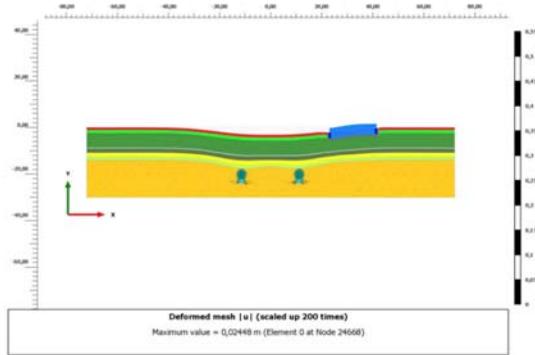


Рис. 2. Схема общих перемещений

Список литературы

1. СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01-83 Основания зданий и сооружений».
2. СП 120.13330.2012 «СНиП 30-02-2003 Метрополитены»
3. ГОСТ Р 53778-2010 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»
4. Методика выполнения геотехнических расчетов методом конечных элементов на программном комплексе Plaxis 2D [Электронный ресурс: методические указания к выполнению практических работ по дисциплине «Численное моделирование в механике грунтов», для студентов магистратуры всех форм обучения направления подготовки 08.04.01 Строительство / Моск. гос. строит. ун-т, Каф. механики грунтов и геотехники; [сост. З.Г. Тер-Мартirosян и др.]. – Электрон. текстовые дан. – Москва: МГСУ, 2015. – Б. и.
5. PLAXIS. Конечно-элементный программный комплекс. Пособие по моделированию материалов – 2019 –С. 31-40.
6. Тер-Мартirosян А.З., Исаев И.О., Алмакаева А.С. Определение фактического коэффициента перебора (участок «Стахановская улица» – «Нижегородская улица») // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 12. С. 1644–1653. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.12.1644-1653.

зованием комплекса различных методов, в том числе интроскопических методов исследования внутренней структуры горных пород.

В данной работе были исследованы образцы угля Кузнецкого угольного бассейна, отобранные с пласта, являющегося опасным по возможному газо-геодинамическим явлениям (внезапному выбросу и горному удару). Для исследования из представленных проб были изготовлены 12 плоскопараллельных пластин толщиной 3—6 мм. Измерения проводились для двух направлений волновых нормалей по отношению к визуальной слоистости:

1) для шести образцов направление распространения акустического импульса совпадало с направлением слоистости;

2) для оставшихся шести образцов угол между направлениями волнового вектора и направлением слоистости составлял 90°.

Исследования проводились на автоматизированном лазерно-ультразвуковом структуроскопе «УДЛ-2М». Его принцип действия основан на регистрации сигналов, которые образуются в результате отражения широкополосных акустических импульсов от тыльной поверхности, а также несплошностей исследуемого образца. По временной задержке данных сигналов относительно опорного, были рассчитаны скорости распространения продольных волн в каждой точке сканирования [3]. За счет возникновения дополнительного импульса сдвиговой волны между первым и двойным пробегом продольной волны были также рассчитаны их скорости. Полученные результаты значений скоростей были верифицированы с помощью эмпирических уравнений Маркот-Рюса и Гринбега-Кастатъи [4].

Далее, по полученным экспериментально значениям скоростей распространения упругих волн были рассчитаны локальные значения динамического модуля упругости, которые могут быть рассчитаны через соотношение скоростей распространения ультразвуковых упругих волн (продольных и сдвиговых) и плотностью среды:

$$E = \rho V_i^2 \left[3 - \frac{1}{\left(\frac{V_d}{V_i} \right)^2 - 1} \right], \quad (1)$$

Отмечено небольшое различие в скоростях распространения продольных волн в образцах угля. Коэффициент анизотропии скоростей продольных волн составил 1,05. Сравнительно малый коэффициент анизотропии может объясняться высокой степенью нарушенности

исследуемых образцов, связанной с наличием большого количества различных несплошностей, беспорядочно ориентированных по всему объему образцов. При этом значения скоростей сдвиговых волн и локальных значений динамического модуля упругости показали отсутствие явной анизотропии относительно направления слоистости.

По выше измеренным экспериментально скоростям упругих волн и рассчитанным значениям динамического модуля упругости с помощью программного пакета «Matlab» были построены 3D-изображения исследуемых образцов. Благодаря широкополосным сигналам, полученных с помощью лазерной генерации ультразвука на изображениях были зафиксированы ориентация и геометрические размеры трещин и расслоений по всему исследуемому объему образцов. Так величины раскрытия трещин лежали в диапазоне от 110 до 280 мкм, а их протяженность составляла от 0,5 до 4 мм. На изображениях прослеживалась слоистая структура, но при этом отмечено значительное количество несплошностей направления которых отличаются от основного направления слоистости.

Исходя из результатов был сделан вывод, что вследствие влияния различных тектонических процессов, влияние естественного напластования становится значительно ниже и упругие характеристики углей приобретают изотропный характер. Таким образом, методы лазерно-ультразвуковой томографии являются перспективным направлением для определения характера анизотропии и ее влияния на локальные упругие характеристики гетерогенных сред. Данный метод позволяет получить и хранить в цифровой форме информацию не только о внутренней структуре, но и о деформационных характеристиках в конкретной точке, что имеет прикладную значимость для дальнейшего численного и компьютерного моделирования состояния угля и его газопроницаемости при различных внешних воздействиях.

Список литературы

1. Chen, G. Analysis of pressure relief and outburst prevention effect and mining depth effect of floor roadway in single serious outburst coal seam // E3S Web of Conferences, 2021, 267, статья № 01051, DOI: 10.1051/e3sconf/202126701051
2. Malinnikova, O.N., Ul'yanova, E.V., Kharchenko, A.V., Pashichev, B.N. Influence of Coal Microstructure on Gas Content of the Face Area // Journal of Mining Science, 2020, 56 (3), pp. 351-358, DOI: 10.1134/S106273912003683X
3. Vinnikov, V.A., Zakharov, V.N., Malinnikova, O.N., Cherepetskaya, E.B. Analysis of structure and elastic properties of geomaterials using contact broadband ultrasonic structural spectroscopy // Gornyi Zhurnal, 2017, (4), pp. 29-32, DOI: 10.17580/gzh.2017.04.05
4. Mavko G. Mukerji T. Dvorkin J. The Rock Physics Handbook. Cambridge University Press, London, 2009, 511 p.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ НАРУШЕНИЯ СТРУКТУРЫ УГЛЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕГО ЖИДКИМ АЗОТОМ

Рыбалкин Л.А., Сердюк И.М., Ефремов Р.А.

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,

Разработка угольных месторождений шахтным способом сопряжена с постоянным увеличением глубины обрабатываемых перспективных пластов, и как следствие, повышением содержания в них газа метана. Для отвода пластового газа необходимо проводить операции по повышению газомобильности и проницаемости угольных пластов на стадии очистных или выемочных работ. Наиболее распространенным инструментом интенсификации дегазации углепородного массива является гидроразрыв пласта [1, 2] в интервалах дегазационных скважин на различной глубине с укреплением полученных трещин расклинивающими материалами [3].

Однако есть несколько проблем, связанных с традиционным гидроразрывом пласта, например: чрезмерный расход дорогостоящих жидкостей разрыва, тампонирующее фильтративной системы пласта и загрязнение возвратной жидкости. Жидкий азот (LN₂) считается одним из потенциально перспективных безводных агентов для гидроразрыва. Из-за его уникальных низкотемпературных характеристик, в процессе ГРП в призабойном пространстве будут создаваться серьезные термические напряжения. В результате в резервуаре могут образовываться не только несколько первичных трещин, но и вторичные трещины, перпендикулярные первичным трещинам, создавая более сложную сеть трещин, чем при обычном гидравлическом разрыве.

Когда LN₂ закачивается в пласт, в породе возникает сильное термическое напряжение в виде растягивающего напряжения [4, 5]. Исследования показывают, что это растягивающее напряжение достигает десятков МПа, что может значительно снизить давление инициирования при ГРП LN₂ [6]. Кроме того, большое количество новых трещин будет образовано и расширено за счет эффекта теплового удара с проникновением криогенной жидкости в пласт. Таким образом, гидроразрыв LN₂ имеет большой потенциал для создания сложной сети трещин в формации.

В данной работе предлагается методика исследования влияния обработки угля порциями жидкого азота в гидростатическом и неравновесном поле напряжений. При исследовании влияния циклической заморозки угольного материала жидким азотом в лабораторных условиях в настоящее время проводятся преимущественно на керновом материале с последующим анализом микроструктуры угля с помощью ЯМР микроскопии или анализа шлифов на электронном микроскопе. В данных условиях нет возможности непосредственного нагружения образца в процессе подачи порций жидкого азота, что сводит все эксперименты к нормальным условиям. Возможность приложения разноориентированных осевых нагрузок в процессе проведения исследований позволит получить более репрезентативные данные в условиях близких к пластовым.

Наиболее перспективным материалом для реализации указанного подхода является крупногабаритный плотный уголь. В выбранном образце выбуривают керн на глубину не менее 30% от общего линейного размера. В дальнейшем данный керновый материал используют для исследований микроструктуры, например с помощью анализа шлифов. В выбранную полость размещают систему подачи жидкого азота с укреплением ее герметизирующим составом. Далее производят заливку всего куска угля твердеющим составом в кубической форме. Получившейся куб размещают в специальной установке независимого трехосного нагружения [7]. Общая схема подключения подачи жидкого азота показана на рисунке ниже.

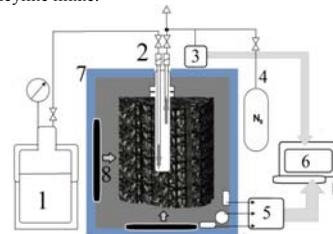


Рис. Общий вид системы подачи жидкого азота в образец угля в цементной оболочке. 1 – дюар с жидким азотом, 2 – система контроля подачи азота, 3 – датчик давления газообразного азота, 4 – система сбора газа азота, 5 – система датчиков акустической эмиссии, 6 – компьютер, 7 – кость установки, 8 – система осевого сжатия

После монтажа измерительной системы производят ряд циклических подач жидкого азота в угольный образец. В процессе подачи регистрируют давление газообразного азота, которое регулируется обратным клапаном, давление осевого сжатия, сигналы акустических датчиков. После завершения подачи каждой порции азота делают паузу от 5 до 24 часов в зависимости от размеров угля. По завершению всех циклов эксперимента снимают нагрузку, разбирают клеть и выбуривают угольный керн в размере достаточном для исследования свойств на ЯМР релаксометре или изготовления шлифов для электронного микроскопа.

Полученные результаты в виде зависимостей акустической эмиссии от объемов закачки жидкого азота при осевом сжатии, раскрытия естественной трещиноватости, объема искусственных трещин могут быть использованы в дальнейшем для составления рекомендаций при обработке дегазационных скважин жидким азотом или нагнетании его в качестве рабочего агента при проведении ГРП с целью интенсификации дегазации углепородного массива.

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 пропанта на проницаемость угля // Интерэкспо Гео Сибирь. — 2018. — Т. 2. — №6. — С. 338–365.
4. Kim M, Kemeny J. Effect of thermal shock and rapid unloading on mechanical rock properties. *Rock Mech Rock Eng* 2009;47(6):2005–19.
5. Kim K, Kemeny J, Nickerson M. Effect of rapid thermal cooling on mechanical rock properties. *Rock Mech Rock Eng* 2014;47(6):2005–19.
6. Zhang S, Huang Z, Li G, Wu X, Peng C, Zhang W. Numerical analysis of transient conjugate heat transfer and thermal stress distribution in geothermal drilling with high-pressure liquid nitrogen jet. *Appl Therm Eng* 2018. 129:1348–57.
7. Сердюков С.В., Рыбалкин Л.А., Дробчик А.Н., Патутин А.В., Шилова Т.В. Лабораторный стенд для моделирования гидравлического разрыва массива трещиноватых пород // ФТПРПИ. – 2020. – № 6. – С. 193–201.

ИСТОЧНИКИ ВЫДЕЛЕНИЙ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ВОЗДЕЙСТВУЮЩЕГО НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Бут Е.Н.

*Государственное учреждение «Институт физики горных процессов»,
Министерство образования и науки Донецкой Народной Республики*

Введение. К основным физико-механическим свойствам горных пород следует отнести сжимаемость, плотность, прочность, пластичность, проницаемость, размокаемость (способность сохранять свою структуру при электролитическом воздействии фильтратов буровых растворов).

Способность пород продуктивных пластов пропускать через себя под действием градиента давления какой-либо флюид – жидкость, газ или газожидкостную смесь, называют проницаемостью. Проницаемость осадочных пород с увеличением давления всестороннего сжатия уменьшается более значительно, чем пористость не только за счет уменьшения пористости, но и в большей степени, за счет сокращения площади сечения сверхкапиллярных поровых каналов и превращения части их в капиллярные или замкнутые поры. Фазовая (эффективная) проницаемость – проницаемость породы для данного газа или жидкости, при наличии в порах другой какой-либо фазы. Относительная проницаемость – отношение фазовой проницаемости данной пористой среды к ее физической проницаемости.

Углекислый газ является наиболее распространенным углеводородсодержащим газом в земной коре. Он содержится в магматических, метаморфических, осадочных породах и подземных водах и является основным компонентом вулканических (более 87 %) и фумарольных (около 52 %) газов, а также газов термальных источников (до 95 %). Углекислый газ выделяется в рудничную атмосферу шахт, разрабатывающих угли различной степени метаморфизма (от бурых до антрацитов). В ряде случаев на шахтах с высокой метанообильностью выделения углекислого газа преобладают над выделениями метана.

Анализ исследований и публикаций. Решение задач о движении газа в угольных пластах с применением теории фильтрации рассматривалось в работах [1, 2, 3]. В связи с проблемой внезапных выбросов газа сорбционным свойствам угля уделяется много внимания [4, 5, 6].

Около 48 % шахт Донбасса, разрабатывающих угли различных стадий метаморфизма, и более 25 % очистных и подготовительных участков шахт Кузбасса относятся к категории углекислотообильных.

На крупных шахтах абсолютная углекислотообильность достигает $12 \text{ м}^3/\text{мин}$ и более.

Особенностью выделения углекислого газа в рудничную атмосферу является то, что он (в отличие от метана) может выделяться из многих источников (различных по своей физико-химической сущности). Поэтому задача прогнозирования выделений углекислого газа и оценки газовой ситуации является достаточно сложной.

Основной материал. Источники выделения углекислого газа в горных выработках могут быть разделены на 4 основных вида.

1) Газы, выделяемые из угольного пласта. Углекислый газ выделяется в готовом виде с открытых поверхностей отбитого угля из трещин и пор. Интенсивность выделений зависит от углекислотности и геологического строения угольной толщи, способа нарушения месторождения, газопроницаемости, сорбционных свойств и окисленности угля, барометрического давления. Из угольных пластов в горные выработки выделяется более 50 % всех выделений углекислого газа.

2) Выделения из вмещающих горных пород (глинистые и песчаные сланцы), прочие породы органического и неорганического происхождения). Величина выделения углекислого газа из этих пород зависит от их структурных и текстурных особенностей, обуславливающих прочность и степень трещиноватости [7]. Выделение CO_2 из вмещающих пород изменяется во времени, уменьшаясь по мере газового насыщения пласта. Это объясняется воздействием горного давления на величину раскрытия трещин. При постоянном атмосферном давлении из выработанного пространства, примыкающего к лаве, выделяется 40-70% CO_2 от общего газовыделения в лаве. [8]

3) Выделения, в результате процессов разложения органических веществ, древесины. В выработанном пространстве создаются особо благоприятные условия для окисления древесной крепи.

4) Подземные воды становятся источниками углекислого газа в результате разложения углекислых пород. Так же CO_2 выделяется в следствии уменьшения его растворимости при разгрузке вод от давления.

Общая доля вышеперечисленных источников в углекислотном балансе угольных шахт составляет 90-95%. О сих пор нет единого мнения об определяющей роли какого-либо источника диоксида углерода. [9]

Как правило, углекислый газ присутствует в трех верхних газовых зонах (зоны азотно-углекислых, углекислородных и метано-азотных газов). Его содержание либо с глубиной равномерно уменьшается, либо в зоне азотно-углекислых газов вначале нарастает, а затем уменьшается. В зоне метановых газов двуокись углерода встречается в виде примесей. Газовым зонам присущ определенный химический состав подземных вод.

Обострение проблемы взаимоотношений человечества с окружающей природной средой выделяет научные вопросы техногенных выбросов углекислого газа в атмосферу в особую категорию вопросов глобальной экологии. Это обусловлено, во-первых, тем, что углекислота является парниковым газом и, во-вторых, тем, что угольные шахты в подавляющем большинстве представляют собой источники генерации углекислого газа в результате процессов низкотемпературного окисления. Поэтому естественным продолжением задач газовой динамики рудничной атмосферы стали задачи газообмена угольных шахт с тропосферой.

Определившись с источниками, выделяемый газ (CO_2) можно улавливать и использовать для нагнетания в угольный пласт в качестве разупрочняющего реагента.

Насыщение угля сорбирующим газом, сопровождающееся его капиллярноподобной конденсацией в надмолекулярной структуре угля, приводит к изменению прочностных свойств угля и качественным изменениям характера деформаций в процессах механического нагружения, которые тем существеннее, чем выше сорбционная способность насыщенного газа. [10]

Явления сорбционного понижения прочности и разупрочняющего действия процессов конденсации поглощенного газа в элементах тонкой структуры трещиновато-пористого объема угля приводят к активному дезагрегированию угольного вещества и после соответствующей обработки угольного пласта существенно снижает либо усилия механического резания, либо давление гидравлического воздействия, либо мощность взрывного воздействия для извлечения угля.

Список литературы

1. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа / Ходот В.В. – М.: Госгортехиздат. 1961. – 393 с.
2. Кричевский Р.М. О природе внезапных выделений. Бюлл. Мак НИИ, 1948, №18. – С. 8-13
3. Черный И.А. Подземная гидродинамика / Черный И.А. – М.: Госгортехназдор, 1963. – 396с.
4. Кузнецов С.В. Природная проницаемость угольных пластов и методы ее определения / Кузнецов С.В. Кругман Р.В. – М.: Наука, 1971. – 122с.
5. Прямые и обратные задачи эмиссии газа и сорбционное деформирование угольных пластов / Л. А. Назарова, Л. А. Назаров, М. Вандамм, Ж. М. Перейра // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2017. – Т. 20. – № 2(70). – С. 41-49. – DOI 10.17377/SIBJIM.2017.20.205.
6. Чернов О.И. Предупреждение внезапных выбросов угля и газа в угольных шахтах / Чернов О.И., Розанцев Е.С. – М.: «Недра», 1965. – 224с.

7. Быков Л.Н. Предварительный прогноз углекислотообильности шахт Восточного Донбасса / Быков Л.Н. Левин Е.Н., Соколов Э.М. // Проектирование и строительство угольных предприятий. – 1966. – №7. – С.66-68.

8. Соколов Э.М. Углекислый газ в угольных шахтах / Соколов Э.М., Кочурин Н.М. – М.: Недра, 1987. – 142 с.

9. Мясников А.А. Прогноз углекислотообильности угольных шахт / Мясников А.А., Машенко И.Д., Крикунов Г.Н. – М.: «Недра», 1974. – 200с.

10. Джигрин А. В. Особенности механизма разупрочнения ископаемого угля диоксидом углерода / А. В. Джигрин, А. Ю. Стулишенко // Взрывное дело. – 2012. – № 108-65. – С. 273-286.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕГАЗАЦИИ ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Панов А.В., Мирошниченко Н.А.

*Институт горного дела им. Н.А. Чинакала
Сибирского отделения Российской академии наук*

При отработке угольных пластов в шахтное пространство могут выделяться значительные объемы метана. Мероприятия по дегазации направлены на снижение вероятности проявления внезапных выбросов угля или газа, уменьшение нагрузки на шахтную систему вентиляции. В данной работе мониторинг процесса дегазации угольного пласта предлагается проводить по данным вариации давления в гидравлических стойках в вышележащем пласте.

На рис. 1 приведен вертикальный разрез участка подземного пространства при отработке горизонтальных угольных пластов 1 и 2. В верхнем пласте 1 кровля выработки поддерживается гидравлическими стойками. Дегазация пласта 2 производится через систему вертикальных скважин, расположенных вкрест простирания пластов.

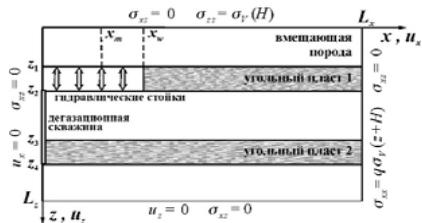


Рис. 1. Схема расчетной области и граничные условия

Исходя из представленной геометрии, воспользуемся моделью плоского деформированного состояния для описания полей смещений и напряжений. Поскольку мощность пластов много меньше их протяженности, то изменение газосодержания C описывается одномерным уравнением [1]:

$$\partial C / \partial t = D \cdot \partial^2 C / \partial x^2 \quad (1)$$

где t – время, D – коэффициент диффузии, C_0 – начальное содержание газа. Начальные условия возьмем в виде $C(0, x) = C_0$, граничные: $C(t, 0) = 0$, $C(t, x) \rightarrow C_0$ при $x \rightarrow \infty$. Тогда решение уравнения имеет вид:

$$C(t, x) = C_0 \Phi(x/a), \quad a = 2\sqrt{Dt}, \quad (2)$$

где Φ – функция Лапласа (интеграл ошибок).

В работах [2, 3] представлены экспериментальные данные, связывающие изменение объема образца и содержание газа, на основе которых в [4] получена формула для определения относительного изменения объема:

$$\Delta V = k \cdot \Delta C / \rho_1 \rho_2, \quad (3)$$

где k – эмпирический коэффициент, ρ_1 и ρ_2 – плотности угля и газа. Воспользуемся уравнением (3) и оценим ΔV при $\Delta C = 10 \text{ кг/м}^3$, $\rho_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$, $\rho_2 = 0.7 \text{ кг/м}^3$, $k = 0.2 \text{ кг/м}^3$; получим $\Delta V = 0.002$. Такое изменение объема соответствует приращению среднего напряжения $\Delta \sigma = 14 \text{ МПа}$ (при модуле всестороннего сжатия угля, равном 7 ГПа [5]). Для моделирования изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) массива при дегазации угольного пласта 2 введем для него эквивалентный модуль Юнга

$$E(t, x) = E_0[\delta + (1 - \delta)\Phi(x/a)], \quad (4)$$

где $\delta \in [0, 1]$ – коэффициент, характеризующий уменьшение E при полной дегазации ($t \rightarrow \infty$).

НДС расчетной области описывалось системой уравнений линейной теории упругости с учетом (4). Граничные условия отображены на рис. 1 ($\sigma_y, \rho = \rho g(z+H)$ – литостатическое напряжение, соответствующее весу вышележащих пород, q – коэффициент бокового отпора, H – глубина верхней границы расчетной области, g – ускорение свободного падения). В расчетах использовались следующие свойства пород:

для вмещающей среды модуль Юнга $E_0 = 8$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0.27$, плотность $\rho = 1400$ кг/м³; для угольного пласта $E_0 = 5$ ГПа, $\nu = 0.29$, $\rho = 1400$ кг/м³.

Приращение давления в гидростойках найдем по формуле:

$$\Delta P(x) = S[\Delta u_z(x, z_2) - \Delta u_z(x, z_1)], \quad (5)$$

где S – жесткость, Δu_z – разность смещений, вычисленных до начала дегазации и после в момент времени t .

На рис. 2 показано $\Delta P(x)$ для различных значений $a = a(t)$, рассчитанное при $S = 5$ МПа/м [6], $H = 600$ м, $q = 0.4$, $L_x = 50$ м, $L_z = 40$ м, $z_1 = 10$ м, $z_2 = 13$ м, $z_3 = 17$ м, $z_4 = 20$ м, $x_w = 16$ м, $\delta = 0.2$.

Поставим следующую задачу: найти распределение газа в пласте 2 и коэффициент диффузии по известным данным об изменении давления в гидравлических стойках. Для этого необходимо определить параметры δ и a . Для их поиска введем функционал невязки

$$\Psi(\delta, a) = \sum_{m=1}^M [\Delta P(\delta, a, x_m) - \Delta P^*(x_m)]^2, \quad (6)$$

где $\Delta P(\delta, a, x_m)$ – расчетное изменение давления в гидростойках, x_m – координаты мест установки гидростоек, $\Delta P^*(x_m) = [1 + A \cdot r] \Delta P(\delta^*, a^*, x_m)$ – входные данные, полученные путем наложения мультипликативного шума на точное решение (при $\delta = \delta^*$ и $a = a^*$), r – случайная величина, равномерно распределенная на отрезке $[-1, 1]$, A – амплитуда шума.

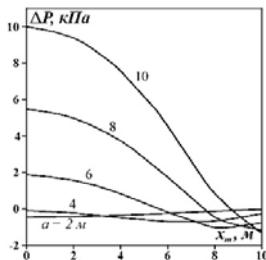


Рис. 2. Приращение давления в гидростойках

На рис. 3 приведены изолинии целевого функционала Ψ (нормированного на максимальное значение) при $x_m = 0, 2, \dots, 16$ и $A = 0.5$.

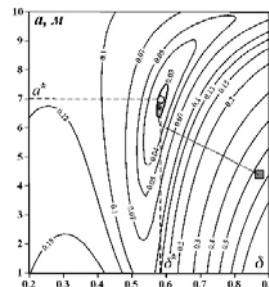


Рис. 3. Изолинии целевого функционала Ψ при $x_m = 0, 2, \dots, 16$; $A = 0.5$

Как видим, введённая целевая функция унимодальна при среднем уровне шума в синтетических входных данных. Ее минимум получен модифицированным методом сопряженных градиентов [7] (штриховая линия на рис. 3 – траектория итерационного процесса).

Таким образом, можно найти параметр a , коэффициент диффузии D и распределение газосодержания в пласте 2 по формуле (2) (C_0 определяется экспериментально [8] при бурении дегазационных скважин).

Список литературы

1. Seidle J. Fundations of Coalbed Methane Reservoir Engineering. Penn-Well Books, 2011. – 416 p.
2. Harpalani S.B., Chen G. Estimation of change in fracture porosity of coal with gas emission // Fuel. – 1995. – 4(10). – pp. 1491–1498.
3. Brochard L., Vandamme M., Pellenq R.J.-M., Fen-Chong T. Adsorption-Induced Deformation of Microporous Materials: Coal Swelling Induced by CO₂-CH₄. Competitive Adsorption // Langmuir. – 2012. – V. 28. – pp. 2659–2670.
4. Nazarova L.A., Nazarov L.A., Karchevsky A.L., Vandamme M. Estimating diffusion-capacity parameters of a coal bed using the gas pressure measured in a hole and the solution of an inverse problem // Journal of Applied and Industrial Mathematics. – 2014. – V. 8, № 2. – pp. 267–273.

5. Протодяконов М.М., Тедер Р.И., Ильницкая Е.И. и др. Распределение и корреляция показателей физических свойств горных пород. Справочное пособие. – М.: Недра, 1981. – 192 с.

6. Крепи механизированные для лав. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 31561-2012. – М.: Стандартинформ, 2013. – 28 с.

7. Nazarov L.A., Nazarova L.A., Panov A.V., Karchevskii A.L. Estimation of stresses and deformation properties of rock masses which is based on the solution of an inverse problem from the measurement data of the free surface displacement // Journal of Applied and Industrial Mathematics. – 2013. – V. 7, № 2. – pp. 234-240.

8. Karchevsky A.L., Nazarov L.A., Nazarova L.A. New method to interpret the 'canister test' data for determining kinetic parameters of coalbed gas: theory and experiment // Inverse Problems in Science and Engineering. – 2021. – pp 1-10. DOI: 10.1080/17415985.2021.1936516.

О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА СОРБЦИОННО-КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРОГНОЗЕ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ

Гусева И.П.

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Для изучения явлений, происходящих в газоносных угольных пластах, особую роль играют физико-химические методы исследования. В настоящее время большее внимание в физико-химическом изучении системы «уголь-метан» уделяется определению сорбционных изотерм для разных газов и различных природных углей.

Большую роль в кинетике установления и нарушения равновесия в системе «уголь-метан» играет своеобразие пористой структуры ископаемых углей [4].

Матвиенко Н.Г. показал, что на основе анализа геологического строения месторождений, при разработке которых были отмечены устойчивые проявления углеводородных газов, можно сделать вывод, что вмещающие породы большинства из них содержат углесодержащие отложения от мощных угольных пластов до микрокруплений.

В других работах предлагается экспресс-методы определения сорбционно-кинетических параметров углей [3].

Характер и интенсивность газоотдачи зависят от структурных и кинетических свойств угля, слагающего пласт.

Исследованиями установлено, что угли средней стадии метаморфизма имеют максимальные значения коэффициента диффузии (D) и

размера ненарушенного фрагмента (R) и поэтому имеют максимальную газоотдачу. Характерный для этих углей максимальный размер трещин (г), разделяющих ненарушенные фрагменты, говорит об их способности легко растрескиваться при изменении напряженного состояния угольного вещества и давления газа [1].

Для учета диффузионных и кинетических параметров при прогнозе газовыделения в выработки и газодобывающие скважины необходимо изучить их зависимость от важнейших горно-геологических факторов — степени метаморфизма угля, геологической нарушенности угольного пласта, петрографического состава и влажности.

Величины R и D, определенные для углей выбросоопасных пластов, в два-три раза меньше, чем для углей из пластов, неопасных по газодинамическим явлениям.

Большинство угольных пластов, особенно пластов рабочей мощности, представляют собой многослойные образования, состоящие из чередования различных типов углей.

С точки зрения газоотдачи антрацитовые и полуантрацитовые угли должны быть выделены в особый класс, так как имеют особенности в пористой структуре, что сказывается на значениях диффузионно-кинетических параметров [2].

Различие сорбционных и диффузионно-кинетических свойств углей в значительной степени определяется их петрографическим составом. Поэтому при оценке газовой динамики пласта по диффузионно-кинетическим параметрам необходимо учитывать петрографический состав угля и пористую структуру его петрографических компонентов (табл.1).

Таблица 1 – Диффузионно-кинетические параметры петрографических компонентов

Образец	Уд. пл. поверхности S, м ² /г	Плотность по He, d, г/см ³	Время дифф. релаксации сорбции τ, сек	Размер ненарушенного фрагмента, R*10 ⁴ , см	Кoeff. дифф. D*10 ¹² , см ² /сек
Кузбас, пл. 12	0,38	1,459	2500	5,5	10,4
вптрен фюзен	0,12	1,304	15600	19,2	20,5
	1,06	1,555	1089	1,2	2,6

В действительности угольный пласт нужно рассматривать как трехкомпонентную систему «уголь-метан-вода», сорбционные и кинетические свойства которой могут значительно отличаться от свойств системы «уголь-метан».

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 есть способы определения сорбционно-кинетических параметров образцов угля и вмещающих горных пород, которые позволяют определять зависимости этих параметров от зольности. Это поможет повысить точность определения газоносности угля и вмещающих горных пород на горном предприятии.

Нет единой точки зрения о возможности достаточно точного определения сорбционно-кинетической метаноёмкости вмещающих горных пород в разрабатываемом угольном пласте. Поэтому уточнение данного вопроса имеет важное значение.

Список литературы

1. Ковалева И.Б., Соловьева Е.А. Влияние петрографического состава угля на кинетику сорбции метана//Материалы работ Всероссийского семинара «Термодинамика поверхностных явлений и адсорбции» (24 июня – 1 июля 2002 г., ИГХТУ, Иваново-Плес). – Иваново-Плес: ИГХТУ, 2002. – С.15-19.
2. Бобин В.А., Ковалева И.Б., Соловьева Е.А. Особенности строения и свойств углей Восточного Донбасса и их перспективность для извлечения угольного метана//Горный Информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд-во МГТУ, № 7, 2000, с.185.
3. Радченко С.А. Сорбционные и газокинетические свойства угля и углесодержащих пород, возможности их использования для улучшения прогноза метановыделения//Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 9. С. 247-256.
4. Эттингер И.Л. Шульман Н.В. Распределение метана в поразископаемых углях— М.: Издательство «Наука», — 1975. —111 с.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ СКЛОННОСТИ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ К САМОВОЗГОРАНИЮ

Докучаева А.И., Палкин А.Б., Малинникова О.Н.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В.Мельникова РАН*

Учитывая мировую статистику эндогенных пожаров [1,2,3], вызванных самовозгоранием угля, проблема надежного прогноза и предотвращения этих явлений остается открытой. Влияние многочислен-

ных факторов на самовозгорание углей и сложность точного их определения существенно затрудняют прогноз пожарной опасности при добыче и хранении горючих материалов. При этом существует ряд не всегда согласующихся друг с другом концепций причин и механизма самовозгорания.

В соответствии с существующими концепциями причин и механизмов самовозгорания углей [4] разработаны разнообразные методы для отнесения углей к категории опасности по самовозгоранию. Они эффективны в отношении конкретных месторождений и не могут применяться при масштабных испытаниях. Это объясняется тем, что сам механизм окисления угля является довольно сложным процессом.

Если знать научные принципы оценки склонности к самовозгоранию угольного вещества, можно избежать трудностей при прогнозе пожарной опасности при добыче и хранении угля. Согласно В.С. Веселовскому эти принципы строятся на теории, рассматривающей самовозгорание как физико-химический процесс, происходящий в промышленной обстановке [5]. Известно, что самовозгорание определяется тремя физическими причинами: химической активностью окисляющихся материалов, притоком воздуха и повышением температуры из-за генерации тепла, выделяющимся при окислении.

Из существующих теорий самопроизвольного возгорания угля наиболее распространена теория комплекса уголь-кислород, основанная на том, что при реакции с кислородом образуются новые неустойчивые соединения типа перекисей, сопровождающиеся выделением тепла, а в условиях плохого выноса тепла в окружающую среду процесс адсорбции кислорода переходит в хемосорбцию. Механизм окисления углей кислородом воздуха на молекулярном уровне объясняется теорией цепных реакций Н.Н. Семенова и перекисной теорией Баха-Энглера [6]. Основные положения перекисной теории были применены В.Ф. Орешко в схеме сути процессов самовозгорания и автоокисления [4, С. 345], в соответствии с которой уголь-кислородные комплексы представлены двумя типами пероксидов. Первый тип образуется при относительно низких температурах и разрушается со значительным выделением тепла при температурах выше 80°С. Второй тип образуется при более высоких температурах в результате распада пероксидов первого типа и вызывает самопроизвольное возгорание углей.

Фишером была отмечена ведущая роль непредельных соединений в процессе самовозгорания угля. Предполагалось, что процесс активного поглощения кислорода ненасыщенными соединениями, присутствующими в угле, сопровождается экзотермическими реакциями. Такие предположения легли в основу фенольной теории самовозгорания угля [7].

Фенольную гипотезу окисления углей предложил и развил Б.В. Тронов. Позже гипотеза была поддержана Г.В. Харитоновым, Г.М. Михеевым и др. Согласно фенольной теории кислород взаимодействует, в первую очередь, с боковыми цепями органической массы угля там, где находятся фенольные гидроксилы. Далее происходит образование карбонильных групп и, при продолжающемся окислении, происходит разрыв связей карбонильных групп с выделением CO , а при избытке кислорода – CO_2 .

Ведущая роль минеральной составляющей угля при взаимодействии с атмосферным кислородом в процессе окисления отражена в пиритной гипотезе самовозгорания ископаемых углей. Пиритная теория была предложена Ю. Либихом в середине XIX века и долгое время оставалась широко распространенной. Она объясняла быстрое окисление и самопроизвольное возгорание углей наличием в них тонкодисперсного железа (пирита и марказита). В настоящее время теория пользуется популярностью в Англии и Америке. Однако исходя из того, что пирит при температурах ниже 100°C устойчив к кислороду, пиритная теория была признана недостоверной.

На основании общих закономерностей взаимодействия углей с атмосферным кислородом в естественных условиях В.С. Веселовским была схематически составлена последовательность явлений, протекающих при угольном окислении. Такая схема включала в себя стадию так называемой «скрытой подготовки» на температурном диапазоне $20\text{--}25^\circ\text{C}$; стадию самонагрева, которая при накоплении тепла может спровоцировать самовозгорание угля, а при тепловом рассеивании – его охлаждение. Причем реакция окисления угля кислородом воздуха продолжается и при его охлаждении, однако уже в стадии выветривания.

Известно, что динамику процесса сорбции кислорода воздуха углем можно проследить по изменению массы, но достоверно судить о степени поглощения углем кислорода только лишь по изменению массы невозможно, потому как одинаковое поведение может характеризовать разные стадии преобразования угля.

На сегодняшний день достаточно распространены попытки сформировать метод оценки склонности угля к самовозгоранию с помощью термогравиметрического анализа (ТГА), который косвенно, по изменению массы образцов в зависимости от температуры нагрева, отражает кинетику процессов, происходящих при нагревании угля. Поскольку значительные улучшения в управлении температурой и анализе данных позволяют применять ТГА для точных и контролируемых измерений, нами проделан эксперимент для идентификации явлений, происходящих при структурно-химических изменениях об-

разцов углей в результате их взаимодействия с кислородом воздуха при повышении температуры, и ответственных за склонность углей к самовозгоранию.

Аналізу были подвергнуты образцы каменных углей, склонных (№1) и не склонных (№2) к самовозгоранию. Также были подготовлены образцы сухого древесного угля (№3) и древесного угля, пропитанного льняным маслом (№4) для усиления его химической активности. Опыт проводился на термогравиметрическом анализаторе Leco-701 при повышении температуры до 130°C . Результаты представлены на рисунках 1 и 2.

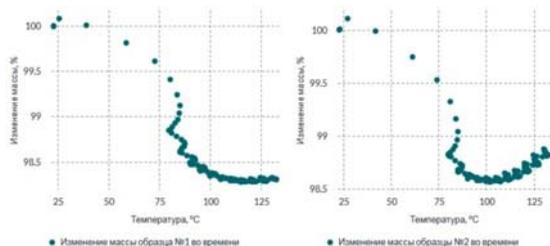


Рис. 1. ТГ профили образцов каменных углей

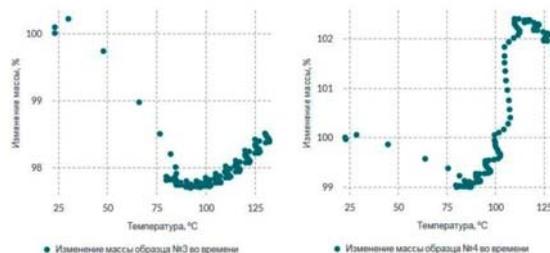


Рис. 2. ТГ профили образцов древесных углей

На выбранном интервале образцы №1, №2, №3 не показали увеличение массы. Однако на ТГ кривых образца №4 отчетливо замечено увеличение массы в районе 100⁰С. Это указывает на затухающий процесс выхода влаги из образцов и развивающийся процесс сорбции кислорода угольным веществом. Тем самым, в частности, демонстрируется влияние влаги на начало и протекание процесса изменения массы образца.

Следует ожидать, что и в природном угольном веществе наличие влаги способно влиять на кинетику газообменных и тепловых процессов и на продолжительность периода подготовки угля к возгоранию. В то же время роль влаги в разных аспектах в процессе самовозгорания недостаточно освещена. Кроме того, недостаточно учитывается тот факт, что угольное вещество в течение всего времени после его добычи испытывает различные трансформации, сопровождающиеся газообменными процессами, что с неизбежностью отражается на результатах оценки склонности углей к самовозгоранию.

Ввиду этого на сегодняшний день не существует единой всеобъемлющей концепции и, соответственно, эффективной методики определения склонности угля к самовозгоранию.

Список литературы

1. Портола В.А., Овчинников А.Е., Син С.А., Игишев В.Г. Анализ аварийности и пожароопасности угольных шахт [Электронный ресурс]/ В.А. Портола, А.Е. Овчинников, С.А. Син, В.Г. Игишев// Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2018. – №4. – С. 36-42.
2. Завиркина Т.В. Анализ статистики эндогенных пожаров на угольных шахтах России [Электронный ресурс]/ Т.В. Завиркина// Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2014. – №1. – С. 30-36.
3. Onifade M., Genc B. A review of research on spontaneous combustion of coal / M. Onifade, B. Genc // International Journal of Mining Science and Technology. – 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.03.001>.
4. Аронов С.Г., Нестеренко Л.Л. Химия твердых горючих ископаемых. Из-во.: Харьк. ун-та, 1960. – с. 372.
5. Веселовский В.С., Виноградова Л.П., Терпюгосова Е. А. и др. Методическое руководство по прогнозу самовозгораемости пластов с учетом газосности, 1974.
6. Линденану Н.И., Маевская В.М., Вахрушева Е.С. и др. Каталог углей СССР, склонных к самовозгоранию. М.: Недра, 1981. – 416 с.
7. Тронов Б.В. О механизме окисления каменного угля кислородом воздуха [Электронный ресурс] / Б.В. Тронов// Извещения Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 1940. – №3. – С. 11-36.

ПРОБЛЕМЫ УСТРАНЕНИЯ ВОДОПРОЯВЛЕНИЙ В ТОННЕЛЯХ С ВЫСОКОТОЧНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОБДЕЛКОЙ

Закоршменный А.И.¹, Сутупов П.В.²

¹ *Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

² *Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС»*

В настоящее время широко применяется технология проходки тоннелей тоннелепроходческими механизированными комплексами (ТПМК) с использованием сборных железобетонных обделок, обеспечивающих требуемую несущую способность и герметичность [1]. Водонепроницаемость обделки обеспечивается наличием на блоках резинового уплотнительного контура, и нагнетанием тампонажного раствора в строительный зазор в процессе проходки [1].

Однако в процессе обследований выявляются дефекты и повреждение высокоточных железобетонных блоков: трещины, сколы кромок отдельных блоков, нарушения защитного слоя, отслоения в стыковочных узлах и болтовых гнездах, нарушение уплотнительного контура блоков обделки («закус» или взаимное смещение резинового контура и др.) [1].

Дефекты и повреждения сборной железобетонной обделки могут возникать в процессе сооружения тоннеля (различное давление домкратов шита при проходке на нелинейных участках и в неустойчивых грунтах, нарушения нагнетания тампонажного раствора за обделку, нарушения правил работ в процессе перегрузки и перемещения).

В последнее десятилетие в России и других странах на практике широко применяется технология герметизации фильтрующих швов сегментов обделки и устранения водопроявлений состоящая из двух этапов. Предварительная заделка (чеканка) швов ремонтным материалом на цементной основе и последующее инъектирование метакрилатного геля в зачеканенный участок через сетку пакеров [2-4].

На основании анализа традиционной технологии устранения водопроявлений стыковых соединений железобетонных блоков обделки выявлены следующие технические и технологические недостатки, самым главным недостатком данной технологии является то, что инъектирование метакрилатного геля осуществляется в полость ограниченную с двух сторон торцами железобетонных блоков обделки, со стороны грунтового массива – контуром резинового уплотнения, а со стороны

внутреннего контура обделки – границей зачеканенного в шов ремонтного материала. Таким образом, проблема устранения притока воды к месту деформации резинового уплотнения блока обделки, решается путем формирования некой мембраны из метакрилатного геля посередине стыкового соединения блока. Поскольку толщина этой мембраны относительно небольшая, то как правило, место ремонта не способно выдерживать значительное гидростатическое давление и результат является недолговечным.

Собранная за последние 5 лет статистика по ремонту и повторным возобновлениям фильтрации воды через стыковые соединения отремонтированных ранее участков тоннелей по технологии предварительной заделки (чеканки) швов сборной железобетонной обделки и последующего инъецирования зачеканенного участка через сетку пакеров метакрилатного геля свидетельствует о том, что свыше 30% отремонтированных швов требуют повторного ремонта в течение гарантийного периода который, как правило, составляет 5 лет.

Практически всех выше упомянутых недостатков лишена технология устранения водопровялений в конструктивных элементах стыковых соединений высокоточной железобетонной обделки при сооружении перегонных тоннелей применяемая ООО «ЦЕНТР ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ» (ООО «ЦГТ»). Принципиальное отличие технологии заключается в применении в качестве иньектора игольчатого пакера специальной конструкции, нагнетательная трубка которого устанавливается в стыковое соединение блоков высокоточной железобетонной обделки, а игольчатая часть проходит насквозь через уплотнительную резинку и выходит за уплотнительный элемент блока, рис. 1.

А в качестве иньекционного материала применяется гидроактивная полиуретановая смола, которая иньектируется за уплотнительный контур тоннельной обделки, не повреждая конструкцию самого блока. Уплотнительная резиновая прокладка железобетонного блока служит барьером для целенаправленного нагнетания и распространения иньекционной смолы за обделкой тоннеля и эффективного устранения места водопровяления.

Иньектирование производится в соответствии с нормами расхода, составляющими ориентировочно 5,0 кг/пакер. Практический опыт показал, что этого количества достаточно для эффективного устранения протечки через шов протяженностью 1 погонный метр. Давление при нагнетании не превышает 7,0 МПа.

На основании представленной технологии устранения водопровялений в стыковых соединениях конструктивных элементов высокоточной железобетонной обделки за последние 2 года компанией ООО «ЦГТ»

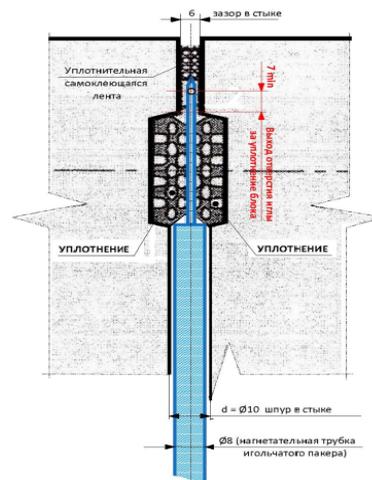


Рис.1. Выход иньекционной иглы за уплотнительный элемент блока

были успешно отремонтированы около 9 км тоннелей при строительстве тоннелей в городе Москве. Суммарная протяженность устраненных водопровялений через швы обделки составила более 4700 м.п.

По статистике, технология нагнетания специальной однокомпонентной полиуретановой смолы за уплотнительный элемент блока обделки через игольчатый пакер, несмотря на относительно небольшой период применения (около 3 лет), показала, что возобновление водопровялений через швы стыковых соединений блоков наблюдается не более чем на 10% протяженности отремонтированных ранее швов в обделке тоннелей, предпочтительной по совокупности временных, финансовых и качественных показателей результатов работы.

Разработанный подход, сочетание простой надежной конструкции игольчатого пакера, качественной пенополиуретановой смолы и многолетнего опыта ведения иньекционных работ позволяет оперативно решить поставленную Заказчиками задачу, качественно и надежно устранить протечки и места водопровялений в тоннелях метрополитена.

Перспективным направлением борьбы с водопроявлениями в тоннелях с обделки высокоточных железобетонных блоков следует рассматривать исследования по применению резиновых прокладок из набухающей резины.

Список литературы

1. СТО 6658209531-003-2017 Ремонт бетонных и железобетонных обделок транспортных тоннелей и подземных сооружений метрополитенов с применением материалов ЗАО «Группа компаний «Пенетрон-Россия». Материалы для проектирования. Схемы узлов. Технология выполнения работ.-М.-2019.-С.71
2. Технологический регламент на выполнение ремонтных работ по устранению дефектов и водопроявлений в конструктивных элементах стыковых соединений высокоточной железобетонной обделки при сооружении перегонных тоннелей. Объект: «Восточный участок Третьего пересадочного контура (ТПК), ст. «Каширская» – ст. «Карачарово». – 2020.
3. Руководство по ремонту бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений с учетом обеспечения совместности материалов (второе издание, переработанное и дополненное) – М.: ЦНИИС. – 2010. – С.182.
4. Jin-long Liu, Hamza Omar, Davies-Vollum K. Siân, Jie-qun Liu. Repairing a shield tunnel damaged by secondary grouting // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2018. – Vol. 30. – Pp. 313-321.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ЗОН РАСТЯГИВАЮЩИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ПРОХОДКЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК НА ГЛУБИНЕ БОЛЕЕ 1 КМ

Нгуен Ван Минь, Еременко В.А., Аксенов З.В., Умаров А.Р.

Горный институт НИТУ «МИСЦС»

В шахтных условиях, особенно на больших глубинах, вокруг выработок регистрируются слои параллельных трещин. Данный тип разрушения называется растрескиванием. Трещины растяжения, возникают под действием высоких сжимающих сил [1, 2]. Этот тип разрушения относится не к сдвигу, а к растяжению. Процесс растяжения происходит, когда все три главных компоненты напряжения сжимающие. Данные условия, как правило, формируются при проходке подготовительных выработок на больших глубинах свыше 1 км. Этот процесс определяет: критерием растягивающей деформации [3], согласно которому: «Порода начинает разрушаться при всестороннем сжатии, когда вто-

ричное растягивающее напряжение превышает определенный предел прочности свойственный данной породе», т.е.:

$$\varepsilon_3 \geq \varepsilon_c, \quad (1)$$

где ε_3 – растягивающая деформация; ε_c – критическое значение растягивающей деформации.

Уравнение для выражения растягивающей деформации выглядит следующим образом [3]:

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E} [\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)], \quad (2)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения; E – модуль упругости; ν – коэффициент Пуассона.

С помощью численного моделирования можно на стадии проектирования горных работ спрогнозировать местоположение и размеры зон растягивающих деформаций. В частности, в рассматриваемом в статье случае для расчетов использовался программный комплекс численного моделирования Map3D.

Для оценки и определения механических свойств массива горных пород применялась система GSI. К механическим свойствам горного массива относятся модуль деформации (E_m) и параметры прочности массива Хука-Брауна (m_b, s и a).

Определение свойств массива включает следующие шаги: (1) сбор информации о свойствах горных пород в образцах \rightarrow (2) оценка свойств массива с применением вероятностного подхода с использованием метода моделирования Монте-Карло.

Разработанные формулы для определения значений растягивающих деформаций на стадии возникновения (ε_{c1}) и развития (ε_{c2}) трещин выглядят следующим образом [4]:

$$\varepsilon_{c1} = \frac{0,434 \cdot \sigma_c \cdot \nu}{E} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{c2} = \frac{0,814 \cdot \sigma_c \cdot \nu}{E^*}, \quad (3)$$

где σ_c – предел прочности горной породы на одноосное сжатие в образце; E^* – модуль упругости горной породы на стадии развития трещин.

Для условия трехосного испытания образца, модуль упругости горных пород E^* на стадии развития трещин определяется как:

$$E^* = E \exp \left[-\ln \left(\frac{E \varepsilon_m}{\sigma_c - 2\nu\sigma_3} \right) \right], \quad (4)$$

где ϵ_m – деформация, возникающая при действии максимального напряжения.

Для испытания на одноосное сжатие ($\sigma_2 = \sigma_3 = 0$):

$$E^* = E \exp \left[-\ln \left(\frac{E \epsilon_m}{\sigma_c} \right) \right]. \quad (5)$$

В рассматриваемом случае подставляя полученные результаты экспериментальных исследований в выражения (3) и (5), установлено, что от возникновения до развития трещин $\epsilon_{c1-2} = 178 \div 343 \mu\epsilon$. Микродеформация ($\mu\epsilon = \epsilon \cdot 10^6$) – единица измерения относительной деформации растяжения, рассчитываемой путем деления величины абсолютной деформации ΔL на исходную длину объекта L : $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$. Выбранные значения $\epsilon_{c1} = 200 \mu\epsilon$ и $\epsilon_{c2} = 350 \mu\epsilon$ использовались в расчетах.

На рисунке показаны результаты численного моделирования зон растягивающих деформаций на исследуемом участке выработки высотой в черне $H = 6,32$ м и шириной $B = 5,71$ м, которая располагается на глубине 1150 м от земной поверхности.

С целью определения надежности уравнения (3) для прогноза критических значений растягивающих деформаций, вычисленные результаты уточнялись методом калибровки численной модели проведенной в шахтных условиях.

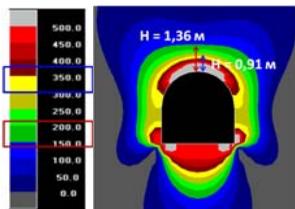


Рис.1. Мощности зон растягивающих деформаций установленные на основе численного моделирования и калибровки модели.
 $\mu\epsilon = 0.0 \div 500.0$ – микродеформации (спектр цветов);
 $H = 1,36$ м – расстояние от обнажения выработки до границы $\epsilon_{c1} = 200 \mu\epsilon$ и $H = 0,91$ м – расстояние до границы $\epsilon_{c2} = 350 \mu\epsilon$

Результаты сравнения математических расчетов и калибровки показали, что: предельное значение деформации на стадии образования трещин составило 178 $\mu\epsilon$ (принято для расчетов $\epsilon_{c1} = 200 \mu\epsilon$), а на стадии развития трещин 343 $\mu\epsilon$ (принято $\epsilon_{c2} = 350 \mu\epsilon$); массив разрушается при значениях растягивающей деформации более 350 $\mu\epsilon$ на глубину от кровли выработки до 0,91 м. Результаты расчетов использовались для проектирования параметров крепи или систем крепления подготовительных выработок.

Список литературы

1. Лушников В.Н., Сэнди М.П., Еременко В.А., Коваленко А.А., Иванов И. А. Методика определения зоны распространения повреждения породного массива вокруг горных выработок и камер с помощью численного моделирования // Горн. журнал. – 2013. – № 12. – С. 11–16.
2. Еременко В.А., Аксенов З.В., Пуля Э.К., Захарова Н.Е. Исследование структуры вторичного поля напряжений призабойной части подготовительных выработок при проходке выбросоопасных пластов с использованием программы Map3D // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – М.: Издательство «Горная книга». – № 5. – 2020. – С. 91 – 104.
3. Stacey T.R. A simple extension strain criterion for fracture of brittle rock // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 18. – 1981. – pp. 469–474.
4. Нгуен Ван Минь, Умаров А.Р., Янбеков А.М., Хажыкылай Ч.В. Прогноз возникновения и распространения трещин растяжения на основе физико-механических свойств горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – М.: Издательство «Горная книга». № 6 – 2021. – С. 84–94.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ВТОРИЧНОГО ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ «КАРКАСНОЙ» ГОРНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ¹

Умаров А.Р., Янбеков А.М., Хажыкылай Ч.В.

Горный институт НИТУ «МИСиС»

При проведении фундаментальных исследований предложена методологическая концепция создания конвергентной горной технологии подземной разработки мощных рудных месторождений, а также

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-17-00034).

рассмотрены конструктивные особенности ее «каркасного» варианта и обоснован рациональный порядок отработки выемочных блоков [1-3].

В качестве примера для условий ведения подземных горных работ в статье показан метод эксперимента на основе исследования численной модели каркасной горной конструкции [4].

Для численных расчетов и анализа использовался программный комплекс Mar3D, встроенный САПР – для построения сложных трехмерных моделей, анализа и визуализации результатов расчетов, с учетом различных критериев нарушенности массива горных пород и руд.

Для оценки НДС массива в поле вторичных напряжений в предположении упругого поведения массива использовался критерий прочности Хука-Брауна, являющийся функцией главных напряжений и прочностных свойств массива горных пород. При проведении исследований рассмотрены и рассчитаны несколько вариантов горно-геологических и горнотехнических условий разработки рудных месторождений. В статье приводится выборочный вариант горно-геологических условий разработки одного из рудных месторождений, отработываемого на глубине 500-1000 м. Исходное напряженное состояние массива для рассматриваемого случая является литостатическим, $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 \approx 13,5$ МПа ($H=500$ м).

Для моделирования процессов формирования и развития вторичного поля напряжений было рассмотрено принципиально новое технологическое решение – каркасная технология (рис. 1) [4]. Рассматривались при проведении исследований следующие параметры каркасной системы: внешний размер каркаса $195 \times 195 \times 67$ м; размер камер $40 \times 40 \times 60$ м; ширина целиков – 7 м.

Характер формирования зон растягивающих деформаций для рассматриваемого случая отработки камер с применением каркасной горной конструкции показан на рисунке.

На основе анализа результатов численного моделирования установлено, что в условиях применения каркасной горной конструкции в процессе отработки и закладки массива искусственных целиков (рис. а, б) микродеформации не превышают значений $\epsilon_{\mu} = 210$. Следует отметить, что первые трещины растяжения в техногенно измененном массиве формируются при уровне микродеформаций $\epsilon_{\mu} \geq 350$. В процессе отработки и закладки камер (рис. в, г) микродеформации, формируемые в техногенно измененном массиве (вмещающем каркасную систему), не превышают значения $\epsilon_{\mu} = 325$ и граница вторичного поля напряжений находится на внешней границе каркасной системы, горизонтальных и вертикальных искусственных целиков. Моделирование показало, что в условиях применения каркасной горной конструкции уровень деформирования массива горных пород, руд и целиков различного назначения не превышает критических значений объемного трещинообразования.

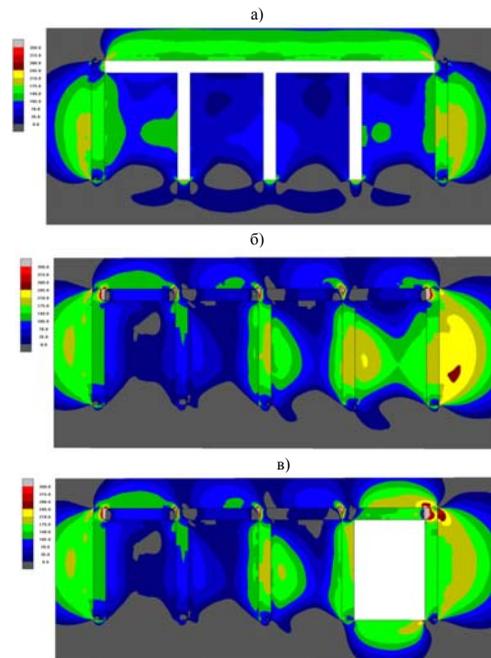
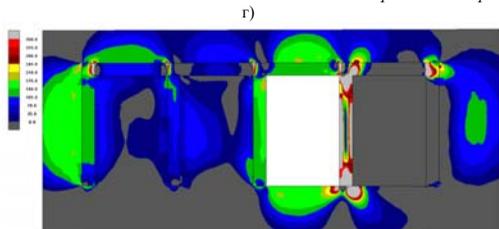


Рис. Зоны растягивающих деформаций при отработке участка рудного тела с применением каркасной горной конструкции (рассматриваемый в статье выборочный вариант). а) – отработка массива искусственных целиков (горизонтальных и вертикальных ограждающих, разделительных; в реальных условиях извлекается и закладывается поэтапно, при моделировании определялось влияние пустот всех сразу); б) – закладка массива искусственных целиков бутобетоном; в) – отработка 1 камеры системой с самообрушением руды; г) – закладка первой камеры пастовой закладкой и отработка второй камеры; спектр цветов 0.0 ÷ 350.0 – микродеформации ϵ_{μ} .
(продолжение рисунка см. на след. стр.)



Список литературы

1. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П. Природоподобная геотехнология комплексного освоения недр: проблемы и перспективы. – М.: ООО «Научтехлитиздат», 2020. – 368 с.
2. Galchenko Yu. P., Eremenko V. A., Kosyreva M. A., and Vysotin N. G. Features of secondary stress field formation under anthropogenic change in subsoil during underground mineral mining, Eurasian Mining, 2020, No. 1, pp. 9–13.
3. Eremenko V. A., Galchenko Yu. P., and Kosyreva, M. A. Effect of mining geometry on natural stress field in underground ore mining with conventional and nature-like technologies, Journal of Mining Science, 2020, Vol. 56, No. 3, pp. 416–425.
4. Еременко В.А., Галченко Ю.П., Липницкий Н.А., Умаров А.Р. Каркасная горная конструкция при подземной разработке мощных рудных месторождений// Горн. журнал. — № 9 — 2021.

РАСЧЕТ СВОЙСТВ ЭКВИВАЛЕНТНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ «КАРКАСНОЙ» ГОРНОЙ КОНСТРУКЦИИ*

Хажылай Ч.В., Умаров А. Р., Янбеков А. М.

Горный институт НИТУ «МИСиС», г. Москва, Россия

При расчете свойств эквивалентного материала модели каркасной горной конструкции для условий подземной разработки мощных рудных месторождений были использованы теории подобия и анализа размерностей. Выбор эквивалентного материала сводится к поиску удобноработаемых смесей, которые не обладают длительными сроками схватывания и твердения, а по своим физико-механическим свойствам

обеспечивают подобие с горными породами. При этом безразмерные константы (коэффициенты Пуассона (при моделировании упругих систем) и углы внутреннего трения) должны численно совпадать в эквивалентном материале и горных породах.

В теории подобия, подобными называют явления, происходящие в геометрически подобных системах, если у них во всех сходственных точках отношения одноименных величин постоянны [4].

Механическое подобие определяется заданием переходных множителей для длины (геометрическое подобие), времени (кинематическое подобие) и массы (динамическое подобие). Элементы, характеризующие исходную натурную систему, отмечают подстрочным индексом «н», а элементы модели – подстрочным индексом «м». Переходные множители для соответственных элементов системы обозначают буквой «т» с подстрочным индексом того элемента, который характеризуется данным множителем.

Теории подобия и размерностей устанавливают условия, при которых явления становятся точно или приближенно подобными. В теории подобия эта задача решается изучением уравнений, описывающих рассматриваемое явление. Теория размерностей основывается на анализе размерностей физических величин, характерных для данного явления.

Эквивалентный материал при проведении научно-исследовательской работы подбирался в соответствии с теоремами, условиями и критериями подобия, которые выражаются следующим уравнением [5]:

$$\frac{P_n t_n^2}{\rho_n l_n^3} = \frac{P_m t_m^2}{\rho_m l_m^3} = N_l = idem \quad (1)$$

где P – сила, t – время, ρ – плотность, $кг/м^3$; l – линейные размеры элементов модели и массива, m ; N_l – критерий подобия, характеризующий общее условие динамического подобия механических систем.

По критерию подобия (1) выражаем экспериментальные прочностные характеристики, которые справедливы при действии статических и динамических нагрузок:

$$\sigma_{сж/р/нм} = \frac{\sigma_{сж/р/нн}}{m_\gamma \cdot m_l} \quad (2)$$

$$C_m = \frac{C_n}{m_\gamma \cdot m_l} \quad (3)$$

$$tg(\varphi_m) = tg(\varphi_n) \quad (4)$$

$$E_m = \frac{E_n}{m_\gamma \cdot m_l^3} \quad (5)$$

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-17-00034).

где $\sigma_{сж/р/и}$ – прочность на сжатие, растяжение и изгиб соответственно, МПа; γ – удельный вес, МН/м³; С – сцепление, МПа; φ – угол внутреннего трения; Е – модуль упругости, МПа.

При моделировании системы в соответствующем геометрическом масштабе продолжительность тех или иных процессов обычно изменяется. Для различных процессов масштабы времени различны. При моделировании динамических процессов масштаб времени $m_t = 1$, процессы фильтрации подземных вод протекают в модели быстрее, чем в натуральных условиях, в число раз, равное квадрату геометрического масштаба $m_t = m_l^2$. При моделировании процессов пластических деформаций, смещений и деформаций пород с разрывом сплошности, а также деформаций элементов крепи они протекают быстрее при разрушении модели, чем в натуральных условиях в пределах $m_t \leq m_l \leq \sqrt{m_l}$.

Условием подобия при расчете экспериментальных характеристик модели является геометрическое подобие паспортов прочности геоматериала модели и горной породы, представленных в виде огибающих предельных кругов Мора, т.е. подобие сцепления и угла внутреннего трения.

Упростить задачу подбора геоматериала можно выявив фактор, оказывающий преобладающее влияние на процесс разрушения, т.е. с помощью сравнения прочностных свойств материала модели и массива по некоторой условной функциональной характеристике прочности, соответствующий данному виду.

На этом же этапе определяют физико-механические свойства эквивалентных материалов для горных пород с соблюдением ряда условий и критерия подобия.

Расчет физико-механических свойств эквивалентного материала для условий применения каркасной горной конструкции производился с геометрическим подобием с масштабам $l_m/l_M = m_t$, так как размер моделей 200×200×200 мм с погрешностью ±5 мм ограничивается возможностями комплексного стенда на котором они разрушались при трехосном нагружении. Данные физико-механических свойств пород выбраны из программы RocProp (γ , $\sigma_{сж}$, σ_p , Е и ν), параметры паспорта прочности С и φ определены в соответствии с [7] и Приложением 2 ГОСТ 21153.8–88 «Породы горные. Методы определения прочности при объемном сжатии».

Расчеты выполнены для горизонтальных параметров очистного пространства 40×40 м квадратной формы, высотой 60 м и целиков шириной 7 м:

$$m_l^{-1} = \frac{l_m}{l_n} = \frac{1,0 \text{ м}}{101 \text{ м}} = 0,0099.$$

Результаты расчетов физико-механических свойств эквивалентного материала для осадочных пород по различным базам данных представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Расчеты физико-механических свойств эквивалентного материала для осадочных горных пород по базе данных программы RocProp

Горная порода		γ , МН/м ³	$\sigma_{сж}$, МПа	σ_p , МПа	С, МПа	Е, МПа	φ , °	ν
Брекчия	В натуральных условиях	0,027	362,9 7	17,77	64,48	84310,0	61,1	0,27
	В модели	0,015	2,03	0,10	0,36	470,9		
Песчаники	В натуральных условиях	0,023	56,25	4,35	11,89	15410,0	53,8	0,18
	В модели	0,015	0,37	0,03	0,08	101,0		
Алевролиты	В натуральных условиях	0,028	35,68	3,48	8,19	22380,0	49,7	0,20
	В модели	0,015	0,19	0,02	0,04	118,5		
Известняки	В натуральных условиях	0,023	59,7	4,76	12,76	40800,0	53,3	0,25
	В модели	0,015	0,39	0,03	0,08	263,9		
Доломиты	В натуральных условиях	0,027	116,9 1	6,42	21,72	55420,0	59,4	0,45
	В модели	0,015	0,65	0,04	0,12	307,3		

Таблица 2 – Расчет физико-механических свойств эквивалентного материала для осадочных горных пород по данным [6,7]

Горная порода		γ , МН/м ³	$\sigma_{сж}$, МПа	σ_p , МПа	С, МПа	Е, МПа	φ , °	ν
Брекчия	В натуральных условиях	0,029	213,0	17,0	45,53	760,0	53,2	0,38
	В модели	0,015	1,08	0,09	0,23	3,9		
Песчаники	В натуральных условиях	0,035	300,0	43,5	78,74	1680	42,1	0,37
	В модели	0,015	1,27	0,18	0,33	7,1		
Алевролиты	В натуральных условиях	0,028	240,0	35,0	63,11	820,0	42,0	0,49
	В модели	0,015	1,25	0,18	0,33	4,3		
Известняки	В натуральных условиях	0,030	260,0	38,0	68,41	930,0	42,0	0,45
	В модели	0,015	1,3	0,19	0,34	4,7		
Доломиты	В натуральных условиях	0,028	240,0	16,0	65,0	1190,0	61,0	0,48
	В модели	0,015	1,27	0,08	0,34	6,3		

Заключение

На основе теоретических исследований определены параметры эквивалентного материала модели каркасной горной конструкции для условий подземной разработки мощных рудных месторождений.

Список литературы

1. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П. Природоподобная геотехнология комплексного освоения недр: проблемы и перспективы. – М.: ООО «Научтехлитиздат», 2020. – 368 с.
2. Еременко В. А., Галченко Ю. П., Косырева М. А. Оценка влияния геометрических параметров, традиционно применяемых и природоподобных систем подземной разработки рудных месторождений на исходное поле напряжений // ФТПРПИ. — 2020. — № 3. — С. 98–109.
3. Tiwari R. P., Rao K.S. Physical modeling of a rock mass under a true triaxial stress state. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 41, No. 3, CD-ROM, 2004.
4. Кирпичев М. В. Теория подобия. М.: Издательство академии наук СССР, 1953, 95 с.
5. Глушихин Ф.П., Кузнецов Г.Н., Шклярский М.Ф. и др. Моделирование в геомеханике. М.: Недра, 1991, 240 с.
6. Протодьяконов М.М., Тедер Р.И., Ильницкая Е.И. и др. Распределение и корреляция показателей физических свойств горных пород: Справочное пособие. М.: Недра, 1981, 192 с.
7. Баклашов И.В. Геомеханика: Учебник для вузов. В 2-х т. Т.1. Основы геомеханики. М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004)– М.: Издательство «Горная книга». № 6–2021. – С. 84–94.

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Новиков Ю.В. Бурдонов А.Е.

ИРНИТУ, г. Иркутск

В этом исследовании были отобраны три представителя магматических пород порфирит долерит и габбро-долерит для исследования их физико-механических характеристик при воздействии различных температурах. Исследования крепости образцов проводились при температурах +200°С, +25°С, –30°С и –195,75 °С. После термической обработки значения крепости некоторых образцов менялись, порфирит имеющий самую высокую крепость, после обработки температурой +200°С и –30°С уменьшил это значения, однако при обработке жидким азотом крепость выросла. Таким образом, были получены зна-

ния об изменении физико-механических характеристик исследуемых магматических пород при различных температурах. Это позволит в дальнейшем быть базой для дальнейших исследований, так и позволит повысить эффективность разрушения пород.

Ключевые слова: Коэффициент крепости, магматические породы, азот, климатические камеры, минералогия, СЭМ.

Введение

Магматические и метаморфические породы составляют от 90 до 95% внешней 16 км земной коры. Магматические породы являются естественными минеральными агрегатами, возникновение которых происходит при кристаллизации или застывании эндогенных расплавов, или по-другому магм. Данные породы обладают жесткими кристаллизационными связями между минеральными зернами, что обуславливает их высокую прочность.

Магматические породы также являются вмещающими для большинства руд, содержащих черные, цветные и благородные металлы и прочие полезные компоненты, разрабатываемые в горно-обогатительной индустрии [1,2]. Для качественного извлечения компонента требуется добиться определенного класса крупности, добиться этого можно используя энергоемкие процессы дробления и измельчения, однако для раскрытия зерна полезного компонента требуется в среднем 18000 кВт*ч.

Для уменьшения энергоемкости или же повышения образования большего количества новых поверхностей при той же затраченной энергии используются методы предварительной обработки материала. Авторы отмечают, что температурное воздействие на материал, в том числе на горную породу, является самым легко управляемым процессом. Однако под действием высоких температур происходит множество метаморфоз, которые могут способствовать протеканию другим изменениям. Эти факторы обуславливают сложность установления, каких либо зависимостей, которые впоследствии могли бы позволить прогнозировать поведения пород при их разрушении.

Важность постоянной температуры объясняется представительностью результатов[3]. Породы при отрицательных температурах меняют свои физико-механические свойства, что может вызвать повышенный износ контактирующего оборудования, а также повышение энергопотребление. Исследование крепости пород при различных температурах позволит получить фундаментальное понимание происходящих процессов в гетерогенных структурах пород.

Цель: Определение зависимости крепости пород от температурного влияния.

Задача: Определить крепость пород при различном температурном воздействии.

Материалы и методы

В этой статье были рассмотрены образцы порфирита долерита и габбро-долерита. Использован оптический микроскоп Olympus GX51. Предельное увеличение микроскопа: $\times 1000$ (сменные объективы $\times 5$, $\times 10$, $\times 20$, $\times 50$, $\times 100$).

Для определения структуры материала и его внешних дефектов была применена сканирующая электронная микроскопия JEOL модели JВ-4500.

Для определения крепости пород был использован прибор определения крепости ПОК, состоящий из стакана, вставленного в него трубчатого копра, внутри которого свободно помещается гири массой $2,4 \pm 0,01$ кг с ручкой, привязанной к гире шнуром.

Методика была определена ГОСТ 21153.1-75 «Метод Определения коэффициента крепости по Протодюяконову» были подготовлены навески по 40–60 г при крупности кусков 20–40 мм. Таким образом, было отобрано по 80 навесок на каждый образец, которые были разделены на 4 группы, предназначенные для проведения испытания при комнатной температуре которая будет считаться базовой температурой, при температуре -30°C которая является примерной температурой при разработке месторождений открытым способом, при температуре $-195,75^\circ\text{C}$, данную температурой обладает жидкий азот и при температуре $+200^\circ\text{C}$ которая потребуется для корреляции данных и получения результатов для обезвоженных руд. Обработка полученных результатов происходит следующим образом:

Коэффициент крепости горной породы по Протодюяконову вычисляют по формуле

$$f = \frac{20 \cdot n}{h}$$

где 20 – эмпирический числовой коэффициент, обеспечивающий получение общепринятых значений коэффициента крепости и учитывающий затраченную на дробление работу; n – число сбрасываний гири при испытании одной навески; h – высота столбика мелкой фракции в объеме после испытания пяти навесок, мм.

За окончательный результат испытания принимают среднее арифметическое результатов четырех определений.

Исследовательская часть

Все исследуемые образцы представлены массивной структурой, на каждом образце присутствуют следы постмагматических трещин и изменений. Образец порфирита при изучении на оптическом и электрон-

ном микроскопе показал массивность своего строения, которая объясняет высокую плотность и крепость данной породы. Различия долерита и габбро-долерита заключается в более мелких кристаллах, которые не являются такими явными концентраторами напряжений.

Определение крепости пород при различных температурах методом М.М. Протодюяконова

После определения минералогии, структуры и текстуры пород. Проведено исследование по определению коэффициента крепости по Протодюяконову.

Сущность метода заключается в определении коэффициента крепости, который пропорционален отношению работы, затраченной на дробление горной породы, к вновь образованной при дроблении поверхности, оцениваемой суммарным объемом частиц размером менее 0,5 мм.

Исследовать образцы было принято по понижению температуры. Отобранные навески размещались в сушильном шкафу который был розогрет до $+200^\circ\text{C}$ на 15 минут. Результаты проведенных опытов были представлены на графике 1.

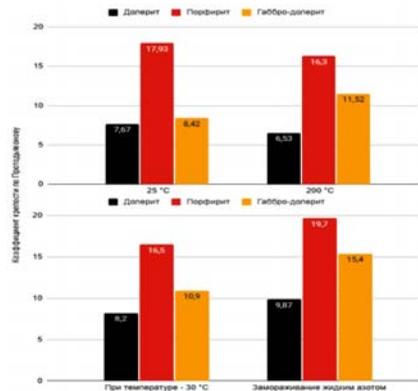


График 1 – Результаты и сравнение коэффициента крепости по Протодюяконову при температуре 25°C , 200°C , -30°C и $-195,75^\circ\text{C}$

Заключение

В результате выполненной работы были исследованы оптические свойства пород. С помощью оптического микроскопа было выявлено, что долерит, порфирит, габбро-долерит обладает массивной структурой, присутствуют следы постмагматических изменений. Следующим этапом было изучение крепости пород. Изучение проводилось по ГОСТ 21153.1-75 «Метод Определения коэффициента крепости по Протодряконову». Было подготовлено 4 группы, предназначенные для проведения испытания при комнатной температуре которая будет считаться базовой температурой, при температуре -30°C , $-195,75^{\circ}\text{C}$, $+200^{\circ}\text{C}$.

Температура пород является важным фактором при разрушении пород. Установленные зависимости позволяют отделить, при каких температурах энергетически выгоднее разрушать руду, или же, если требуется узкий класс крупности, предварительно обработать породу. Сферы использования данного типа пород расширяются, и эффективное достижение требуемых характеристик в дальнейшем приведет к меньшим экономическим затратам.

Список литературы

1. Li W, Liu X-M, Wang K, Koefoed P. Lithium and potassium isotope fractionation during silicate rock dissolution: An experimental approach. *Chemical Geology*. 2021 г.;568.
2. Wei B, Wang CY, Wang Z, Cheng H, Xia X, Tan W. Mantle-derived gold scavenged by bismuth-(tellurium)-rich melts: Evidence from the mesozoic wulong gold deposit in the north china craton. *Ore Geology Reviews*. 2021 г.;131.
3. Influence of temperature on the strength of alumina-containing raw materials Burdonov A.E., Fedotov P.K., Novikov Y.V., Garashchenko A.A., Kuzmin M.P., Rasskazova A.V. *Metalurgija (Zagreb, Croatia)*. 2021. T. 60. № 3-4. С. 415-418.

ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УГОЛЬНОГО МАССИВА ПРИ БУРЕНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН

Радченко А.Г.¹, Кислев Н.Н.¹, Новиков О.А.¹, Радченко А.А.²

¹ *Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (Министерство образования и науки, г. Донецк)*

² *ООО «Лемакс», г. Таганрог*

В статье рассмотрены изменения напряженно-деформированного и газодинамического состояний угольного массива впереди горных выработок, проводимых на выбросоопасных угольных пластах.

Целью настоящей работы является рассмотрение основных закономерностей изменения напряженно-деформированного и газодинамического состояний угольного массива впереди горных выработок, проводимых на выбросоопасных угольных пластах.

В работе [1] сотрудниками МакНИИ были приведены данные измерений усилий подачи буровых штанг – F , кг по длине скважин, которые бурились в выбросоопасных и неопасных зонах. Исследования проводились на шахтах Донбасса в условиях ПО «Донецкуголь» и ПО «Октябрьуголь». Усилия подачи штанг регистрировали непрерывно с помощью осевого пружинного динамометра, также на каждом метровом интервале скважины с помощью устройства УГБ измеряли дебит газа – $J_{\text{бур}}$, л/мин. Исходные данные для условий ПО «Донецкуголь», шахта им. М. И. Калинина, пласт h_{10} , 4-я восточная лава, выработки: В-1 (опасная зона) и В-2 (неопасная зона) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Усилия подачи буровых штанг – F , кг по длине скважин

№.№	Усилие подачи F, кг по длине скважин, м								X_{cp}	S	S^2
	2	3	4	5	6	7	8	9			
В-1	15	16	14	11	7,4	4,3	6,3	10	10,5	4,29	18,4
В-2	21	20	23	22	19	18	16	15,4	19,3	2,73	7,45
В-8	18	16	12	8	2	9	12	–	11,0	5,32	28,3
В-9	31	36	33	28	30	20	17	–	27,9	6,91	47,75

Оценка отличия опасных зон (В-1) от неопасных зон (В-2) выполнена нами по t -критерию Стьюдента, приведенному в работе [2]. В данном случае количество измерений в выборках составило $n_1 = n_2 = 8$, дисперсии выборок В-1 и В-2 не равны: $S_1^2 \neq S_2^2$. Тогда согласно [2] t – распределение определяется по формуле (1), а количество степеней свободы – K рассчитывается по формуле (2):

$$t = \frac{2n - 2}{\frac{s_1^2}{s_2^2} + \frac{s_2^2}{s_1^2}}; \quad (1)$$

$$K = n - 1 + \frac{2n - 2}{\frac{s_1^2}{s_2^2} + \frac{s_2^2}{s_1^2}}; \quad (2)$$

Согласно формуле (1), $t_{\phi} = 4,89$. Для 1% уровня значимости и при $K=12$ табличное значение составит: $t_{st} = 3,05$. Так как $t_{\phi} > t_{st}$, то нулевая гипотеза – *H₀* отвергается. При высоком уровне значимости – $P < 0,01$ разница между средними величинами усилий подачи буровых штанг – F , кг по глубине скважин в опасных и неопасных зонах оказалась в высокой степени достоверной и значимой.

В таблице 1 приведены также данные измерений F , кг по глубине скважин для условий ПО «Донецкуголь», шахта Кировская, пласт h_7 , выборки: В-8 (опасная зона) и В-9 (неопасная зона). Согласно выражению (1), $t_{\phi} = 5,12$. Для 1% уровня значимости и при $K = 11$ табличное значение $t_{st} = 3,11$. Так как $t_{\phi} > t_{st}$, то нулевая гипотеза – *H₀* отвергается. При высоком уровне значимости – $P < 0,01$ разница между средними величинами усилий подачи буровых штанг – F , кг по глубине скважин в опасных и неопасных зонах по выборкам В-8 и В-9 также оказалась в высокой степени достоверной.

Следует отметить, что выбросоопасность зон оценивалась по изменению величин параметров F , кг и $J_{\text{бур}}$, л/мин. Анализ данных [1] показал, что выбросоопасные зоны характеризуются повышенной изменчивостью параметров F , кг и $J_{\text{бур}}$, л/мин: а) опасные зоны по параметру F , кг отличаются от неопасных пониженными средними арифметическими значениями – $X_{\text{ср}}$ и повышенными коэффициентами вариации $K_{\text{вар}}$, % ; б) по скоростям газовыделения – $J_{\text{бур}}$, измеренным на метровых интервалах бурения скважин, отличаются более высокими абсолютными значениями и диапазоном их изменения.

Аналогичные исследования изменения параметра F при бурении скважин были выполнены в Кузбассе. Совместными усилиями сотрудников ИГД СО АН СССР и ВостНИИ был разработан динамограф, позволяющий измерять положительные ($+F$) и отрицательные усилия ($-F$) подачи бурового сверла, а также продолжительность интервалов бурения при значениях $+F$ и $-F$. [3]. Анализ данных работы [3] показал, что для выбросоопасных зон для интервалов бурения скважин: 2,5–3,5 м; 3,5–4,5 м и 4,5–5,5 м показатели безразмерного усилия ($-Fcp / +Fcp$) выше в 12–30 раз по сравнению с неопасными зонами.

Обзор литературы показал, что энергия в горном массиве передается в виде волн, угольный пласт является волноводом. Впереді проводимых забоев движется волна давления. Эту идею впервые высказал Г. Вебер в 1914 году. Немчик маркшейдерскими измерениями подтвердил наличие волнового давления впереди лавы. Волновой характер распределения опорного давления впереди движущихся забоев показан в

работах Ж.М. Канлыбаевой, И.Л. Черняка, В.Е. Зайденварга, Н.И. Лобкова, В.Я. Кириченко, Ю.М. Халимендика, Б.М. Усаченко, А.В. Левшина и других, а также в научных открытиях № 188 и № 318. Периодические, циклические посадки пород основной кровли определяют волновой характер изменения напряженного и газодинамического состояний в призабойной части угольных пластов [4].

В условиях ПО «Донецкуголь», на шахте Заперевальная № 2 на особо выбросоопасном пласте h_{10} в лавах измеряли в скважинах диаметром $d = 42$ мм и длиной $L = 10$ м начальную скорость газовыделения – q_n , л/мин. Поинтервальные измерения через каждый метр выполняли сразу после бурения скважин и при длине измерительной газовой камеры $l = 0,20$ м. Затем измерения повторяли через 1, 2 и 3 часа. Установлено, что изменение параметра q_n носит волнообразный характер с двумя максимумами, расположенными на расстояниях: 1) 3–4 м и 2) 6–7 м от поверхности забоя, [4]. В подготовительных забоях в условиях шахты «Красноармейская-Западная № 1» (в настоящее время – ш/у «Покровское») по пласту d_4 в блоке № 10 были проведены исследования изменения q_n . Измерения выполнялись по методике ведения текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов по q_n . В результате выполненных измерений установлено, что наблюдается чередование участков с повышенными и пониженными значениями суммарного газовыделения по шпурам – $\sum q_n$, [4].

Выводы. Впереди проводимых горных выработок наблюдается чередование зон сжатия и растяжения как по вертикали, так и по горизонтали. Выбросоопасные зоны характеризуются: 1) пониженными значениями усилий подачи буровых штанг – F , кг по длине скважин; 2) повышенными значениями по параметрам $J_{\text{бур}}$ и g_n .

Список литературы

1. Пантелеев, А.И. К оценке выбросоопасности призабойной части угольного пласта [Текст] / А.И. Пантелеев, Я.Н. Бойко, А.А. Рубинский // Создание безопасных условий труда в угольных шахтах: сб. научн. трудов МакНИИ. – Макеевка – Донбасс, 1986. – с. 47–51.
2. Лакин, Г.Ф. Биометрия [Текст]: Учеб. пособие для биол. спец. вузов – 4-е изд., перераб. и доп. / Г. Ф. Лакин. – Москва, «Высшая школа», 1990. – 352 с.
3. Чернов, О.И. Прогноз внезапных выбросов угля и газа [Текст] / О.И. Чернов, В.Н. Пузырев // М.: Недра, 1979. – 296 с.
4. Минеев, С.П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: [монография], [Текст] / С.П. Минеев, А.А. Рубинский, О.В. Витушко, А. Г. Радченко // Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010. – 603с.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ РАЗНОВРЕМЕННОГО ВЗРЫВА РЯДОВ СБЛИЖЕННЫХ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ

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

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Современные требования рыночной экономики и усложнения условий разработки месторождений требуют новых научно-технических подходов на глубоких карьерах и рудниках при комплексном освоении недр [1]. Общий принцип к исследованию современных проблем и их решению предусматривает анализ взаимодействия взрывного разрушения массивов горных пород и геомеханических факторов систем разработки твердых полезных ископаемых. В этой связи выдвинута в середине 1960-х годов идея увеличения массы и мощности технологических зарядов за счет их деконцентрации в группах параллельно сближенных скважинных зарядов (пучках) открыла новое направление во взрывном разрушении горных пород, обозначив концептуально иные возможности распределения энергии в разрушаемом массиве [2]. В течение почти четырех десятилетий отбойка руды группами параллельно сближенных скважинных зарядов применялась с локальным успехом на горных предприятиях как средство увеличения масштаба отбойки при отсутствии средств бурения скважин большого диаметра на подземных горных работах. В этом отношении в практике прежде всего нашло широкое применение пучков сближенных скважинных зарядов с целью массовой отбойки увеличенных объемов массивов горных пород удовлетворительного качества дробления. Здесь были задействованы такие их два технологических фактора, как достижение практически любого одинарного скважинного диаметра эквивалентным по энергии пучком диаметров сближенных зарядов, с одной стороны, с другой – возможность увеличения удельного расхода взрывчатых веществ до приемлемого, а практически так же любого уровня [3]. Однако оставалась практически не использованной еще одна потенциальная возможность, заложенная в идее деконцентрации зарядов большой мощности, хотя актуальность и настоятельная необходимость развития качественно новых путей действия взрыва, как основы ряда горных технологий, вполне очевидна [4]. Это теоретически давно раскрытый дополняющий концептуальные возможности, но не реализованный до сих пор, фактор направленного распределения энергии взрыва в разрушаемом массиве, т.е. его управление.

Известно, что господствующая в горном деле парадигма в буровзрывных работах связана с техникой бурения скважин и шпуров круглой в сечении формы (полости) с размещением в ней взрывчатого вещества. Однако в горной науке и практике разнообразие условий горного производства издавна требует создания способов разрушения горных пород с асимметрией распределения энергии взрыва в пространстве и максимальной ее концентрации в определенных направлениях.

В этой связи рассмотрен новый аспект концептуального направления, базирующийся на принципиально новом механизме действия взрыва групп параллельно–сближенных скважинных зарядов, позволяющий эффективно расширить их использование в различных горно-технических приложениях. Идея механизма направленного взрывания заключается в способе одновременного взрыва рядов сближенных удлиненных зарядов и исследовании параметров создаваемого им волнового поля с помощью компьютерного моделирования на базе соответствующей программы. Разработка нового механизма действия взрывного процесса с применением компьютерной программы и численного моделирования расчетов позволили использовать изменение формы и конструкции заряда как средство увеличения доли потока энергии взрыва ВВ в определенном направлении. Физика взрыва включает одновременную детонацию в определенной последовательности и взаимодействие между собой сближенных рядов на расстоянии около четырех диаметров одного заряда. При этом достигается эффект взрыва одного заряда с возможностью направленного процесса его временного развития в зависимости от состояния массива горных пород и задачи горного производства. Исследование заключается в компьютерном моделировании взрывного процесса сравнительных схем расположения определенных форм короткозамедленных рядов сближенных скважинных зарядов, в частности, вогнутой или линейной форм, и круглой эквивалентной одинарной [4, 5].

Метод включает соответствующий инструментарий, характеризующийся нетрадиционной конструкцией скважинного заряда и использующий механизм воздействия на аномальные состояния массива с сочетанием его взрывных особенностей. Конструкция деконцентрированного заряда, как средства увеличения доли потока энергии взрыва ВВ в заданном направлении, влечет существенное повышение КПД направленного взрыва и, в частности, сводит к минимуму его действие в обратном, «законтурном», направлении. По результатам исследований предложен метод взрывных работ, конструктивные особенности заряда и взрывчатых веществ которого при взрыве формируют механизм

направленного взрыва заряда. В рамках взаимодействия различных горнотехнических процессов рассмотрены вопросы нейтрализации взрывным методом влияния аномалий состояния массива на горные разработки. Так, в частности, намечен способ размещения сближенных скважинных зарядов ВВ в местах (камерах) угольного массива и их последующее направленное камуфлетно-сотрясательного взрывание, как «обработка» выбросоопасного пласта, для предупреждения внезапных выбросов угля и газа.

Выводы

Дана методология исследования и разработки метода направленно-го действия взрывных работ децентрализованными зарядами. Представлены различные технические и технологические аспекты его применения, включающие механизм воздействия на аномальные состояния массива и соответствующий инструментарий, характеризующийся нетрадиционной конструкцией скважинного заряда с сочетанием его взрывных особенностей.

Список литературы

1. Викторов С.Д. Механика сдвига и разрушения горных пород. /С.Д. Викторов, С.А. Гончаров, М.А. Иофис, В.М. Закалинский /Отв. ред. акад. РАН К.Н. Трубецкой; Ин-т проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН. – М.: РАН. – 2019. – 360 с.
2. Викторов С.Д., Галченко Ю.П., Закалинский В.М., Рубцов С.К. Разрушение горных пород сближенными зарядами /С.Д. Викторов, Ю.П. Галченко, В.М. Закалинский, С.К. Рубцов. – М.:ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2006. – 276 с.
3. Еременко А.А. Совершенствование технологии буровзрывных работ на железорудных месторождениях Западной Сибири /А.А. Еременко. – Новосибирск: Наука. – 2013. – 192 с.
4. Казаков Н.Н., Викторов С.Д., Шляпин А.В., Лапиков И.Н. Дробление горных пород взрывом в карьерах. /Н.Н. Казаков, С.Д. Викторов, А.В. Шляпин, И.Н. Лапиков. – М.: РАН, 2020. – 520 с.
5. Минеев С.П., Шиповский И.Е. Моделирование поведения массива при взрывном проведении выработки вблизи выбросоопасного пласта // Форум Горняков–2014. Национальный горный университет / Материалы международной конференции «Геомеханика и геотехника». Том 2. Днепропетровск. – 2014. – С. 81–91.
6. Yi, C., Johansson, D., Nyberg, U. et al. Stress Wave Interaction Between Two Adjacent Blast Holes (Взаимодействие волн напряжений между двумя соседними взрывными скважинами). *Rock Mech Rock Eng* 49, pp. 1803–1812 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00603-015-0876-x>.

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ОБРАЗЦАХ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ТЕРМОБАРИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

Чепур М.Д., Николенко П.В.

*Национальный исследовательский технологический
университет «МИСиС», Минобрнауки РФ*

К основным методам контроля строения и состояния приконтурного массива относятся методы, основанные на использовании ультразвуковых сигналов в режиме межскважинного прозвучивания или каротажа. Использование ультразвуковых скважинных измерений для оценки параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) пород на практике часто сталкивается с низкой чувствительностью информативных параметров к приращению напряжений (граничащей с погрешностями используемой приемной аппаратуры) [1,2]. Одним из возможных подходов к увеличению эффективности ультразвуковых методов контроля НДС может быть использование повышенной температуры в качестве фактора, увеличивающего чувствительность скоростей упругих волн к изменениям напряженного состояния.

Целью работы являлось исследование влияния температуры, давления и особенностей строения наиболее распространенных осадочных горных пород на параметры продольных и поперечных волн.

В испытаниях участвовали 5 групп образцов осадочных горных пород с различными значениями плотности и пористости. Группа И1 – пористые известняки Сары-Ташского месторождения, Д1 – доломиты нефтегазоконденсатного месторождения Жанажол; И2 – плотные известняки Касимовского месторождения; Д2 – плотные доломиты Новомосковского гипсового месторождения; М – мрамор Кибик-Кордонского месторождения.

Лабораторные исследования проводились на специально разработанном стенде, позволяющем выполнять измерения параметров продольных и поперечных волн в контролируемых термобарических условиях [3].

Процесс испытаний состоял из ступенчатого увеличения температуры T при фиксированном уровне одноосной нагрузки σ . Термическое нагружение проводилось в диапазоне температур 20–100°C на ступенях давления 0, 3, 6 и 9 Мпа. На каждой стадии выполнялось измерение V_p и V_s . По результату испытания формировался массив данных значений V_p и V_s при различных сочетаниях T и σ .

По полученному информативному массиву данных построены представленные на рис. 1 примеры зависимостей $V_p(T, \sigma)$ и $V_S(T, \sigma)$ для образцов пористого известняка группы И1.

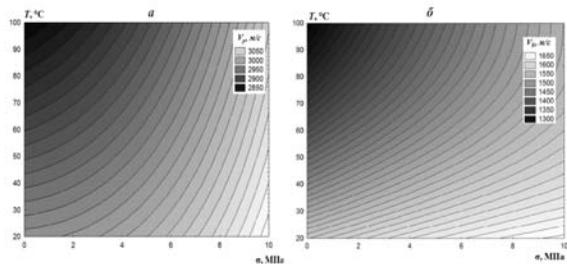


Рис. 1. Изменение скоростей продольной (а) и поперечной (б) волн в зависимости от температуры и осевой нагрузки для образцов группы И1

Анализ зависимости из рис. 1 указывает на то, что увеличение температуры приводит к снижению V_p , а увеличение осевой нагрузки — к увеличению V_p . Результаты измерения V_S показали схожие с V_p особенности.

Для оценки увеличения чувствительности для каждого типа породы и ступени термического нагружения определялся показатель эффективного приращения скорости $\Delta V_{эфф}$:

$$\Delta V_{эфф} = \frac{\Delta V^T}{\Delta V^{20^\circ C}} \quad (1)$$

где: ΔV^T – приращение скоростей на каждой из ступеней температур T , $\Delta V^{20^\circ C}$ – приращение скоростей при температуре $T = 20^\circ C$.

Показатели ΔV^T и $\Delta V^{20^\circ C}$ определялись, как отношение максимального значения значению скоростей продольной или поперечной волны при данной температуре T к минимальному.

Значения показателя $\Delta V_{эфф}$ больше 1 означают, что дополнительный нагрев породы приводит к повышению чувствительности V_p и V_S к изменениям напряженного состояния образцов. На рис. 2 приведены результаты расчета $\Delta V_{эфф}$ на примере образцов пористого известняка группы И1 (а) и плотного мрамора группы М (б).

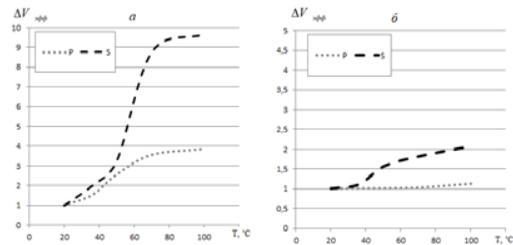


Рис. 2. Экспериментально определённые значения $\Delta V_{эфф}$ для продольных и поперечных волн образцов групп И1 (а) и М (б)

Экспериментально установлено, что наибольшее увеличение чувствительности наблюдается в группах И1, Д1 и И2. Рост $\Delta V_{эфф}$ можно объяснить образованием множества микротрещин в результате температурного воздействия [4]. Различия в значениях $\Delta V_{эфф}$ и $\Delta V_{эфф}$ объясняется механизмами взаимодействия продольных и поперечных волн с трещинами. Большой объем порового пространства известняков группы И1 позволяет обеспечить более высокую чувствительность скорости поперечных волн к изменению напряженно-деформированного состояния образца, чем в более плотных образцах мрамора группы М.

Полученные результаты могут стать основой для разработки новых высокочувствительных методов контроля НДС приконтурного массива.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-00152).

Список литературы

1. Sun Y. L., Peng S. S. Development of in-situ stress measurement technique using ultrasonic wave attenuation method – a progress report. Proceedings of the 30th US Symposium on Rock Mechanics. Morgantown, Rotterdam: Balkema, 1989, pp. 477–484.
2. Lovchikov A. V. Comparison of efficiency of in-situ methods for controlling the stress state of pillars under ultimate loads. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2020, Vol. 1.2, pp. 491-502.
3. Николенко П. В., Шкуратник В. Л. Установка для ультразвуковых измерений на образцах геоматериалов в условиях термобарических воздействий // ГИАБ. — 2019. — № 5. — С. 89–96.

4. Kern H. Elastic wave velocities and constants of elasticity of rocks at elevated pressures and temperatures // In: Hellwege K.-H. (Ed.), Landolt-Boernstein, 1982, pp. 99 – 140.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ ПРИМЕНительно К ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Ревва В.Н., Васютин В.В.

Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, г. Донецк

Горные породы относятся к хрупким телам, ослабленным различными дефектами типа трещин, при описании процесса разрушения горных пород целесообразно использовать параметр, характеризующий способность материала сопротивляться росту трещин. Необратимая энергия, потребляемая на рост трещины в твердом теле, является основной характеристикой процесса разрушения, коренным образом отличающей его от других процессов. Для зарождения и роста трещин в настоящее время используются силовой и энергетический критерии. При выполнении силового критерия межатомные связи разрываются за время порядка периода межатомных колебаний. Этот критерий является достаточным. Выполнение энергетического критерия означает возможность разрыва, т. е. является необходимым.

Существование пластической зоны, окружающей трещину, связано с определенными энергетическими затратами. Поэтому вместо удельной поверхностной энергии вводится эффективная поверхностная энергия (ЭПЭ), включающая собственно ПЭ, энергию пластической деформации (основные затраты) и другие затраты энергии (см. далее). Величину ЭПЭ в основном определяют как затраты на пластическое деформирование материала в окрестности устья трещины. Так, для пластичных тел $\gamma_{\text{эф}} = (10^2 - 10^4) \gamma \approx \gamma_{\text{фл}}$, т. е. энергией свободной поверхности можно пренебречь по сравнению с работой пластической деформации в пластической зоне [1].

Значительная часть энергии при разрушении поглощается различными неупругими и диссипативными процессами вблизи распространяющейся трещины, и формированием микротрещин в стороне от главной плоскости трещин. Эффективная поверхностная энергия разрушения включает в себя также тепловую, электрическую компоненту, обусловленную накоплением зарядов на берегах образующихся микротрещин,

акустическую, микросейсмическую и ряд других, более слабо влияющих на величину поверхностной энергии.

Наибольшее изменение ПЭ твердых тел происходит при воздействии поверхностно-активных сред (эффект Ребиндера). В горных породах и углях чаще всего присутствует минерализованная вода. Вопросы изучения состояния воды и степени ее влияния и на ЭПЭ углей и пород освещены в работах [2, 3]. Так, ЭПЭ песчаников с силикатным цементом снижается до 6 раз. При этом наибольшее снижение происходит при содержании влаги 1,2-1,5 %. В песчанниках с карбонатным цементом (особенно базальным) ЭПЭ уменьшается до 1,5 раза, при этом наибольшее снижение происходит при содержании влаги до 0,5-0,75 %.

В случае ярко выраженной анизотропии в осадочных горных породах величина ЭПЭ меняется в пределах порядка в зависимости от направления плоскости разрушения к слоистости, структурной ориентации и текстуры.

В настоящее время величина ЭПЭ $G_{\text{эф}}$ представляет наибольший интерес для практики, как характеристика, интегрально учитывающая все энергопоглощающие процессы, локализованные непосредственно перед фронтом трещины. В отличие от используемых для оценки разрушения горных пород прочностных и деформационных характеристик, учитывающих усредненные свойства образца при нагружении, ЭПЭ дает возможность оценить его локальные свойства, являясь фундаментальной характеристикой сопротивляемости горных пород разрушению.

Сейчас имеется ряд экспериментальных методов определения эффективной поверхностной энергии [4-8], которые в основном созданы для металлов. В большинстве методов для определения абсолютной величины ЭПЭ используют искусственно образованную в образце единичную трещину, от которой начинается его разрушение.

Для горных пород наиболее приемлемы, технологичны и апробированы методики это: метод раскалывания дисков инженерный метод и способ определения ЭПЭ горных пород при объемном сжатии [8]. Для керновых проб наиболее технологичным является метод раскалывания дисков, а для штубовых проб применяется инженерный метод определения ЭПЭ [9].

Наиболее точным является способ определения ЭПЭ горных пород при объемном сжатии [8]. На камерезном станке из одного и того же куска породы изготавливаются два образца цилиндрической или кубической формы с различными геометрическими размерами (идентичные образцы). Основание образца ориентируют параллельно слоистости. Образцы разрушаются в объемном поле сжимающих напряжений на специальном объемном прессе (стабилометре), по одной и той же схеме нагружения: $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, моделирующей реальные условия массива горных пород.

Фиксируются полные диаграммы «Среднее нагружение – объемная деформация» и «Касательные напряжения – касательная деформация» на октаэдрической площадке для $\Delta\theta$ обоих образцов. Плотность энергии деформирования есть сумма плотностей энергии изменения объема и энергии изменения формы, которые определяются с помощью планиметра как площади под соответствующими диаграммами.

Увеличение объема образца при пластическом разупрочнении (дилатансии) ΔV_{nz} определяют как разницу между предельным уменьшением объема при сжатии и объемной остаточной деформацией после разрушения, а величину вновь образованной поверхности определяют с помощью ситового анализа. По полученным данным определяют величину удельной поверхности разрушения материала S_v , как отношение вновь образованной поверхности ΔS_n к абсолютному увеличению объема образца ΔV_{nz} при дилатансии:

$$S_v = \frac{\Delta S_n}{\Delta V_{nz}}, \quad (1)$$

ЭПЭ определяют как отношение разности плотностей энергии деформирования двух образцов и разницы их удельных поверхностей ΔS_v :

$$\Gamma = \frac{\Delta W}{\Delta S_v}. \quad (2)$$

Минимальное количество испытуемых образцов определяется точностью определения параметров свойств и вероятностью того, что отклонения от среднего значения будут в пределах доверительного интервала. По одной пробе минимальное количество образцов составляет 3-5.

Список литературы

1. Владимир, В.И. Физическая природа разрушения металлов [Текст] / В. И. Владимир. – М.: Металлургия, 1984. – 280 с.
2. Алексеев, А.Д. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений [Текст] / А. Д. Алексеев, В. Н. Ревва, Н. А. Рязанцев – К.: Наукова думка, 1989. – 168 с.
3. Алексеев, А.Д. Предельное состояние горных пород. А.Д. Алексеев, Н.В. Недодаев [Текст]. – К.: Наукова думка, 1982. – 200 с.
4. Грибанов, В.Г. Экспресс-метод определения трещиностойкости горных пород и хрупких неметаллических материалов при статическом нагружении [Текст] / В.Г. Грибанов, Г.Ф. Бобров // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1995. – №1. – С. 42–50.
5. Ефимов, В.П. Метод определения трещиностойкости хрупких материалов расклиниванием [Текст] / В.П. Ефимов, Е.Н. Шер // Физико-

технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1996. – № 1. – С.32-36.

6. Вобряков, В.П. Развитие методов экспериментального исследования динамической прочности и критериев разрушения пород [Текст] / В. П. Вобряков, Г. Н. Покровский, Б. Н. Стерпников, В. В. Смирнов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1975. – № 3. – С. 27–31.

7. Ковчик, С.Е. Характеристики кратковременной трещиностойкости материалов и методы их определения [Текст] / С.Е. Ковчик, Е.Н. Морозов // Механика разрушения и прочность материалов. – Киев: Наукова думка. – 1988. – Т.3. – С. 63–72.

8. Способ определения удельной поверхностной энергии горных пород: А.с. 1747992 СССР, МКИ G01N3/00 [Текст] // А.Д.Алексеев, В.Н. Ревва, Н.А. Рязанцев, Г.П. Стариков (СССР). – №4797578/28; Заявлено 28.11.89; Опубл. 15.07.92, Бюл. № 26. – 4 с.

9. Алексеев, А.Д. Экспериментальные исследования вязкости скольжения хрупких тел [Текст] / А.Д. Алексеев, В.Н. Ревва // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – Львів. – 1980. – 16, № 2 – С. 105–106.

АВТОМАТИЗАЦИЯ АЭРОГАЗОВОГО КОНТРОЛЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЗАПЫЛЕННОСТИ

Кубрин С.С.¹, Аверин А.П.¹, Белоусов Ф.С.¹, Терёшкин А.И.²

¹ *Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В.Мельникова РАН*

² *АО «СВЭК-Кузбасс»*

Введение

Высокая динамика мирового рынка полезных ископаемых заставляет добывающие компании постоянно наращивать интенсивность добычи твёрдого сырья подземным способом, не смотря на высокую опасность для технического персонала и окружающей среды. Избыточная интенсификация технологических процессов, протекающих в горной выработке в сложных условиях шахт, опасных по пылевой обстановке и/или по внезапным изменениям своего газодинамического состояния, требует особой осторожности проводимых работ, особенно буровзрывных, и диктует необходимость уделять как можно большее внимание различным методам и средствам контроля безопасности [1].

Не смотря на все принимаемые меры безопасности, угольная отрасль сохраняет свою аварийность, что приводит к поддержанию

довольно высокого уровня травматизма персонала и увеличенных издержек производства на ликвидацию последствий возникающих инцидентов [2].

Особенную опасность представляют аварии, в развитие которых играют решающую роль взрывы метановоздушной смеси и пылевой взвеси. При этом присоединение ко взрыву метановоздушных смесей угольной пылевой взвеси может на несколько порядков увеличить мощность взрыва. Имеет значение как текущая массовая концентрация пылевой взвеси в рудничной атмосфере, так и соотношение между массой и дисперсным составом активной угольной пыли и нейтрализованной (связанной) угольной пыли в пересчёте на единицу поверхности горной выработки.

Практическая работа по обеспечению взрывобезопасности угольных шахт строится на проведение взаимодополняющих друг друга профилактических (предупредительных) мероприятий и мер по локализации взрывного объёма и предотвращению распространения ударной волны.

Таким образом, обеспечение безопасности угольной шахты становится невозможным без использования современных информационных технологий [3, 4].

Актуальные средства аэрогазового контроля – сложные многоуровневые высокоинтегрированные информационные системы, получающие и обрабатывающие данные различных технологических подсистем, и принимающие решения по управлению воздействиям как в полностью автоматическом, так и в автоматизированном режиме. Так, для предотвращения скопления опасных концентраций метана и борьбы с внезапными выбросами используются системы автоматического управления вентиляцией и дегазацией, системами местного проветривания. Для борьбы с пылевой взвесью в рудничной атмосфере используются системы орошения и водяные завесы, а для борьбы с активными пылевыми отложениями используется смачивание и осланцевание, которые также могут проводиться в полностью автоматическом режиме. Также используется автоматическое отключение потенциально опасного электрооборудования.

При возникновении аварийной ситуации по взрыву подключаются системы активные и пассивные системы противодействия, включающие распыление тушащего порошка во фронт движущегося пламени, порошковые и водяные заслоны. Однако по целому ряду объективных причин использование указанных систем носит весьма ограниченный характер. Например, добычные системы не в состоянии предотвратить образование ядовитых аэрозолей, а сами порошковые системы пожаро-

тушения способны нанести не меньший вред организму людей и шахтному оборудованию. Поэтому упор в обеспечении взрывобезопасности делается на профилактические мероприятия, которые ещё совсем недавно проводились на основе данных, полученных в результате лабораторных исследований пылевого осадка и пыли, полученной из воздуха рабочих помещений приборами-пылепроботборниками. При хорошей точности получаемых данных и метрологической повторяемости результатов измерений эти методы имели в недостатке отсутствие оперативности.

Оснащение шахт приборами для прогнозирования перемещения пыли по шахте

Бурное развитие информационных технологий привело к созданию перспективных систем дистанционного мониторинга запылённости горных выработок. Основу таких систем составляют датчики, которые изготовлены во взрывобезопасном исполнении и могут работать как от шахтной питающей сети, так и автономно, передавая накопленные данные по проводным и беспроводным сетевым интерфейсам.

Поскольку прогнозировать перемещение пыли по шахте или помещению не представляется возможным из-за случайного характера воздушных потоков, предлагается разместить в шахте сеть из приборов, оснащённых соответствующим интерфейсом передачи данных. Так как прибор включается только на время измерения, он может длительный время работать от одной аккумуляторной батареи. Через некоторый промежуток времени потребуется зарядить батарею питания.

Расположив приборы вдоль выработки на расстоянии 30...50м друг от друга, на высоте, равной примерно трети высоты прохода, можно, например, построить кривую распределения пылевых осадков [5].

Однако, введя электронные приборы в распределённую систему оценки взрывоопасности текущей ситуации, необходимо чётко контролировать их метрологические характеристики, поскольку даже незначительная ошибка может привести к накоплению погрешности и дать сбой системы прогнозной аналитики.

Актуальным способом оценки запылённости, на данный момент, является одновременный замер массовой доли пылевого осадка (масса пылевого осадка на единицу поверхности) и объёмной доли пылевой взвеси (масса пылевой взвеси на единицу объёма воздуха) [6,7].

Для обеспечения приемлемой точности в измерении пылевого осадка должны использоваться радионизотопные приборы, производящие замеры с достаточно низкой погрешностью (менее $\pm 15\%$ абсолютной измеренной величины). Физический принцип работы прибора — рассеяние мягкого бета-излучения частицами пыли, осевшими на подложку. Чем большее количество пыли находится на фильтре-подложке, тем

больше рассеяние бета-излучения. При этом количество прошедших через пылевой осадок бета-частиц обратно пропорционально массе пылевого осадка, в отличие от различных косвенных методов, к которым, например, относится широко используемый оптический метод. Для определения пылевой взвеси должен использоваться прибор, позволяющий длительное время осуществлять отбор воздуха с замером объёмного распределения пылевой взвеси [8].

Иными словами, чем более точно будет использовано приборное обеспечение, чем чаще будут делаться замеры, и чем больше точек измерений будет охвачено замерами, тем больший массив данных будет для анализа взрывобезопасности, и, соответственно, большая точность прогнозирования. Следствием этого будет снижение затрат на профилактические мероприятия и повышение безопасности угольных шахт.

Однако повышать частоту отбора проб выше некоторого критерия не имеет большого практического смысла: при заданном уровне запылённости скорость накопления данных будет постоянной вне зависимости от частоты опроса чувствительных элементов. Также и повышение точности замеров не может продолжаться бесконечно – на точность замеров влияет множество факторов. Например, наиболее точный на сегодняшний день радиоизотопный метод не в состоянии отличить угольную пыль от водяного пара, а инертную пыль – от угольной. Аналогично нет необходимости бесконечно увеличивать число точек измерения, поскольку при работе системы вентиляции и проветривания воздушные потоки могут двигаться весьма замысловатым образом, перемешиваясь при столкновении с препятствиями и оставляя на них часть пылевого аэрозоля в виде пылевого осадка.

Собственно, задача автоматизации аэрогазового контроля состоит не столько в организации управления различными взрывозащитными системами и организации сбора и обработки данных с подсистем распределённого комплексного мониторинга запылённости, сколько в оптимизации параметров указанных систем и повышении достоверности данных, на которых строится прогнозная аналитика.

Известно, что метан и другие газы (за исключением инертных) могут отравлять чувствительный элемент датчиков. Например, при массовом выбросе метана распределённая система мониторинга может реагировать излишне вяло, если её чувствительные элементы будут отравлены метаном высокой концентрации. То есть, при проектировании распределённых систем мониторинга метана для включения в систему автоматизации аэрогазового контроля следует учесть все мешающие факторы и факторы риска, и принять меры к их устранению. Скажем, для распределённых систем мониторинга метана следует применять датчики с различными чувствительными элементами.

Также дисперсный состав пыли и процент инертных пылевых отложений на данный момент может быть определён только в лабораторных условиях. Это, отнюдь, не означает, что распределённая система пылевого мониторинга не может определить взрывоопасность пространства горной выработки.

Используя комплексный подход, когда аспираторы применяются совместно с приборами определения пылеотложений, а те, в свою очередь, оснащены средствами защиты от основных мешающих факторов, можно сделать достаточно достоверную оценку пылевзрывоопасности. Так, уменьшение зазора между фильтром-подложкой для сбора пылевого осадка, источником и приёмником бета-излучения сводит к минимуму влияние растворённого в воздухе водяного пара, а измерение относительной влажности воздуха в измерительном пространстве прибора поможет вообще исключить влияние этого фактора на качество проводимых измерений. Использование супергидрофобных фильтров-подложек поможет избавиться от влаги, набранной фильтром. Конструкция с выдвижным фильтром-подложкой и обратной связью с системами верхнего уровня, когда по сигналу о начале операции ослабления фильтр-подложка может быть задвинут и надёжно укрыт в корпусе прибора, позволит исключить влияние инертной пыли и водяных брызг на результаты измерения активных пылеотложений.

Заключение

Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что:

- 1) автоматизация аэрогазового контроля с использованием распределённых систем мониторинга запылённости является перспективным направлением;
- 2) проектирование систем аэрогазового контроля и распределённых систем мониторинга запылённости требует применение оптимизации и, возможно, само должно вестись с использованием специализированных автоматизированных систем проектирования;
- 3) повышение достоверности получаемых в распределённых системах мониторинга запылённости данных и улучшение их метрологических характеристик является приоритетной задачей научных исследований.

Список литературы

1. Российская Федерация. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Инструкция по борьбе с пылью в угольных шахтах. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору 14.10.2014 №462.

2. ГОСТ Р 56141-2014 Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Системы взрывозащиты горных выработок.

3. Федунец Н.И., Кубрин С.С. Основные направления развития новых информационных технологий на угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ10. Информатизация и управление–1. — 2008. — С. 21—29.

4. Федунец Н.И., Кубрин С.С. Развитие информационных технологий на горнодобывающих предприятиях // Горный журнал. — 2009. — № 1. — С. 83—85.

5. Дегтерев В.В. Распределенная система дистанционного мониторинга запыленности горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 8. — С. 238—244.

6. Кудряшов В.В. Тенденция развития пылеизмерительных приборов // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ1. Труды международного симпозиума «Неделя горняка-2013». — 2013. — С. 512—535.

7. Кудряшов В.В., Иванов Е.С., Соловьева Е.А. Разработка аспиратора нового поколения для отбора проб пыли при гигиеническом и технологическом контроле запыленности воздуха // Безопасность труда в промышленности. — 2014. — № 9. — С. 77—80.

8. Кубрин С.С., Решетняк С.Н., Дегтерев В.В. Дистанционный мониторинг запыленности горных выработок угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 10. — С. 54—59.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ СТРУКТУРЫ И СОСТОЯНИЯ МАССИВА НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ И ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Николенко П.В., Зайцев М.Г.

*Национальный исследовательский технологический
университет «МИСиС», Минобрнауки РФ*

На сегодняшний день для контроля строения и состояния приконтурного массива используются различные геофизические методы. Для анализа структурных неоднородностей, таких как трещины и расслоения в кровле, используют активные акустические измерения в ультразвуковом (УЗ) диапазоне частот по схемам межскважинного прозвучивания или каротажа [1-3]. Подобные методы позволяют получать информацию о внутреннем строении массива на относительно небольших базах измерения (десятки сантиметров). При реализации УЗ измерений в неводонаполненных скважинах (скважины в кровле горных выработок,

межкамерных целиках, горизонтальные скважины геологического опережающего бурения) применяется пневмоприжим преобразователей к стенкам скважин с помощью специальных устройств в соответствии с [4]. Так, в [5] описывается опыт применения ультразвукового каротажа в вертикальных скважинах, пробуренных в кровле горных выработок. Использование корреляционной обработки сигналов позволило произвести литологическое расчленение массива вблизи выработки.

Применение ультразвуковых методов для контроля напряжений в массиве путем проведения измерений в необходимых скважинах носит ограниченный характер из-за сложности учета влияния строения массива (его нарушенности) на результаты измерения скоростей ультразвуковых колебаний. Так, в [6] отмечается низкая эффективность традиционных ультразвуковых методов при контроле напряжений в целиках в условиях предельных нагрузок. В работах [7, 8] описывается положительный опыт применения сухого контакта при скважинных ультразвуковых измерениях. Однако невозможность учета степени нарушенности прискважинного массива приводит к тому, что авторы предлагают использовать ультразвуковые измерений лишь в качестве источников информации о локальных упругих свойствах массива при реализации традиционных методов разгрузки. Стоит также отметить, что описанные УЗ методы крайне трудоемки в реализации. Измерения производят дискретно по шагам, при этом процесс контроля в одной скважине может занимать несколько часов.

Принципиально повысить производительность УЗ контроля возможно только при отказе от непрерывного сканирования всей скважины. При этом необходимо обладать априорной информацией о строении массива для выбора областей, где УЗ измерения необходимы. Такая информация может быть получена путем оптического сканирования стенок скважины.

На сегодняшний день оптические измерения в скважинах сводятся к получению разверток скважин в виде фотографий в высоком разрешении, анализ которых представляет собой длительную и во многом субъективную процедуру. Формализовать оптические измерения возможно путем использования вместо цифровых видеокамер дискретных оптических модулей, позволяющих регистрировать отдельные оптические параметры, такие как шероховатость поверхности стенки скважины R_z , коэффициента отражения света на определенной длине волны ρ и др. При этом результатом сканирования скважины будут выступать каротажные кривые, уже готовые к корреляционному комплексированию с данными УЗ зондирования.

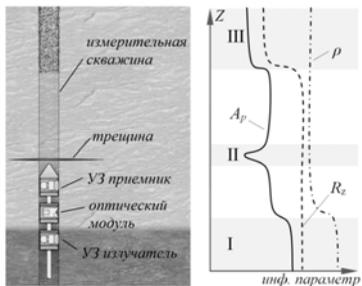


Рис. 1. Пример реализации совместных УЗ и оптических измерений

Пример комплексирования приведен на рис. 1. Оптикоакустический зонд производит измерение амплитуды продольной волны A_p (параметра, гораздо более чувствительного к неоднородностям, чем скорость), а также R_z и ρ . В зоне I наблюдается корреляция ρ и A_p , что указывает на изменение породного состава. В зоне II наблюдается резкая декорреляция A_p с R_z и ρ . Резкое снижение амплитуды УЗ колебаний на фоне постоянства оптических свойств стенки скважины указывает на наличие трещины в этой зоне. В зоне III снижение A_p происходит на фоне снижения R_z . В данном случае снижение амплитуды продольной волны обусловлено ухудшением контактных условий преобразователя с массивом и никак не характеризует структуру окружающих скважину пород.

Предполагается, что метод будет реализован в формате каротажа, проводимого в измерительных скважинах, пробуренных из горной выработки. Измерения будут производиться по двухэтапной схеме. На первом этапе предлагается осуществить непрерывное оптическое сканирование стенок скважины. При этом будут выявляться аномальные зоны, в которых дополнительно необходимо произвести ультразвуковые исследования. На втором этапе в выделенных областях будут производиться уточняющие УЗ измерения.

Реализация метода in-situ будет направлена на решение задач выявления границы основной и непосредственной кровли, литологического расчленения пород приконтурного массива, поиска и оценки параметров трещин и других неоднородностей, а также оценке напряженного состояния на участках массива, содержащих различные типы дефектов.

Повышение надежности метода будет достигаться за счет комплексирования акустических и оптических данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 21-77-00046).

Список литературы

1. KobKobayashi R. Studies on crack distribution and sonic velocity change in rocks. J Mining Metal Inst Jap, 1974, 90(1031), pp. 21-26.
2. Shkuratnik, V.L., Bochkareva, T.N. Theory of electroacoustic path during the interhole sonic testing of rocks surrounding: A worked space. Journal of Mining Science, 1996, 32(6), pp. 476-482.
3. Rasolofosaon, P.N.J., Rabbel, W., Siegesmund, S., Vollbrecht, A. Characterization of crack distribution: Fabric analysis versus ultrasonic inversion. Geophysical Journal International, 2000, 141(2), pp. 413-424.
4. РСН 75-90 Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Каротажные методы.
5. Кормнов А.А., Николенко П.В. Структурная диагностика пород кровли горной выработки с использованием ультразвукового шумового корреляционного каротажа // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – №8. – С. 265 – 271.
6. Lovchikov, A.V. Comparison of efficiency of in-situ methods for controlling the stress state of pillars under ultimate loads // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2020-August(1.2), pp. 491-502.
7. Liu, Y., Li, Y., Qiao, L., Fan, D. Dry coupled ultrasonic testing technology and its application in testing rock dynamic and static parameters // Meitan Xuebao/Journal of the China Coal Society, 2019, 44(5), pp. 1465–1472.
8. Liu, Y., Qiao, L., Li, Y., Ma, G., Golosov, A.M. Ultrasonic Spectrum Analysis of Granite Damage Evolution Based on Dry-Coupled Ultrasonic Monitoring Technology // Advances in Civil Engineering, 2020, 2020, 8881800.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КРИДЕЗИНТЕГРАЦИИ УГЛЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

Ануфренкова П.С.

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Минобрнауки РФ

Транспортировка угля из месторождений, расположенных в северных регионах Российской Федерации, связана с многократным переходом температуры из положительной области в отрицательную и обратно.

Такое криотермическое воздействие может привести к существенному изменению прочности [1], проницаемости для пластового метана [2], теплопроводности [3] и даже склонность к самовозгоранию [4].

Одним из перспективных оперативных методов оценки степени криодеинтеграции углей является метод ультразвукового (УЗ) прозвучивания. Однако высокое затухание УЗ импульсов в ископаемом угле, а также низкая чувствительность скорости продольной волны V_p к образующимся микротрещинам приводит к необходимости использования нетрадиционных информативных параметров и способов обработки. Так, для оценки криогенного выветривания в образцах антрацита, подвергаемых циклическому замораживанию-оттаиванию, наиболее эффективным параметром оказалась амплитуда поперечной волны A_S , значительно более чувствительная к образовавшимся трещинам, чем скорость поперечных волн V_S [5]. Наибольшая информативность УЗ прозвучивания достигалась путем многократных измерений с поворотом плоскости поляризации поперечной волны на фиксированный угол θ .

Из рис. 1 видно, что наибольшее деструктивное воздействие оказывает первый цикл замораживания-оттаивания. Также из рис. 1б видно, что циклическое замораживание-оттаивание снижает анизотропию образца угля. Коэффициент анизотропии K_a для образцов антрацита падает со значений 1,8 до 1,28 уже после первого цикла криотермического воздействия. После 15 циклов K_a снижается до значений 1,22. Похоже, что циклическое замораживание-оттаивание приводит к образованию трещин, равномерно и беспорядочно распределенных по всему объему образца. Это приводит к снижению роли естественной анизотропии.

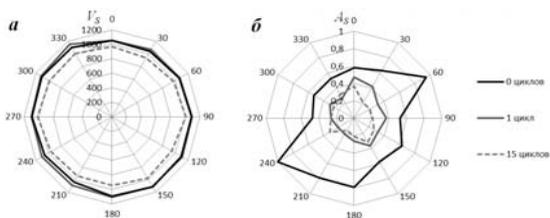


Рис. 1. Изменение $V_S(\theta)$ (а) и $A_S(\theta)$ (б) при циклическом замораживании-оттаивании образца антрацита

Другим перспективным направлением развития УЗ методов оценки криодеинтеграции углей является использование продольных волн в качестве зондирующих сигналов. В этом случае определенное удобство заключается в возможности использования широко распространенных и относительно недорогих преобразователей продольных волн. При этом в качестве информативных параметров используются не кинематические, а спектральные характеристики УЗ импульсов. На рис. 2 представлен результат прозвучивания образца антрацита с содержанием воды 1,2%, подвергаемого циклическому термическому воздействию в климатической камере КТХВ-150. Измерения температуры производились двумя термомпарами, одна из которых размещалась в камере, а другая в центре образца в заранее просверленном в нем отверстии. В качестве информативного параметра выбрана амплитуда спектрального максимума на резонансной частоте преобразователя $A^{175\text{kHz}}$.

Из рис. 2 видно, что изменение $A^{175\text{kHz}}$ носит циклический характер. Резкое возрастание амплитуды связано с переходом воды, содержащейся в порах и трещинах, в твердое агрегатное состояние, что уменьшает затухание продольных волн. Также отчетливо прослеживается уменьшение $A^{175\text{kHz}}$ с каждым последующим циклом замораживания-оттаивания, связанное с постепенным разрушением образца угля.

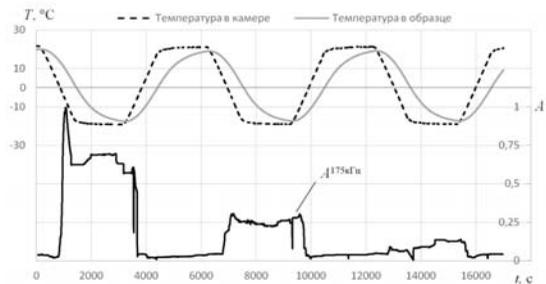


Рис. 2. Изменение параметра $A^{175\text{kHz}}$ при циклическом замораживании-оттаивании образца антрацита

Использование нетрадиционных подходов при ультразвуковом анализе последствий циклического замораживания-оттаивания углей позволяет с высокой точностью оценивать влияние различных факторов (количества циклов криовоздействия, наличие влаги и т.п.) на степень

дефектообразования в образцах. На основе описанных подходов возможно создание новых экспресс методов анализа криостойкости углей, а также методов оценки последствий длительной транспортировки в условиях меняющихся температур.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-70002).

Список литературы

1. Qin L., Zhai C., Liu S., Xu J. Factors controlling the mechanical properties degradation and permeability of coal subjected to liquid nitrogen freeze-thaw. *Scientific Reports*, 2017. Vol. 7, no 1, pp. 3675.
2. Zhai C., Wu S., Liu S., Qin L., Xu J. Experimental study on coal pore structure deterioration under freeze—thaw cycles. *Environmental Earth Sciences*, 2017. Vol. 76, no 15, pp. 507.
3. Epshtein, S.A., Nikitina, I.M., Agarkov, K.V., Nesterova, V.G., & Minaev, V.I. (2019). Effects of cyclic freezing and thawing on coals quality indices. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 6, 5–18.
4. Deng J., Xiao Y., Li Q., Lu J., Wen H. Experimental studies of spontaneous combustion and anaerobic cooling of coal // *Fuel*, 2015. Vol. 157, pp. 261–269.
5. Nikolenko, P.V., Epshtein, S.A., Shkuratnik, V.L. et al. Experimental study of coal fracture dynamics under the influence of cyclic freezing–thawing using shear elastic waves. *Int J Coal Sci Technol* (2020). <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00352-x>.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОНОВ УГЛЕРОДА В УГЛЕ, МЕТАНЕ И УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ В ДОНЕЦКОМ КАМЕННОУГОЛЬНОМ БАССЕЙНЕ

Канин В.А., Васютин В.В., Пивень Ю.А.

Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, г. Донецк

Природа происхождения газов угленосных отложений окончательно не установлена. Считается, что метан, доля которого в рудничных газах составляет 60–98 %, образовался при биохимических процессах разложения растительного вещества. Метаморфические преобразования углей создали пористую структуру, в которой проявились силы, связывающие уголь с газом, и сформировалась природная равновесная система уголь-газ. Получившая в последнее время распространение абиогенная модель считается еще спорной, по крайней мере, в отношении абиотической генерации метана в значительных количествах [1]. Однако, находки абиогенного метана в мантийных газах и жидкостях и в больших

количествах на других планетах [2] делают эту концепцию все более убедительной. Существует также мнение о присутствии в шахтах метана, выделяющегося в результате механохимической деструкции и метана, образовавшегося путем гидрирования CO₂ в присутствии железного катализатора. В этой связи есть все основания рассматривать шахтный метан как комбинацию углеводородов, формирующихся несколькими источниками генерации:

1. Метан метаморфогенного происхождения, образовавшийся в угольных пластах и вмещающих породах *«in situ»* на различных геологических этапах. Этот метан является наиболее прогнозируемым и определяет фоновую метанонасыщенность горного массива.
2. Метан глубинного происхождения, мигрирующий по сети тектонических нарушений в осадочной толще. Этот метан разделяется в свою очередь на: а) метан, поступающий из глубоко залегающих каменноугольных отложений, а также из залегающих ниже нефтяных или газовых месторождений; б) мантийный метан, проникающий в осадочную толщу по разломам кристаллического фундамента.
3. Метан, генерирующийся на протяжении всего времени существования ископаемых углей в результате химических реакций [3]. Этот метан наименее исследован. Его опасность заключается в том, что он образуется в локальной зоне угольного пласта (до нескольких метров) и заранее прогнозировать его наличие существующими средствами газовой защиты невозможно.

Исследованиями РАНМИ установлено [4], что по мере приближения к зонам тектонических структур III порядка, которые тяготеют к разломам кристаллического фундамента, происходит закономерное утяжеление изотопного состава углерода метана ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$) и углекислого газа ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$), возрастает концентрация гелия (He), водорода (H₂) и тяжелых углеводородов. Таким образом, разломы кристаллического фундамента являются источником миграции в угольные пласты горячих газов термогенного происхождения и газов, близких к эндогенному генезису из более глубоких слоев земной коры. На шахте им. А.Ф. Засядько, например, по мере приближения к сместителю Ветковского надвига от 260 м до 30 м происходит существенное утяжеление углерода метана от -42,5 до -30,3 и -20,4 ‰ (рис.1). Для углекислого газа $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ соответственно изменяется от -13,74 до -21,90 ‰, а $\delta^{13}\text{C}_{\text{угл}}$ – от -24,73 до -23,63 ‰. Это указывает на возможность подтока тяжелого метана из верхней мантии по разлому кристаллического фундамента, по Ветковскому надвику и его афизмам в разрабатываемый угольный пласт. Концентрация гелия при этом увеличилась от 0,02 до 0,12 %, водорода – от 0,0 до 0,14 %, бутана – от 0,07 до 2,5 %.

На шахте «Краснолиманская» исследования изотопного состава углерода метана и углекислого газа выполнялись в забое штрека пласта k_5 по мере приближения его к апофизе Глубокоярского сброса. Содержание метана менялось от 92,0 до 98,5 %, этана – от 0,39 до 0,71 %, пропана – от 0 до 0,36 %, бутана – от 0 до 0,1 %. Содержание гелия (от 0,05 до 0,19 %) и водорода (от 0,0 до 0,002 %) росло в зонах мало-амплитудных нарушений у Глубокоярского сброса. Это свидетельствует о неоднородном подтоке этих газов с глубины. Значения $\delta^{13}C$ метана в смеси газов из угольного пласта k_5 шахты «Краснолиманская» изменялись в пределах от -34,51 до -37,58 ‰, проявляя очень слабую тенденцию возрастания с приближением к Глубокоярскому сбросу. Значения $\delta^{13}C$ углекислого газа характеризовались широким разбросом – от -8,12 до -20,75 ‰ (рис. 1) и снижались с приближением к Глубокоярскому сбросу. Так как обогащение углекислого газа более легким изотопом углерода ^{12}C происходит с повышением степени углефикации угля, то выявленная закономерность свидетельствует о подтоке изотопно легкого углекислого газа с более глубоких угольных горизонтов.

Известно, что формирование трещиноватых зон в осадочной толще тесным образом связано с перемещениями блоков кристаллического фундамента по разломам. Разломы кристаллического фундамента являются также каналами подвода в осадочную толщу углеводородов глубинного происхождения. Для выявления разломных зон оказываются незаменимыми материалы региональных грави- и магниторазведочных

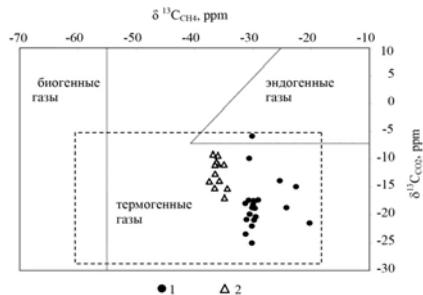


Рис. 1. Диаграмма распределения исследованных проб газа на шахте им. А.Ф. Засядько (1) и «Краснолиманская» (2) в координатах $\delta^{13}C_{CH_4} - \delta^{13}C_{CO_2}$.

работ. Используя цифровую модель аномалии Фая, полученную по результатам гравиметрической съемки, М.М. Довбнич и В.П. Солдатенко выполнили расчет полей напряжений на территории Донецко-Макеевского района Донбасса, включая поле шахты им. А.Ф. Засядько [5]. Анализ этих полей показал хорошее соответствие локальной составляющей напряжений основным тектоническим элементам осадочной толщи рассматриваемого района. Некоторые области повышенных напряжений хорошо коррелируются с известными тектоническими нарушениями, в частности с Пантелеймоновским, Ветковским и Григорьевским надвигами, которые по результатам анализа материалов гравиметрической съемки имеют близкую ориентацию к разломам кристаллического фундамента [5].

Список литературы

1. Glasby, G.P. Abiogenic origin of hydrocarbons: An historical overview // Resource Geology, 56, 2006. – P. 85–98.
2. Stevens, J.G., Shenoy G.K. Mössbauer spectroscopy and its chemical applications, Advances in Chemistry Series, 194. Washington, DC: American Chemical Society, 1981. – P. 135-137
3. Alekseev A. Nature of shaft methane / A.Alekseev, E.Ulianova, O.Razumov, V. Kanin, A.Skoblik, A.Taranik // Energyonline №1(2), 2010.
4. Емец, А.В. Изотопно-геохимические наработки прогноза участков аномального газонасыщения в угольных месторождениях Донбасса [Текст] / А.В. Емец, В.А. Канин, А.А. Тараник, А.А. Иванков, Л.И. Проскурко // Доклады НАН Украины. – 2009. – № 6. – С. 126-134.
5. Канин, В.А. Приуроченность локальных скоплений горючих газов в угольных шахтах к разломам кристаллического фундамента [Текст] / В.А. Канин, М.М. Довбнич, А.А. Тараник // Межд. сб. науч. трудов «Геотехническая механика». – Днепрпетровск: ИГТМ НАН Украины, 2010.–Вып. 87. – С. 52 – 57.

ОСОБЕННОСТИ СИГНАЛОВ-ИДЕНТИФИКАТОРОВ ПРИ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОМ ВЫЯВЛЕНИИ РАЗУПЛОТНЕНИЙ В ЗАОБДЕЛОЧНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Уткина А.В., Набатов В.В.

Национальный исследовательский технологический университет «МИСЦ»

При штитовой проходке тоннелей метро ряд особенностей, как геологической среды, так и технологического процесса проходки, может приводить к аварийным ситуациям – ненормативным деформациям

массива и провалам. Они особенно опасны, поскольку могут воздействовать на сеть подземных коммуникаций, обостряя техногенную суффозию. Другими особенностями являются полости в заобделочном пространстве. Последствиями их возникновения, может быть сложное напряжённо-деформированное состояние (НДС), как самой обделки, так и прилегающего массива, способное приводит к разрушению конструкций тоннеля и деформациям рельсового пути [1, 2]. При большой протяжённости полостей, либо большом их количестве, они так же могут оказывать воздействие на окружающую застройку [3, 4]. Причинами их образования являются: некачественный тампонаж, развитие карстово-суффозионных процессов, протечки воды в тоннель, особенности НДС при проходке [5, 6]. При эксплуатации тоннелей добавляются вибрационное воздействие поездов, влияние строительных работ вблизи от тоннеля.

Контроль подобных процессов ведётся геофизическими методами, в частности с помощью георадиолокации. Обследование производится либо с поверхности (мониторинг областей разуплотнения) [7], либо из тоннеля [8]. Последний вариант позволяет выявлять расположение полостей и производить повторный тампонаж.

Основными проблемами георадиолокации при решении этой задачи является сложность интерпретации, а также влияние воздушных помех, которое обостряется в закрытом пространстве тоннеля [8]. Перспективным направлением здесь является развитие так называемого атрибутного анализа, при котором из зарегистрированного волнового поля извлекается дополнительная информация (статистически параметры, параметры спектров и пр.), позволяющая более эффективно решать задачу.

Очевидно, что поиск эффективных атрибутов стоит вести через первичный анализ особенностей волнового поля, указывающих на то, что за обделкой присутствует полость. Основной такой признак это специфический сигнал, называемый «звоном» (см. рис. 1). Проблемой его выделения в процессе интерпретации является влияние помех и слабая выраженность в некоторых из случаев (так называемая хаотическая волновая картина).

Особенностями «звона» является – высокая амплитуда, низкое затухание, близкая к гармонической (квазигармоническая) форма сигнала. Поэтому часто используемым атрибутом является амплитуда огибающей, обычно получаемой через преобразование Гильберта. Недостатком этого атрибута является, то, что он реагирует на воздушные помехи и плохо работает при многослойной и более мощной обделке.

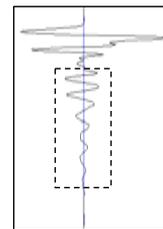


Рис. 1. Георадиолокационная трасса, снятая вблизи полостью, «звон» выделен пунктиром

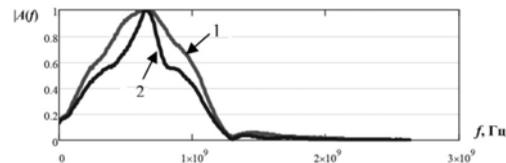


Рис. 2. Спектры георадиолокационных трасс для случая без влияния «звона» (1) и с влиянием «звона» (2)

То что «звон» имеет квазигармонический характер, сильно его отличает от импульсных волновых пакетов остальной части зарегистрированного волнового поля и должно существенно влиять на его спектр. Эти изменения действительно можно обнаружить. Отличия хорошо выражены при работе на простых объектах (малое время эксплуатации, малая мощность конструкции; см. рис. 2). Спектральные атрибуты не стабильно работают на более мощных обделках, и подвержены влиянию армирования. Выходом из этой ситуации может быть предварительная подготовка сигналов, а так же поиск эффективных атрибутов. Очевидное решение – использовать здесь параметр добротности Q :

$$Q = \frac{f_{max}}{\Delta f},$$

где f_{max} – частота максимума спектра, Δf – ширина резонансного пика взятого на уровне $1/\sqrt{2}$. Однако этот атрибут часто подвержен помеховым факторам.

Еще одно направление поиска – статистические параметры. Если на участке радарограммы присутствует «звон», то значения амплитуд, далеко отходящих от среднего должно измениться, что изменит и форму распределения. Результатом этого процесса является то, что в гистограммах появляются так называемые "тяжёлые хвосты". Атрибуты, которые хорошо реагируют на эти особенности это моменты второго m_2 (дисперсия) и четвертого m_4 порядков (эксцесс), а также характеристики энтропии сигнала.

Практически все описанные атрибуты испытывают влияния помех и в некоторых случаях испытывают снижение чувствительности. Выходом здесь является подбор предварительной обработки сигналов, выбор наиболее эффективных атрибутов и объединение атрибутов в комплексы.

Список литературы

1. Jifei W., Hongwei H., Xiongyao X., Bobet A., 2014. Void-induced liner deformation and stress redistribution. *Tunnelling and Underground Space Technology*. Vol. 40, pp. 263–276.
2. Запрудин А.Г. Обоснование инженерных решений в системе защиты городской среды от воздействия горных работ при строительстве метрополитена // *Известия Вузов. Горный журнал*. 2008, №7. С. 11–18.
3. Писецкий В.Б., Власов С.В., Зудилин А.Э., Самсонов В.И., Шинкарук. В.А. Опережающий прогноз устойчивости горного массива на основе метода 3D-3C-сейсмолокации в процессе проходки транспортных тоннелей // *Известия Вузов. Горный журнал*. 2012, №3. С. 130–138.
4. Camos C., Spackova O., Straub D., Molins C., 2016. Probabilistic approach to assessing and monitoring settlements caused by tunneling. *Tunnelling and Underground Space Technology*. Vol. 51, January 2016, pp. 313–325.
5. Yau, K., Paraskevopoulou, C., & Konstantis, S. (2020). Spatial variability of karst and effect on tunnel lining and water inflow. A probabilistic approach. *Tunnelling and Underground Space Technology*.
6. Wu, H. N., Shen, S. L., Chen, R. P., & Zhou, A. (2020). Three-dimensional numerical modelling on localised leakage in segmental lining of shield tunnels. *Computers and Geotechnics*.
7. Набатов В.В. Использование информационной энтропии в качестве идентификатора выявления строения массива горных пород с помощью низкочастотных георадаров // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2017. № 2. С. 190-200.
8. Andrianov, S. V. GPR monitoring of space between lining and rock in underground mines // *GIAB*, 2019, Issue 5, Pp. 124-132.

ОЦЕНКА ДОЛИ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ ОТБИТОГО УГЛЯ В ГАЗОВОМ БАЛАНСЕ УЧАСТКА ШАХТЫ

Федоров Е.В.¹, Харченко А.В.¹, Чалдин И.В.²

¹ *Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук*

² *Акционерное общество «СУЭК-Кузбасс»*

С увеличением глубины ведения горных работ растет газоопасность и выбросоопасность разрабатываемых угольных пластов. И при определенном сочетании природных и горнотехнических факторов возможно формирование опасных по газу и угольной пыли ситуаций [1, 2].

Основными источниками поступления метана в шахтную атмосферу помимо отбитого угля, являются выработанное пространство, свежие обнажения пройденных горных выработок и др. В таблице 1 представлены результаты оценки объемов метана, поступающих в исходящую струю в очистных и подготовительных забоях из отбитого угля и от других источников на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс». При расчетах использованы данные средней фактической производительности забоев, объемов и содержания CH_4 во входящей и исходящей струе, результаты определения остаточной газоопасности угольного пласта и величины «свободного» объема газа в исследуемых пробах угля, полученных по методике, описанной в Руководстве [3]. В ходе выполнения шахтных и лабораторных измерений объемов выделяющегося из образцов угля газа при каждом замере фиксировалось также и время, прошедшее с момента отделения образца от массива. Объемы выделяющегося газа, приведенные к нормальным условиям, фиксировались нарастающим итогом по 4-м усредненным временным интервалам с момента отделения образцов от угольного массива: в течение до 0,5 часа; до 1,0; до 1,5 и до 5,0-8,0 часов. При обычной работе очистного и проходческого оборудования этого времени вполне достаточно, чтобы отбитый уголь покинул зону ведения работ и не вносил свой вклад в газовый баланс шахтной атмосферы в лаве и проходческом забое.

Поскольку абсолютные величины объемов газовыделения из образцов зависят от множества факторов (физико-механических, флуктуационных, сорбционных свойств угля, фракционного состава, геомеханических условий отработки забоя и др.), полученные данные соотносились с измеренными объемами свободного газа в каждом образце.

Таблица 1 – Оценка доли метановыделения из отбитого угля в газовом балансе участка

№ пп	Шахта	Участок	Добыча, т/смену	Содерж. СН ₄ в выхл./исходящих, %	Объем выхл. исходящих, м ³ /мин	Фактич. объем СН ₄ в исходящей струе, м ³ /мин	Полный объем СН ₄ в отбитом угле, м ³ /мин	Объем свободного газа в отбитом угле Q _г -Q ₂		Доля метановыделения в газовом балансе участка, %		
								%	м ³ /мин		из отбитого угля	из других источников
1	им. В.Д. Ялевского	50-05 25-14	6500 6 500	0,0,7 0,0,8	2150 2290	15,1 12,6	130,5 136,1	7,8 4,7	10,18 6,40	67,66 50,80	32,34 49,20	
2	им. С.М. Кирова	25-97	2 750	0,0,65	1760	11,4	71,5	3,3 3,79	3,79	33,13	66,88	
4	им. В.Д. Ялевского	КШ 50-06 ВШ 50-07	95,9 95,9	0,2,0,4 0,2,0,43	640 630	1,3 1,4	1,6 1,8	13,4 5,0	0,21 0,09	16,37 6,18	83,63 93,93	
5	им. С.М. Кирова	ВШ 25-98 Пут.штр.-25-04	106 106	0,0,5 0,0,6	570 580	2,9 3,5	2,2 3,1	10,3 4,0	0,23 0,13	8,11 3,60	91,89 96,40	
6	им. А.Д. Рубана	КШ 818	120	0,0,1	380	0,4	1,6	8,5	0,13	3,59	96,41	
7	Талд-Эл 1	КШ 66-02	113,4	0,0,2	480	1,0	1,1	4,5	0,05	5,37	96,63	
8	Талд-Эл 2	КШ 69-06	113,4	0,0,1	420	0,4	0,2	10,8	0,03	6,08	93,93	
9	7 ноября Нов	ВШ 26-8	182,5	0,0,1	410	0,4	1,1	4,6	0,05	12,40	87,60	

Именно по этому показателю – процент (доля ед.) выделения из угля свободного газа во времени – и оценивалась динамика газосодержания пласта.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Не смотря на существенные различия в природной газоносности пластов (ш. им. С.М. Кирова – 15 м³/тс.б.м. и более, а шахта им. А.Д.Рубана – 5 м³/тс.б.м.), интенсивности газосодержания (1,39 м³/тс.б.м. – шахта Комсомолец и 0,2-0,3 м³/тс.б.м. шахта им. В.Д. Ялевского, им. С.М.Кирова) и других параметров, динамика газосодержания на всех исследуемых угольных пластах шахт АО «СУЭК-Кузбасс» имеет сходный характер и обеспечивает выделение 85-95% от всего содержащегося в угле свободного газа в течение 5-8 часов с момента отделения угля от массива.

2. Объем метана, выделяющегося из отбитого угля, может достигать в очистных забоях 33-67 %, а в проходческих забоях, в зависимости от протяженности тупика, соответственно – 4-16 % от всего объема СН₄ в исходящей струе. С учетом же фактической динамики газосодержания, когда газа из отбитого угля в течение первого часа с момента его отделения от массива выделяется не более 30-40 % от всего объема свободного газа, эти величины будут в 2,5–3 раза меньше. Таким образом, реальный вклад метановыделения из отбитого угля в газовый баланс участка составляет в очистных забоях – 15-25 %, для проходческих – 1,5-6 % соответственно для рассмотренных угольных пластов шахт АО «СУЭК-Кузбасс».

Список литературы

1. Ютяев Е.П. Проблема совершенствования технологии пластовой дегазации в условиях интенсивной разработки. М., ГИАБ, 2015, С.253-261.
2. SławomirKędzior, MarcinDreger. Methane occurrence, emissions and hazards in the Upper Silesian Coal Basin, Poland. / International Journal of Coal Geology, Volume 211, July 2019, Article 103226.
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.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ, РЕАЛИЗОВАННЫХ В GNSS, УВЕЛИЧИВАЮЩИЕ ТОЧНОСТЬ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

Нурбаев Н.¹, Касымканова Х.М.¹, Милетенко Н.А.²

¹ КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

² Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН

Предотвращение оползней и обрушений откосов на карьерах, разработка мероприятий, снижающих вредное воздействие сдвига горных пород на устойчивость уступов и бортов карьеров является необходимым условием бесперебойной работы горнодобывающего предприятия. Поэтому на карьерах проводятся комплекс работ, включающий систематический маркшейдерско-геодезический контроль за деформациями прибортовой части массива горных пород.

Для проведения мониторинговых работ за состоянием карьерных откосов все чаще применяют методику инструментального контроля с использованием GNSS технологий.

Одной из главных задач при использовании GNSS технологий, является определение итоговых координат наблюдательных станций с высокой точностью. Бывают такие ситуации, когда невозможно на них вплотную установить приемник, тогда необходимо использовать систему электронного уровня, принцип его использования показан на рис. 1 (определяют величину уклона – угол β на основании известных координат точки А и дирекционного угла производят расчет точки С).



Рис. 1. Схема решения задачи электронного уровня

В свою очередь работа электронного уровня GNSS обеспечивается двумя чипами на материнской плате прибора: инклинометром ADIS16209 и магнитометром LIS3MDL.

Нами был рассмотрен приемник M2 производства EFTGroup. Работа электронного уровня GNSS обеспечивается двумя чипами на материнской плате прибора: инклинометром ADIS16209 и магнитометром LIS3MDL (рисунок 2).

При помощи инклинометра ADIS16209 плата обеспечивает расчет уклона GNSS приемника относительно гравитационного поля Земли с погрешностью до 0.1° . Калибровка инклинометра представляет собой определение места «нуля» относительно горизонта Земли. Для достижения наиболее высоких показателей точности датчика необходимо проводить обновление калибровочных коэффициентов и переменных окружающей среды не менее чем каждые 30 дней.



Рис. 2. Инклинометр и магнитометр на материнской плате EFT M2 GNSS

Магнитометр LIS3MDL в свою очередь позволяет определять углы между собственными осями сенсора X, Y, Z и силовыми линиями магнитного поля Земли. Чип выполняет функцию электронного компаса – определение направления на магнитный полюс. Погрешность нахождения магнитного вектора напряженности составляет ± 4 Гс (Гаусс), что в конечном итоге обеспечивает точность $2-3^\circ$ в определении направления на магнитный север. Для калибровки магнитометра EFT M2 GNSS с использованием программного обеспечения EFT Field Survey необхо-

димо вращать приемник в трех осях поочередно, до получения успешного результата. При изменении района работ необходимо произвести калибровку повторно. Негативными факторами при производстве калибровки магнитометра могут служить металлические предметы, телефоны, линии электросвязи и любые другие объекты, искажающие направление магнитных векторов.

Таким образом, магнитометр и инклинометр приемника M2 GNSS обеспечивают точную работу электронного уровня, упрощая процедуру геодезических измерений на профилейных линиях.

Список литературы

1. Ситникова Е.В., Хмырова Е.Н., Ожигин Д.С. Методика инструментального контроля состояния устойчивости карьерных откосов с использованием GNSS технологий // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2020. – №1. – С. 161-168.
2. Скрыпник О.Н., Арефьев Р.А., Арефьева Н.Г. Оценка характеристик погрешностей позиционирования комбинированных ГЛОНАСС/GPS приемников // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 10-2. – С. 296-301.
3. Серапинас Б.Б. Глобальные системы позиционирования. — М. : ИКФ «Каталог», 2018.
4. <https://www.eft-gnss.ru/catalog/recievers/eft/eft-m2-gnss>.
5. Нурпеисова М.Б., Касымканова Х.М., Кыргизбаева Г.М. и др. Методические рекомендации по оценке устойчивости бортов карьера Акжал. – Алматы: КазНТУ, 2002. – 27 с.
6. Бесимбаева О.Г., Хмырова Е.Н., Низаметдинов Ф.К., Олейникова Е.А. Оценка и прогноз устойчивости бортов карьера «Кентобе» //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2018. – №6. – С. 120-126.
7. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Согласованы приказом Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью Республики Казахстан от «22» сентября 2008 г. No 39.
8. Михаленко Е.Б., Загрядская Н.Н., Беляев Н.Д. и др. – Инженерная геодезия. Современные методы геодезических измерений с использованием искусственных спутников Земли: учеб. пособие / Е.Б. Михаленко [и др.]; под научн. ред. Е.Б. Михаленко. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 80 с.
9. Технический отчет по теме «Исследование состояния устойчивости карьерных откосов на основе инструментальных наблюдений». – Караганда: КарГТУ. – 2018г.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НИГЕРИИ

Ибех Н. У.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов»*

Известно, что один из наиболее значимых видов техногенного воздействия на недра связан с добычей нефти и газа. Разработка газовых и нефтяных месторождений и изменение пластового давления, различные виды воздействия на залежь для поддержания пластового давления и повышения нефтеотдачи, нарушают природное напряженно-деформированное состояние недр, создавая предпосылки для возникновения сильных и даже катастрофических природно-техногенных явлений, которые приводят к деформациям горного массива и земной поверхности, повреждениям и авариям объектов и систем обустройства, а также коммуникаций и скважин [1].

Для Нигерии эта проблема невероятно актуальна: в нетронутом массиве горных пород происходят непрерывно естественные деформации. Наличие естественных деформаций обусловлено его первоначальным напряженно-деформированным состоянием, а освоение недр и масштабная разработка месторождений полезных ископаемых сопряжены с мощным техногенным воздействием на земную кору, что вызывает большие преобразования геологической среды. Техногенные нагрузки на участок земной коры оказывают влияние в области добычи полезных ископаемых. Их можно подразделить на два вида: уравновешенные силы, присутствие непосредственной области ведения добычи, и неуравновешенные силы, связанные с нарушением равновесия за счёт перемещения масс [2].

В массиве горных пород, подвержены техногенному воздействию при масштабной разработке нефтегазоносных месторождений, кроме естественных деформаций имеют место техногенные деформации. Для определения деформаций массива горных пород и земной поверхности проводят геомониторинг на основе программы и проектной документации по разработке нефтегазоносных месторождений. Перед проведением геомониторинга разрабатывается проект наблюдательной станции и программа мониторинга [3].

При геодинамическом мониторинге основной задачей является обеспечение безопасности недропользования в процессе освоения недр. При разработке месторождений углеводородного сырья, учитывая большие

глубины залегания пластов, масштабы и продолжительность воздействия, процессы деформирования земной поверхности распространяются на значительные расстояния, достигающие десятки и даже сотни километров.

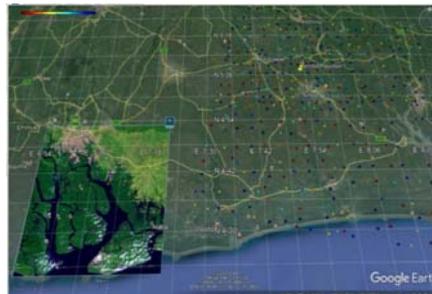
Для контроля развития процессов сдвижения массива горных пород и земной поверхности организуются геодинамические полигоны, где производятся высокоточные геодезические измерения [4].

Для получения необходимых данных о параметрах и характере процесса сдвижения земной поверхности и горных пород, а также взаимосвязи их с деформациями при разработке нефтегазовых месторождений следует закладывать комплексные геодинамические полигоны либо площадные наблюдательные станции. В Нигерии применяются площадные геодинамические станции, охватывающие всю площадь, подверженную влиянию разработки нефтегазовых месторождений. Например, станции Цента геодезии и геодинамики Нигерии (Centre for Geodesy and Geodynamics of Nigeria), в городе Торо.

Кроме этого, оценку состояния массива горных пород можно выполнять на моделях в специализированных программных комплексах. Для расчёта напряженно-деформированного состояния породных массивов на месторождениях нефти и газа целесообразно разрабатывать геомеханические модели и методы, использующие показатели пластового давления в качестве исходных данных [1].

Для повышения точности прогноза состояния массива горных пород следует применять численную модель оценки интенсивности техногенных сейсмических явлений при добыче нефти и газа, основанную на использовании специальной модели скальных пород с учётом полной диаграммы деформирования по плоскостям раздела. Разумеется, существует множество вариантов программного обеспечения для мониторинга при разработке нефтегазовых месторождений. Одним из вариантов программного обеспечения является HxGN GeoMonitoring Hub, позволяющий выполнять сбор, анализ, визуализацию и проверку полученных результатов измерений, в том числе при помощи систем автоматического мониторинга [5].

Инферометрический анализ при помощи программы SAPROZ подробно раскрывает все детали оседания земной поверхности с учетом строения породной толщи и параметров техногенного воздействия на недра. Устанавливается взаимосвязь между параметрами геотехнологического воздействия на недра и оседанием и деформациями земной поверхности. Благодаря этому программному обеспечению можно анализировать все явления в динамике и ретроспективе, что позволяет также делать прогнозы относительно будущего влияния разработки и потенциального ущерба, наносимого окружающей среде. Пример работы в программе SAPROZ представлен на рисунке 1.



Обработка результатов наблюдений за оседанием земной поверхности в штате Аква-Ибом (Нигерия) с использованием программного обеспечения SAPROZ

Также не менее успешные программные комплексы: Sismage – в области обработки сейсмических изображений подсольевых комплексов; gOfrac – в области моделирования трещинных коллекторов; буровые приложения платформы Openworks; RMS «Uncertainty», которые позволяют идентифицировать и оценивать степень неопределённости в модели и создавать многовариантные модели с учётом неопределённости.

Таким образом, именно комплексное использование доступных методов наблюдений за массивом горных пород и средств обработки полученных результатов позволяет в полной мере обеспечить эффективность геодинамического мониторинга при разработке нефтяных месторождений Нигерии, установить взаимосвязь между параметрами геотехнологического воздействия на недра и напряженно-деформированным состоянием массива горных пород.

Список литературы

1. Кашников Ю.А., Ашихмин С.Г., Гладышев С.В., Попов С.Н. Геомеханические и геодинамические проблемы, сопровождающие разработку месторождений углеводородов // Записки Горного института. 2010. Т. 188. С. 153-157.
2. Сашурин А.Д., Панжин А.А. Современные проблемы и задачи геомеханики // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 3-1. С. 188-198.
3. Кутени Д.А.К. Разработка методики геодезического обеспечения исследования деформации при нефтедобыче на территории Сирийской Арабской Республики: дис... канд.техн.наук // Москва. 2019.

4. Иофис М.А., Негурица Д.Л., Есина Е.Н. Сдвигение горных пород при освоении недр Земли: монография // Москва: РУДН, 2020. 287с.

5. Kavinda, H. M. A. (2018). Creation of a High Precise Geo the Evaluation of the Self Multisensor Mappin.

АНАЛИЗ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ МЕДНО-ПОРФИРИТОВЫХ РУД «КАЛЬМАКЫР» (УЗБЕКИСТАН)

Есина Е.Н.¹, Кирков А.Е.², Доскалов А.И.¹

¹ *Российский университет дружбы народов*

² *Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Рудник Кальмакыр входит в десятку крупнейших горнодобывающих медных предприятий мира. Основную промышленную ценность руд месторождения составляют медь, молибден, благородные металлы, а также сера, селен, теллур, рений. Кальмакыр является уникальным месторождением, и для Республики Узбекистан занимает стратегически важное значение [1]. Месторождение Кальмакыр обрабатывается открытым способом, проектом принята транспортная система разработки с внешним отвалообразованием. Расположение месторождения в нагорной части, повлияло на применение особой схемы вскрытия. В настоящее время на карьере нарезано 24 уступа, из них 16 рабочих и 8 нерабочих уступов. Ежегодно карьер углубляется на 8-11 м, а скорость продвижения фронта работ составляет 100-120 м. Средний путь по железной дороге до руды составляет 13,7 км, до вскрыши – 6,2 км.

На территории месторождения насчитывается более 10 местных тектонических разломов, которые играют немаловажную роль в развитии геомеханических процессах карьера (рис. 1).

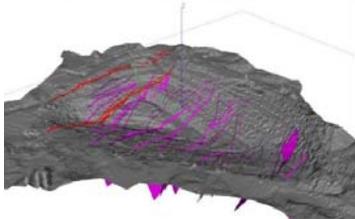


Рис. 1. Геологическая модель зоны разлома

Анализ исходных данных позволил выявить основные факторы, влияющие на развитие деформационных процессов, а именно:

- горнотехнические условия рыхлых и скальных пород карьера в пределах северо-западного борта вызывают риск катастрофического обрушения борта, захватывающего несколько уступов с перемещением обвальной массы на значительные расстояния;
- риск обрушения уступов с перемещением обвалившихся и оползших пород на один или два горизонта, возможен как на северо-западном, так и на восточном борту;
- на Восточном борту широко развиты оползневые процессы в мезокайнозойских породах по причине обводненности массива.

С целью определения стабильности положения северо-западного борта карьера была заложена наблюдательная станция, представляющая собой три профильные линии, начинающиеся вне зоны сдвижения и заканчивающиеся в нижней части карьера. Общая схема расположения профильных линий представлена на рис.2.

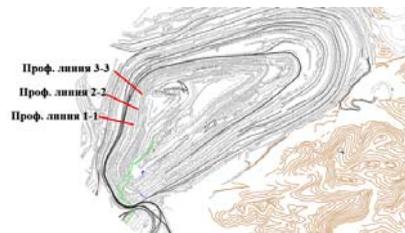


Рис. 2. Схемарасположения профильных линий наблюдательной станции

Для наблюдений за положением северо-западного борта карьера было заложено 25-30 рабочих реперов, расположенных по трем профильным линиям. Измерения проводились при помощи GNSS приемника Leica GS08[2].

Определены плановые и высотные перемещения по профильным линиям (рис. 3-4). Анализ результатов геомониторинга по трем профильным линиям позволил установить, что наибольшие смещения по данной линии возникают преимущественно в средней части борта и на дне карьера [3]:

- на горизонте 640 средняя скорость смещения колеблется в пределах 60-84 мм/мес;

- на горизонте 535 средняя скорость смещения колеблется в пределах 76-116 мм/мес;
- на горизонте 475 (дно карьера) средняя скорость смещения составляет 85-141 мм/мес.

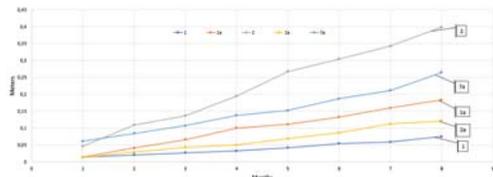


Рис. 3. Смещение реперов профильной линии 1-1 в плане

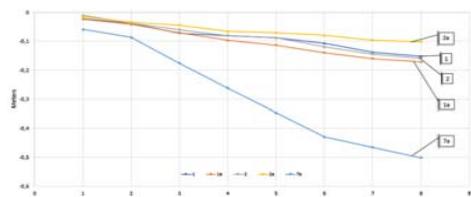


Рис. 4. Смещение реперов профильной линии 1-1 по высоте

Анализ динамики скоростей вертикальных и горизонтальных смещений показывает их высокую интенсивность. Для обеспечения безопасного ведения дальнейших работ на карьере необходимо проведение непрерывного комплексного геомеханического мониторинга, позволяющего оперативно определять признаки, предшествующие возникновению аварийных ситуаций для принятия профилактических мер по стабилизации геомеханического состояния горнотехнической системы [4]. Определение вероятности обрушения борта осуществляется по динамике изменения скоростей смещения представительных элементов массива. Достижение критических скоростей деформирования является критерием прогнозируемого обрушения.

Оперативное получение данных по значительной площади поверхности разреза позволяет в режиме реального времени оценить вероятность развития критических скоростей смещения приборного массива, что

позволит обеспечить безопасность при разработке глубоких горизонтов карьера. Как показала практика, наиболее прогрессивным решением является применение автоматизированных систем геомониторинга, которые позволяют заблаговременно и надежно прогнозировать развитие критических деформаций уступов и бортов карьера.

Список литературы

1. Рудоуправление «Кальмакыр» <https://www.agmk.uz>
2. Резниченко С.С., Сытенков В.Н., Наимова Р.Ш. Организация комплексной системы мониторинга устойчивости бортов и уступов глубоких карьеров с использованием современного геодезического оборудования // Рациональное освоение недр. – 2017. – №2. С. 56-67.
3. Иофис М.А., Негурица Д.Л., Есина Е.Н. Сдвигание горных пород при освоении недр Земли : монография // Москва: РУДН, 2020. 287с.
4. Рьельникова 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 / Горный журнал. – 2018. – № 1. С. 32-36. DOI: 10.17580/gzh.2018.01.05.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИКОТУРНОГО МАССИВА ПОДЗЕМНОЙ ВЫРАБОТКИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ И СТАДИЙНОСТИ ПРОХОДКИ

Красюкова Е.В.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Разработка месторождений полезных ископаемых вблизи крупных тектонических нарушений связана с уникальным распределением напряженно-деформированного состояния, что обуславливает наличие осложняющих факторов, одним из которых является динамическое проявление горного давления при добыче полезного ископаемого.

В рамках выполняемой работы была поставлена задача разработать технические решения позволяющие увеличить скорость проходки в условиях активного заколообразования кровли выработок и стреляний горной породы. Для достижения поставленной задачи необходимо установить характер НДС массива окружающего выработку.

В настоящее время распространенным методом исследования НДС массива является метод конечных элементов массива, который позволяет производить расчеты с учетом различных горнотехнических факто-

ров, в том числе, схем и этапов крепления массива горных пород вокруг выработок.

Для проведения расчетов использован программный пакет Midas GTS NX, который обладает необходимым инструментарием для учета горнотехнических факторов, схем крепления выработок, а также позволяет производить оценку устойчивости массива вокруг выработок.

В качестве критерия разрушения была принята модель поведения массива Хоека-Брауна (Хоек-Brown), в которой использована концепция эквивалентной сплошной среды для описания явления снижения напряжений вследствие разрушения трещиноватых скальных пород. Данная модель позволяет наиболее точно описать поведение скальных грунтов.

Расчетная модель создана для условий преобладания горизонтальных сил над вертикальными в 2 раза, породы имеют высокую прочность и хрупкость. Прочностные свойства массива включают полученные в натуральных условиях данные индекса GSI и Q-индекса. На рисунке 1. представлена геометрия расчетной модели для установления характера перераспределения напряжений в приконтурном массиве.

Моделирование предполагало три сценария крепления выработки: выработка без крепления, крепление выработки с отставанием крепи 20 метров от груди забоя и крепление выработки с отставанием на 1,5 м от груди забоя. Каждый сценарий выполнен с учетом стадийности проходки и крепления выработки согласно рис.2.

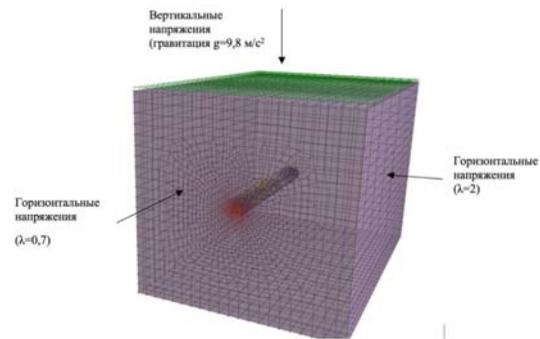


Рис. 1. Расчетная схема нагружения модели с фрагментом сетки конечных элементов



Рис. 2. Стадии проходки и закрепления выработки в расчетной модели

Первый сценарий заключался в поэтапной выемке горных пород согласно схеме на рис.2, начиная с отбойки №1 и далее по порядку без крепления выработанного пространства.

В результате проведенного численного моделирования были определены параметры областей высоких сжимающих напряжений, под действием которых возникают, так называемые трещины растяжения.

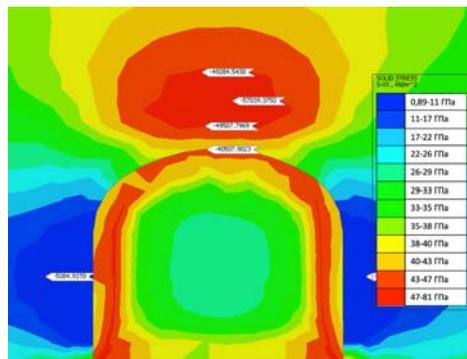


Рис. 3. Распределение горизонтальных напряжений вокруг сечения выработки

Также полученные результаты показали, что активное нарастание напряжений в кровле происходит с некоторым отставанием от забоя.

Второй сценарий предполагал поэтапную проходку выработки и ее крепление торкретбетоном и анкерами с отставанием от груди забоя на 20 м.

При сравнении полученных размеров областей нарушенного массива в первом и втором расчетном случае значительного различия не выявлено. Отсутствие влияния крепления выработки объясняется тем, что стабилизация уровня деформаций происходит уже на расстояниях 6-7 метров от груди забоя, поэтому крепление на расстоянии 20 м от груди забоя происходит в части выработки, где произошли необратимые деформации.

Третий сценарий включал в себя поэтапную проходку выработки и возведение крепи до забоя (с технологическим отставанием 1,5 м). При таком варианте крепление происходит на участке выработки, где происходит активный рост деформации, поэтому установка крепи в этой части направлена на уменьшение скорости деформации, что обуславливает снижение хрупкой деформации.

Результаты моделирования третьего расчетного случая показали, что своевременное крепление выработки в данных условиях оказывает положительное влияние на массив, нарастание максимальных деформаций растяжения происходит в более плавном режиме, чем в двух предыдущих случаях, что говорит о снижении скорости деформирования. Сравнение полученных оседаний трех расчетных случаев говорит о том, что крепление выработки с отставанием в 1,5 м от забоя значительно снижает вертикальные смещения и, следовательно, уменьшает раскрытия трещин нарушенной зоны. Также положительная динамика отмечена в части размеров деформированной области горных пород приконтурного массива.

Для поиска наиболее эффективных технических решений, в отношении приведения окружающего массива выработку в безопасное состояние, был проведен четвертый сценарий для условий проходки выработки с отставанием крепи 1,5 м и отбойкой горной массы при помощи шадящего взрывания, то есть при минимальном негативном воздействии взрывной волны на прочность массива.

Результаты расчетов четвертого сценария показали, что размер нарушенной зоны при минимизации негативного влияния буровзрывных работ снизился на 60% относительно результатов второго расчетного случая.

Произведенные расчеты показали хорошую сходимость с экспериментальными замерами деформаций пород рассматриваемых эксплуатируемых выработок.

В результате проведенной работы выявлено, что наибольшие скорости деформации находятся на расстоянии 1-6 метров от груди забоя.

Показано, что крепление выработки с ее отставанием на 20 метров не оказывает влияние на нарушенность массива, так как до момента установки крепи массив успевает пройти стадии необратимых деформаций и запустить процесс развития трещиноватости.

Обосновано, что своевременное крепление выработки (отставание не более 1,5м) с применением метода «гладкого взрывания» для проходки выработок в условиях повышенных горизонтальных напряжений и высокой хрупкости и прочности пород позволяет снизить проявления динамические проявления горного давления.

Список литературы

1. Бронников Д.М., Замесов Н.Ф., Кириченко Г.С., Айнбиндер И.И. Особенности подземной разработки рудных месторождений на больших глубинах. – Горный журнал, 1977, №3. – с. 31-33.
2. Турчанинов И.А., Марков Г.А., Иванов В.И. и др. Тектонические напряжения в земной коре и устойчивость горных выработок. Л.: Наука, 1978.
3. Лушников В.Н., Сэнди М.П., Еременко В.А., Коваленко А.А., Иванов И.А. Методика определения зоны распространения повреждения породного массива вокруг горных выработок и камер с помощью численного моделирования // Горный журнал. 2013. №12. – с.11-16.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СМЕСЕВЫХ ВВ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОСТИ

Старшинов А.В.¹, Ж.Жамьян¹, Михайлов А.В.²

¹Монголо-российская совместная компания «Монмаг» (Монголия)

²МГУ им М.В. Ломоносова

В настоящее время все взрывчатые вещества, используемые в промышленности для разрушения горных породы других объектов, являются смесевыми системами. Компоненты ВВ вводятся в систему или целенаправленно для придания необходимых свойств, или могут попадать в неё как побочные продукты переработки или даже случайные примеси. Основную долю смесевых промышленных ВВ составляют композиции окислителей и горючих, а также технологических добавок. В свою очередь основным окислителем в ВВ являются соли азотной кислоты – нитраты, в частности, нитрат аммония (НА).

При разработке состава ВВ первичный подбор компонентов, как правило, осуществляется по основному веществу, В реальных условиях состав этих веществ отличается от идеального («чистого»). Наиболее

просто это можно проследить на примере аммиачной селитры (АС) – товарной формой НА. Наиболее удобной для применения является АС в виде гранул. Основную долю гранулированной АС составляет продукт по ГОСТ 2 (в настоящее время ГОСТ 2-2013). Изготовление гранул АС с необходимыми эксплуатационными свойствами (размер гранул, сыпучесть, ограниченная слеживаемость, устойчивость к деградации) оказывается возможным только при введении в состав АС специальных модифицирующих добавок перед операцией гранулирования. Неизбежным компонентом товарной АС является вода (влажность). Кроме этого, в АС может образовываться ряд других примесей, состав и содержание которых зависят от состава воды и воздуха используемых в технологических процессах синтеза и охлаждения капель-гранул. Эти примеси могут оказывать заметное или даже существенное влияние на возможность изготовления ВВ сложного состава, к которым относятся ВВ эмульсионные (ЭВВ). Самым убедительным доказательством этого являются примеры зарубежных производителей ЭВВ, где АС в гранулированном виде не используется для ЭВВ, патронированных с улучшенными характеристиками и сроками хранения. Соответственно, при выборе АС для изготовления ВВ необходимо принимать во внимание не только стандарт на продукт, но и место (город) его производства.

Проблемы химического состава и физического состояния товарных форм АС актуальны и для ВВ гранулированных или «сыпучих», которые представляют собой механические смеси АС в исходном твердом состоянии с добавками горючих и других компонентов. Наиболее распространенным и технически удобными являются горючие из числа жидких нефтепродуктов – масла, дизельное топливо (ДТ) и др. В России и связанных с ней техническим сотрудничеством странах (Монголия, Казахстан и др.) в течение длительного времени для изготовления смесей типа АСДТ использовалась АС общетехнического назначения (АС по ГОСТ 2). Выпуск специальных марок АС в виде предпочтительных для АСДТ пористых гранул (ПАС) в промышленных объемах освоен азотной промышленностью в начале 2000 годов. Первоначально было начато производство ПАС в виде гранул, получаемых по методу химического вспенивания капель-гранул АС (технология ГИАП). Для получения ПАС по этой технологии в состав исходного плава НА вводятся дополнительные компоненты – вещества «порофоры» и ПАВ. Эти компоненты или продукты их химического взаимодействия с НА остаются в готовом продукте. Получение гранул ПАС осуществляется по технологии, подобной для АС по ГОСТ 2, соответственно, в конечном продукте могут возникать дополнительные примеси. Эти особенности состава вспененных гранул ПАС определяют возможности и ограничения в составе ВВ, как гранулированных, так и композиционных в виде смесей АСДТ по признакам физической и химической совместимости.

В 2015 году в России освоено производство ПАС по технологии европейских разработчиков по методу приллирования плава НА с увеличенной влажностью и последующей сушки гранул. Такая технология в настоящее время применяется на двух азотных заводах (гг. Новомосковск и Ангарск). В технологическом процессе изготовления ПАС используется ряд добавок класса ПАВ, что также, как и в предыдущем случае определяет условия совместимости с другими компонентами ВВ (ЭВВ). Главным достоинством новых разновидностей ПАС является высокая пористость и соответствующая высокая поглотительная способность по отношению к жидким горючим (ДГ. масла). Это определяет эффективность и безопасность, в том числе, экологическую, применения смесей АСДТ в силу уменьшенного критического диаметра и более полного взрывчатого превращения ВВ в скважинах (зарядах) ограниченного размера.

Одной из особенностей ПАС с высоким маслопоглощением является способность смесей с увеличенным содержанием масла (ДТ) к превращению в форме взрыва. В серии предварительных опытов, выполненных в ЧОИИХФ РАН, получено, что смеси ПАС из г. Новомосковск с ДТ способны к взрыву в зарядах диаметром 100 мм в пластмассовых трубах со скоростью 2,3-2,7 км/с при содержании ДТ до 11,5%. Такая особенность определяет возможность создания новых рецептур ВВ, в частности, на основе композиций различных марок АС, а также расширение возможностей проведения широкого круга экспериментов для выявления особенностей механизма взрывных процессов в смешанных системах.

ОСОБЕННОСТИ РОСТА ТРЕЩИН В ГОРНЫХ ПОРОДАХ И БИОМИНЕРАЛАХ

**Меженов М.М.¹, Кабанова А.В.¹, Зайцев Д.В.^{1,2,3},
Панфилов П. Е.¹**

¹ *Уральский федеральный университет, Екатеринбург;*

² *Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН,
Екатеринбург;*

³ *Уральский государственный горный университет, Екатеринбург*

В отличие от синтетических неорганических материалов (например, на основе SiO₂), появление трещин в лабораторных образцах горных пород (ГП) и биоминералов (БМ) не ведет к их мгновенному разрушению. А водная среда далеко не всегда инициирует ускорение процесса роста трещин в ГП и БМ. В докладе проводится сравнение развития микро-

трещин в некоторых ГП (гранит, антрацит, серпентинит, песчаник) и БМ (эмаль зубов и скорлупа куриных яиц) на воздухе и в воде, с целью выяснения особенностей процесса разрушения этих материалов. Показано, что при приложении растягивающих нагрузок к лабораторным образцам модельных ГП и БМ, на микроскопическом масштабе все материалы демонстрируют вязкоупругое поведение, тогда как на макроуровне они ведут себя хрупко, а водная среда качественно не меняет характера их поведения. Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ-СО № 20-48-660017.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ НА ШЕРЕГЕШСКОМ РУДНИКЕ

Скулкин А.А.

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН

Диагностика исходного поля напряжений породных массивов, как важнейшее условие правильных проектных решений, необходима при выборе и обосновании рациональной технологии добычи полезных ископаемых, обеспечивающей безопасность горных работ на шахтах и рудниках, при строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений, наземных и подземных атомных электростанций, других объектов технического назначения, находящихся во взаимодействии с прилегающим (вмещающим) массивом. Использование частных гипотез Гейма, Динника и других о виде напряженного состояния массива не всегда оправдано для больших глубин и совершенно неприемлемо в районах с выраженной тектоникой. Обширные экспериментальные результаты подтверждают этот, теперь общепризнанный факт, причем натуральный эксперимент остается, пожалуй, единственной возможностью количественной оценки напряжений в нетронутом массиве.

В настоящей работе приведены результаты экспериментального определения напряженного состояния породного массива на Шерегешском руднике методом измерительного гидроразрыва.

В результате поиска и анализа производственной обстановки было выбрано наиболее интересное место возможного размещения замерной станции (рис. 1).

Замерная станция находится на горизонте +195 недалеко от рудоспусков № 6, 7 и состоит из двух скважин, которые направлены в левый и правый борт выработки горизонтально. Все скважины пройдены по магнетитовой руде.



Рис. 1. Схема расположения замерной станции

Классический вариант методики гидроразрыва предполагает использование трех ортогональных скважин [1-3]. Так как не удалось найти место, где возможно проведение трех скважин, принято решение о попытке получить значения поля напряжений исходя из данной конфигурации.

Эксперименты выполнены на глубине порядка 420 м (горизонт +195). Журнал наблюдений при выполнении тестов гидроразрыва на замерной станции приведен в таблице 1, а результаты обработки в таблице 2. На станции выполнено 11 тестов гидроразрыва в 2 скважинах.

Во всех скважинах не удалось создать трещину, так как прочность породы на разрыв превышает разрешающую способность комплекса (>60 МПа). Поэтому было принято решение о нахождении природных трещин в скважинах и их раскрытии [4].

В скважине С-1 трещины найдены на глубинах 8, 7,5, 7м, а в скважине С-2 трещины расположены на глубине 8, 7 м.

Таблица 1 – Журнал наблюдений при выполнении тестов гидроразрыва на замерной станции Шерегешского рудника

Координаты эксперимента		1-е нагружение		2-е нагружение	
№ скважины	L до места гидроразрыва, м	Давление раскрытия	Давление запирания,	Давление раскрытия	Давление запирания,
		ны, P_r' , МПа	P_s' , МПа	трещины, P_r'' , МПа	P_s'' , МПа
С-1	8	18.6	17.8	18.3	17.3
	7.5	20.4	17.85	19.6	17.4
	7	17.8	17.3	17.2	15.7
С-2	8	15.7	12.9	15.5	12.7
	7	23.2	16.2	17.8	14
	7	17.5	13.5		

Все значения получены при раскрытии уже имеющихся трещин и ориентация этих трещин относительно оси скважины неизвестна. В связи с этим можно говорить лишь об оценочных значениях главных напряжений.

Таблица 2 – Значения компонент напряжений, оцененные в экспериментах на Шерегешском руднике.

Индекс измерительной скважины	Расстояние от контура выработки, м	σ_n , МПа	σ_{\min} , МПа	σ_{\max} , МПа
С-1	8		17.6	
	7.5		17.6	
	7		16.5	
С-2	8	12.8		
	7	13.7	16.2	25.4

На замерной станции выполнено 11 тестов гидроразрыва. В результате обработки $P - t$ диаграмм установлены следующие значения напряжений, действующих в массиве: $\sigma_{\min} = 16.2 - 17.6$ МПа; $\sigma_{\max} = 25.4$ МПа, а $\sigma_n = 12.8 - 13.7$ МПа, что соотносится с весом налегающих пород $\sigma_n = \gamma H = 13.25$.

Заключение

На замерной станции произведено 11 тестов измерительного гидроразрыва. Установлено, что в массиве вблизи замерной станции действует не равнокомпонентное поле напряжений, в котором вертикальная составляющая близка к расчетному значению от веса налегающих пород (около 13.25 МПа), а горизонтальные напряжения имеют коэффициент $1.22 \div 1.32$ и 1.92 соответственно.

Список литературы

1. Курленя М.В., Леонтьев А.В., Попов С.Н. Развитие метода гидроразрыва для исследования напряженного состояния массива горных пород // ФТПРПИ. – 1994. – № 1.
2. Proceedings of the Workshop (Monterey, 1981), 2nd International Workshop (Minneapolis, 1988) on hydraulic fracturing stress measurements.
3. D 4645 – 04. Standard Test Method for Determination of the In-Situ Stress in Rock Using the Hydraulic Fracturing Method.
4. Рубцова Е. В., Скулкин А. А. О методах косвенного определения величины давления запирания трещины при измерительном гидроразрыве // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2016. — Т. 2. — № 3. — С. 265–269.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

СНИЖЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СВЕРХДЛИННЫХ УГОЛЬНЫХ ЛАВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТРУЙНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ, УСТАНОВЛЕННЫХ НА ОЧИСТНОМ КОМБАЙНЕ

Павлов С.А.

*Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения
Российской академии наук*

В настоящее время очистные выработки имеют тенденцию к увеличению своей протяженности [1, 2]. Увеличение протяженности лавы, оснащенной очистным комбайном и механизированной крепью, неизменно ведет к увеличению ее аэродинамического сопротивления, а соответственно, и требованию к производительности главных вентиляционных установок. Поэтому исследование способа повышения эффективности проветривая сверхдлинных (до 400 м) угольных лав без увеличения нагрузки на вентиляторы главного проветривания, является весьма актуальной задачей.

Для снижения аэродинамического сопротивления участка лавы с комбайном необходимо обеспечить принудительное перемещение воздушных масс в обход очистного комплекса. Эту задачу можно решить установкой осевого струйного вентилятора на очистной комбайн [3]. Такое техническое решение позволит снизить аэродинамическое сопротивление угольной лавы, не изменяя статического давления на границах выемочного участка, т.к. струйный вентилятор создает только динамическое давление. При помощи вычислительных экспериментов, оценим эффективность проветривания с применением струйных вентиляторов, установленных на очистном комбайне, на примере шахт Кузбасса, где выемочный участок имеет большую протяженность, а мощность пластов составляет от 2,4 до 3,7 метров [1, 2].

В качестве исходных данных при вычислительном моделировании протяженность лавы принималась 400 м, что классифицирует ее, как сверхдлинную. Кроме того, в исследуемый участок входило сопряжение лавы с вентиляционным и откаточным штреками протяженностью по

200 метров каждый. Осевого струйный вентилятор принят диаметром 0,6 м, с максимальной производительностью до 30 м/с. При этом расчетная средняя скорость воздуха по сечению лавы, согласно п. 124 ФНИП [4], не превышала допустимой – 4 м/с.

Для удобства сравнения местные сопротивления переведены из вида «безразмерный коэффициент местного сопротивления» к виду «коэффициент аэродинамического сопротивления» с размерностью $1 \text{ км} = 9,81 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8$.

В настоящее время существует ряд сертифицированных расчетных комплексов, которые основаны на численном решении уравнений перемещения жидкости или газа. Получить аэродинамические параметры элементов вентиляционной сети шахт [5,6] возможно в программах вычислительной гидродинамики, в частности Ansys CFX.

Чтобы оценить изменение аэродинамического сопротивления лавы с учетом перемещения по ней механизированного очистного комплекса, ограничимся рассмотрением 6 вариантов (позиций) расположения очистного комбайна. Позиция 1 соответствует начальному положению очистного комбайна, осуществившего взрезку в пласт. Позиция 2 соответствует расположению очистного комбайна на 1/2 длины лавы. Позиция 3 – 3/4 длины лавы. Позиция 4 – 7/8 длины лавы. Позиция 5 – 15/16 длины лавы. Позиция 6 соответствует крайнему положению очистного комбайна, завершившего проход по лаве, но не преграждающего сечение вентиляционного штрека.

Из табл. 1 видно, что при включении струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне, с производительностью 30 м/с, аэродинамическое сопротивление лавы с мощностью обрабатываемого пласта 3,7 м – снизилось на 21 %. Исключение составляет самый крайний вариант расположения комбайна (позиция 6), когда струя из вентилятора ударяется в стену вентиляционного штрека, создавая таким образом «воздушную пробку» на выходе из лавы. При таком среднем снижении аэродинамического сопротивления лавы, количество воздуха, проходящего через нее, увеличится на 12,5 % без изменения производительности главной вентиляционной установки.

Таблица 1 – Величина аэродинамического сопротивление лавы с мощностью пласта 3,7 м

Производительность струйного вентилятора	Расположение комбайна, номер позиции					
	1	2	3	4	5	6
	Аэродинамическое сопротивление, км					
0 м/с (выкл.)	0,037024	0,038017	0,035921	0,035697	0,035199	0,035323
30 м/с	0,028075	0,029705	0,026705	0,027993	0,031220	0,058872

Из табл. 2 видно, что при включении струйного вентилятора с производительностью 30 м/с, аэродинамическое сопротивление лавы с мощностью обрабатываемого пласта 2,4 м – снизилось на 35 % (без учета позиции 6). При таком снижении аэродинамического сопротивления лавы, количество воздуха, проходящего через нее, увеличится уже на 24 % без изменения производительности главной вентиляционной установки.

Таблица 2 – Величина аэродинамического сопротивление лавы с мощностью пласта 2,4 м

Производительность струйного вентилятора	Расположение комбайна, номер позиции					
	1	2	3	4	5	6
	Аэродинамическое сопротивление, км					
0 м/с (выкл.)	0,037024	0,038017	0,035921	0,035697	0,035199	0,035323
30 м/с	0,028075	0,029705	0,026705	0,027993	0,031220	0,058872

Выводы

Применение осевого струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне, позволяет снизить аэродинамическое сопротивление лавы на 21-35 %, что существенно увеличивает расход воздуха через нее без увеличения нагрузки на главную вентиляционную установку. Чем меньше поперечное сечение лавы, тем более эффективным является применение струйного вентилятора.

Данная статья написана по результатам исследований, выполненных в рамках проекта ФНИ (№ гос. регистрации 121052500147-6).

Список литературы

- Ордин А.А. О рекордной длине и производительности очистного забоя шахты имени В.Д. Ялевского / А.А. Мешков, М.А. Волков, А.А. Ордин [и др.] // Уголь. – 2018. – № 7(1108). – С. 4-8.
- Ордин А.А. Обоснование оптимальной длины и производительности очистного забоя при отработке мощного угольного пласта шахты «Талдинская-Западная-1» / А.А. Ордин, А.М. Тимошенко, Д.В. Ботвенко, А.М. Никольский // Уголь. – 2019. – № 3(1116). – С. 50-54.
- Патент № 2701900 С2 Российская Федерация, МПК E21F 1/00. Способ вентиляции угольной лавы: № 2018100873: заявл. 10.01.2018: опубл. 03.10.2019 / А.М. Красюк, И.В. Лугин, С.А. Павлов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук.

4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» от 01 января 2021 года (Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 года № 507).

5. Павлов С.А. Об изменении аэродинамического сопротивления вентиляционной сети шахты при реверсировании воздушного потока // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2019. – №2. Т.6. 207-211.

6. Павлов С.А. Оценка изменения величины местных аэродинамических сопротивлений элементов вентиляционной сети рудника при реверсивном режиме работы системы вентиляции // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019. – Том 2, № 4. – С. 212-219.

ОПЫТ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТИИ

Силин С.А.

Институт Горного Дела Севера им. Н.В. Черского (ИГДС СО РАН)

На основе анализа фондовых материалов, рассмотрен опыт и условия применения основных технологий и способов производства вскрышных, добычных работ при разработке россыпных месторождений золота в Восточном, Северном, Алданском, Нерюнгринском горнодобывающих районах Якутии. Среди применяемых на россыпях технологий можно выделить: бульдозерную, экскаваторную и с применением погрузчиков. Эти технологии (кроме бульдозерной) при производстве горных работ применяются в комплексе между собой, образуя при этом конкретный способ (схему) разработки. Доля применения способов разработки на россыпных месторождениях золота Якутии показана в таблице 1 [1, 2, 3].

Таблица 1 – Процентное соотношение существующих способов производства вскрышных / добычных работ на россыпных месторождениях Якутии.

Горнодобывающий район	Вскрыша/Добыча				
	Бульдозерная	Комбинированная по схеме:			
		бульдозер – погрузчик – автосамосвал	бульдозер – погрузчик	бульдозер – экскаватор – автосамосвал	бульдозер – экскаватор
Восточный	47/0*	17/64	5/13	26/23	5/0
Северный	60/0	20/55	0/18	20/27	0/0
Алданский	91/17	0/17	0/8	5/25	5/29
Нерюнгринский	78/50	0/6	6/11	17/28	0/6

* показатель: в числителе – на вскрыше, в знаменателе на добыче

Бульдозерная технология разработки, в целом, применяется на всех россыпных месторождениях золота Якутии, как в виде самостоятельно способа производства вскрышных, добычных работ (43 % из рассмотренных месторождений), так и в комплексе с другими выемочно-погрузочными и транспортными техническими средствами (57 % из рассмотренных месторождений). В Нерюнгринском и Алданском районах его доля достигает на вскрышных работах 78–91 %, на добычных – 17–50 %, в Северном и Восточном районах – на вскрыше составляет 47–60 %, на добыче – не применяется [3].

Бульдозеры используются на всех этапах разработки россыпи открытым способом от первоначальной выемки до рекультивации. Кроме того, большинство из них оснащены рыхлителями для разрушения мерзлых грунтов и коренных пород, содержащих россыпное золото. Бульдозерным способом разрабатываются торфа максимальной мощностью 15,2 м в Восточном районе, 8 м в Северном районе, 9,3 м и 5 м в Нерюнгринском и Алданском районах соответственно. Бульдозеры также используются для строительства дорог, водозаборных дамб, котлованов и отстойников [4].

Среди вовлекаемых в разработку бульдозеров, присутствуют различные модели фирм зарубежных: «Shantui»; «Fiatallis»; «Caterpillar»; «Liebherr», и отечественных, завод ЧТЗ, ЯМЗ. Наибольшим спросом пользуются агрегаты фирмы «Коматсу», в особенности модель «Д-375». Доля применения этого бульдозера как на вскрышных, так и на добычных работах, составляет 63 %. Доля отечественных бульдозеров составляет 28 %. Чаще всего вовлекают в разработку маломощные модели Т-130, Т-170, которые задействуют на вспомогательных работах: разваловке гале-эфельных отвалов; подаче песков на промывочный прибор [3, 4].

Так же в производственный цикл могут быть задействованы различные погрузчики, экскаваторы, и автосамосвалы. Обобщенно эти способы классифицируются как комбинированные [3, 4].

Комбинированные экскаваторные способы производства вскрышных работ – вторые по популярности после бульдозерного способа. Среди экскаваторов наиболее часто встречаются карьерные гусеничные экскаваторы с электрическим приводом ЭКГ-5А и дизельные экскаваторы Doosan DX520LS, Solar 500LC-V, PC-750-7, Volvo EC460, PC-400 [7]. Экскаваторы при разработке россыпей золота выполняют ту же функцию, что и бульдозеры и оснащены ковшами, вместимость которых достигает 6 кубических метров [3, 4].

Фронтальные погрузчики занимают первое место среди наиболее часто используемых единиц оборудования при производстве добычных работ на золотороссыпных месторождениях Якутии. Модельный ряд

одноковшовых погрузчиков представлен следующими моделями: Komatsu WA-420, -500, -600, -700; Dressta NSW-534; CAT-992; Dresser RS-570, -750 LC; L-34, K-702 [3].

Максимальная средняя мощность торфов, разрабатываемых комбинированными способами в Восточном районе составляет 17,5 м (при использовании экскаваторов), тогда как в Северном и Алданском районах это значение составляет 11,5 м (при использовании погрузчиков и экскаваторов, в Нерюнгринском составляет 8,5 м при экскаваторном способе [3].

Комбинированные способы с использованием погрузчиков чаще применяются на месторождениях Северного и Восточного районов. На месторождениях Алданского и Нерюнгринского районов, преобладает экскаваторная разработка. Однако, при значениях мощности пород более 8 м, по всем рассматриваемым горнодобывающим районам Якутии наблюдается преобладание комбинированных экскаваторных способов [3].

При расстоянии перемещения горной массы более 0,5 км (в отвал, на обогатительную фабрику или к промприбору) в технологическую схему включают автотранспорт. Автосамосвалы представлены следующими марками: Белаз-7548, Белаз-548, Белаз-540, Белаз-7540, Урал-4320, различные модели Scania и Volvo [3].

В связи с расположением россыпных месторождений в области криолитозоны, мерзлые торфа и пески перед выемкой должны быть предварительно разупрочнены. Разупрочнение или подготовка горных пород к выемке, на рассматриваемых месторождениях, производится тремя способами: естественной оттайкой, механическим и взрывчаточным рыхлением [1, 3].

Преобладание естественной оттайки характерно при разработке россыпных месторождений Алданского, Северного и Восточного горнодобывающих районов Якутии, где этот способ применяется при разработке 71–76 % объемов горных пород, однако в Нерюнгринском районе объем таких пород значительно ниже (в 1,7 раза). В среднем по республике объем пород подготовляемых естественной оттайкой составляет 73,9%. Каких либо затрат этот способ не требует. Однако скорость подготовки горных пород к выемке таким способом крайне низкая [1, 3].

Вторым по распространенности способом предварительного разупрочнения пород является механическое рыхление. Наибольшее распространение способ получил в Нерюнгринском районе где им подготовляются к выемке 66 % общего объема пород. В Алданском, Северном и Восточном районах доля этого способа варьируется от 8,5 до 27 % (в среднем по республике, доля горных пород, подготовляемых этим способом составляет 23,4% [3].

Взрывчаточный способ рыхления чаще всего применяется на месторождениях Восточного района на 22 % месторождений, при этом доля разупрочняемых этим способом, горных пород, в среднем по району, составляет 20,5 %, а непосредственно на месторождениях достигает 43 %. На 4,5 % месторождений Алданского района также применяется этот способ, где доля разупрочняемых пород составляет 3 % – по району и 23 % – непосредственно на месторождениях, что почти в два раза меньше, по сравнению с Восточным. В чистом виде способ не применяется, составляя часть от общего объема взрываемых пород (как правило от 30% и больше), а комбинируется с механическим рыхлением. В среднем по республике доля этого способа подготовки, от общей массы горных пород, составляет 2,7 % [3, 4].

Выводы:

Булдозерный способ разработки торфов – самый популярный на россыпных месторождениях золота Якутии, доля которого растет, при смещении района разработки месторождения с Севера на Юг, с 47 до 91 %. Пески, чаще всего, разрабатываются комбинированным способом с использованием погрузчиков и автотранспорта, доля которого с Севера на Юг падает с 64% до 6 %. В Алданском и Нерюнгринском добывающих районах применяются более простые технологические схемы. При подготовке мерзлых пород в Алданском, Северном и Восточном районах преобладает способ естественной оттайки (71–76 % от всех объемов разрабатываемых пород).

Список литературы

1. Ермаков, С.А. Открытая разработка россыпных месторождений в условиях криолитозоны: С.А. Ермаков, А.М. Бураков, Б.Н. Заровняев; ред.: В.В. Иванов, В.Р. Кычкин. – М.: «Вузовская книга», 2008 – 212 с.
2. Свидетельство о государственной регистрации базы данных для ЭВМ №2015621657 Российской Федерация. «База данных россыпных месторождений Якутии» / Бураков А. М. Касанов И. С. Мионов Я. В. ; правообладатель Федер. гос. бюджет. учреждение науки Ин-т горн. дела Севера им. Н.В. Черского Сиб. отделения Рос. акад. Наук. – №2015621011 – заявл. 30.07.2015; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 20.12.2015, Бюл. №12.
3. Силин, С.А. Анализ способов разработки россыпных месторождений Якутии с учетом климатических и горнотехнических условий. / С.А. Силин // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2019. – Том 6, № 3. – С. 144 – 150.
4. Потехин, А.В. Оценка горнотехнических условий и способов разработки россыпных месторождений Якутии / А.В. Потехин // «Проблемы горной науки: взгляд молодых ученых»: материалы научной конференции

молодых ученых и специалистов ИГДС СО РАН, посвященной памяти академика РАН Николая Васильевича Черского (г. Якутск, 7 февр. 2012 г.). – Якутск: Изд-во ФГБУН Ин-т мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2013. – С. 93 – 102.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЮРЕГИНСКОЙ СВИТЫ В ПРЕДЕЛАХ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ ТРУБОК «МИР» И «ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНАЯ»

Яникова С.А., Яников А.М.

Институт «Якутнирпролмаз» АК «АЛРОСА» ПАО

Коренные месторождения алмазов – кимберлитовые трубки «Интернациональная» и «Мир» являются основой минерально-сырьевой базы Мирнинского ГОКа. Дальнейшая обработка месторождений требует изучения гидрогеологических условий глубоких горизонтов (1500–1700 м от дневной поверхности). Вмещающие породы в изучаемых отметках представлены раннепалеозойскими породами нижнего кембрия юрегинской (Є₁jur) свиты [1, 2]. Приведем их раздельную гидрогеологическую характеристику.

В пределах шахтного поля трубки «Интернациональная» породы юрегинской (Є₁jur) свиты залегают на глубинах 1523–1708 м от дневной поверхности [3]. Соленасыщенность свиты в районе месторождения не более 58 %. По результатам исследований выделяется семь слабогазо-насыщенных коллекторов. Мощность пластов – коллекторов от 0,5 м, до 4,0 м, общая мощность составила 20,8 м. Пласты-коллекторы между собой разделяются мощными водо- и газоупорными пачками галогенных (каменная соль) и терригенных (аргиллит) отложений, суммарной мощностью от 20,0 м до 45,0 м [4, 5, 6]. По величине зафиксированного пластового давления породы юрегинской свиты в пределах шахтного поля трубки «Интернациональная» можно разделить на три зоны:

– *зона аномально низкого пластового давления* в интервале 1523,0–1550,0 м (абс. отм. (-1123,3 м) – (-1150,3 м)). Сложена преимущественно галогенными породами, с подчинёнными прослоями и пропастками карбонатных (известняк, доломит) и терригенных (аргиллит) отложений. На данном интервале выделен пласт-коллектор №3, мощностью 1,7 м. Приток флюида при открытом периоде при снятии давления Q до 0,72 м³/сут; пластовое давление Рпл. – 75,2 кгс/см². Зафиксированное пластовое давление ниже расчётного гидростатического (149,0–150,0 кгс/см²) в 1,5 раза.

– *зона аномально высокого пластового давления* в интервале 1550,0–1652,0 м (абс. отм. (-1150,3 м) – (-1252,3 м)). Сложена переслаиванием галогенных пород, карбонатных (известняк, доломит) и терригенных (аргиллит, т/з песчаник) отложений. На данном интервале выделено три коллектора №№ 4, 5 и 6, суммарной мощностью 9,1 м. Приток флюида при открытом периоде при снятии давления Q до 9,12 м³/сут; максимальное зафиксированное пластовое давление составило Рпл. – 198,7 кгс/см². Зафиксированное пластовое давление выше расчётного (нормального) гидростатического (155,0–160,0 кгс/см²) в 1,3 раза.

– *зона нормального пластового давления* в интервале 1652,0–1708,3 м (абс. отм. (-1252,3 м) – (-1308,6 м)). Сложена преимущественно галогенными породами, с подчинёнными прослоями и пропастками карбонатных (известняк, доломит) и терригенных (аргиллит) отложений. На данном интервале выделено три коллектора №№ 7, 8 и 9, суммарной мощностью 10,0 м. Приток флюида при открытом периоде при снятии давления Q до 1,44 м³/сут; максимальное зафиксированное пластовое давление составило Рпл. – 152,3 кгс/см². Зафиксированное пластовое давление несколько ниже расчётного (нормального) гидростатического давления, составляющего в данных условиях порядка 165,0–170,0 кгс/см² (в 1,1 раза). Что, в свою очередь, позволяет охарактеризовать выделенные коллектора юрегинской свиты как коллектора с относительно нормальными пластовым давлением.

В пределах шахтного поля трубки «Мир» породы юрегинской (Є₁jur) свиты залегают на глубинах 1490,6–1650 м от дневной поверхности. Соленасыщенность свиты в районе месторождения не более 50 %. По результатам исследований количество коллекторов осталось неизменным – 7 шт. Мощность пластов – коллекторов от 2,0 м, до 20,0 м, общая мощность составила 38,0 м. Пласты-коллекторы между собой разделяются мощными водо- и газоупорными пачками галогенных (каменная соль) и терригенных (аргиллит) отложений, суммарной мощностью от 12,0 м до 50,0 м. По величине зафиксированного пластового давления было выделено три зоны:

– *зона аномально низкого пластового давления* в инт. 1518,0–1535,0 м (абс. отм. (-1179,3 м) – (-1196,3 м)). Сложена преимущественно галогенными породами, с подчинёнными прослоями и пропастками карбонатных (известняк, доломит) и терригенных (аргиллит, алевролит) отложений. На данном интервале выделено три пласта-коллектора. Приток флюида при открытом периоде Q до 0,1 м³/сут; пластовое давление Рпл. – 58,0 кгс/см². Зафиксированное пластовое давление ниже расчётного гидростатического (149,0–150,0 кгс/см²) в 2,5 раза.

– зона аномально низкого пластового давления в инт. 1585,0–1602,0 м (абс. отм. (-1246,3 м) – (-1263,3 м). Сложена переслаиванием галогенных пород и подчинённых прослоев и пропластков карбонатных (известняк, доломит) и терригенных (аргиллит, алевролит) отложений. На данном интервале выделено два пласта-коллектора. Приток флюида при открытом периоде Q до $0,2 \text{ м}^3/\text{сут}$; пластовое давление Рпл. – $94,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$. Зафиксированное пластовое давление ниже расчётного гидростатического ($155,0\text{--}160,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$) в 1,6 раза.

– зона нормального пластового давления в инт. 1615,0–1650,0 м (абс. отм. (-1276,3 м) – (-1311,3 м). Сложена преимущественно галогенными породами, с подчинёнными прослоями и пропластками карбонатных (известняк, доломит) и терригенных (аргиллит) отложений. На данном интервале выделено два коллектора, суммарной мощностью 24,0 м. Приток флюида при открытом периоде при снятии давления Q до $0,5 \text{ м}^3/\text{сут}$; максимальное зафиксированное пластовое давление составило Рпл. – $131,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$. Зафиксированное пластовое давление несколько ниже расчётного (нормального) гидростатического давления, составляющего в данных условиях порядка $165,0\text{--}170,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$ (на 20 % ниже), что позволяет охарактеризовать выделенные коллектора юргинской свиты, как коллектора с пластовым давлением, приближенным к нормальному.

Анализируя представленную информацию, необходимо отметить следующие отличия:

– суммарная мощность коллекторов в шахтном поле трубки «Мир» превышает мощность коллекторов в пределах шахтного поля трубки «Интернациональная» в 1,8 раза, но при этом суммарный приток ниже практически в 10 раз;

– в пределах шахтного поля трубки «Мир» не выявлено зон аномально высокого давления, что, по всей видимости, обусловлено меньшей насыщенностью и большей мощностью проницаемых пород.

Необходимо отметить, что причины возникновения выявленных аномалий пластового давления в отметках залегания юргинской свиты 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 Ботубинской 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. Газодинамическая характеристика коллекторов во внешнем контуре месторождения «трубка Интернациональная» // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2018. – №4. – С. 98–101.

6. Янников А.М. Гидрогеологическая характеристика пород злыганской, нелбинской и юргинской свит в пределах Мирнинского кимберлитового поля (на примере околотрубного массива вмещающих пород трубки «Интернациональная») // Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: сборник докладов V всероссийской научно-практической конференции. – Мирный. – 2018. – С. 335–339.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОУДАРНОЙ МАШИНЫ С ИЗМЕНЯЕМОЙ СТРУКТУРОЙ УДАРНОЙ МОЩНОСТИ

Плохих В.В., Чешин Д.О.

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН (ИГД СО РАН)

Сооружение протяженных скважин является неотъемлемой частью технологических процессов в горной промышленности, подземном строительстве и других отраслях народного хозяйства. Наиболее широко для этой цели применяются виброударные машины с пневматическим приводом. Это обусловлено конструктивной простотой и надежностью работы в неблагоприятных условиях.

В настоящее время при ведении горных работ на больших глубинах возникает проблема обеспечения безопасности персонала вследствие высокой газозаванности. Кроме того, наблюдается тенденция снижения содержания полезного ископаемого. Решением данной проблемы является создание роботизированных буровых комплексов, в составе которых будут применены пневматические ударные машины с изменяемой в широком диапазоне структурой ударной мощности (энергии и частоты ударных импульсов). Это так же позволит использовать системы дистанционного управления для реализации «безлюдных» технологий добычи полезных ископаемых [1,2].

Конструкция пневмоударного устройства определяется его воздушораспределительной системой. Классификация систем воздушораспределения представлена на рисунке 1 [3].



Рис. 1. Классификация систем воздухораспределения пневмоударных устройств

В пневмомолотах первого поколения наибольшее распространение получила беззолотниковая (бесклапанная) система воздухораспределения, отличающаяся простотой конструктивного исполнения и надежностью работы. Однако резервы увеличения ударной мощности для данных машин ограничены производительностью компрессоров. Дальнейшее повышение мощности пневмомолотов могло быть обеспечено только за счет улучшения показателей их рабочего цикла. Сделать это удалось в ИГД СО РАН, создав пневмомолоты нового поколения «Тайфун» с эластичным воздухораспределительным клапаном, установленным на ударнике [4, 5]. Анализ конструкции пневмомолота показывает, что предпочтительным является установка клапана на неподвижных деталях устройства. Это позволит уменьшить износ клапана и увеличить ресурс работы устройства. Кроме того, появляется возможность для реализации адаптивных технологических процессов, позволяющих в широком диапазоне изменять структуру ударной мощности в зависимости от свойств обрабатываемой среды.

С учетом анализа разработан вариант принципиальной конструктивной схемы пневмоударного устройства с упругим клапаном, установленным на наковальне. Схема представлена на рисунке 2.

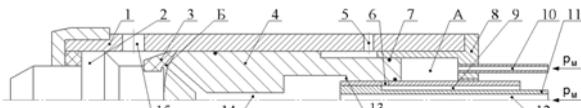


Рис. 2. Конструктивная схема пневмоударного механизма

Пневмоударное устройство состоит из корпуса 1, наковальни 2, ударника 4, подвижного патрубку 11, упругого клапана 3, установленного на неподвижной наковальне и задней гайки 8. Подвод сжатого воздуха осуществляется через патрубки 10 и 11 непосредственно в рабочие камеры ударника.

Устройство работает следующим образом. Ударник 4, который находится в положении удара, механически деформирует упругий клапан 3, закрывая кольцевой зазор между клапаном и внутренней цилиндрической поверхностью корпуса 1. Сжатый воздух поступает одновременно по патрубку 10 в камеру рабочего хода А и через центральный канал 12 в патрубке 11 и осевой канал 14 в камеру холостого хода Б. Поскольку площадь со стороны камеры холостого хода больше, чем со стороны камеры рабочего хода ударник движется в заднее положение (вправо). Упругий клапан в течение холостого хода ударника находится в упруго-деформированном (растянутом) состоянии и удерживается в этом состоянии давлением энергоносителя в камере холостого хода. Одновременно происходит сжатие энергоносителя в камере рабочего хода.

В конце холостого хода, когда проточка 13 пересекает выхлопное отверстие 6 происходит соединение камеры холостого хода Б с атмосферой через выхлопной канал 9. Происходит падение давления в камере холостого хода. Данное обстоятельство приводит к уменьшению деформирующего усилия и переходу клапана в свободное (открытое) состояние. Открывается кольцевой зазор над клапаном 3 и происходит выхлоп энергоносителя в атмосферу из камеры холостого хода Б через отверстие в корпусе 15. Ударник движется в переднее положение (влево). В конце рабочего хода ударник бьет по наковальне 2 и одновременно осуществляет механическое закрытие упругого клапана. Далее цикл повторяется. Отверстие в корпусе 5 обеспечивает связь с атмосферой полости между ударником и внутренней поверхностью корпуса от возможного скопления энергоносителя через уплотнения 7 в процессе работы машины. Продольное перемещение относительно корпуса патрубку 11 позволяет осуществлять изменение момента сброса давления из камеры холостого хода, тем самым изменяя рабочий ход ударника и, следовательно, структуру ударной мощности непосредственно в процессе работы устройства.

Для оценки динамических параметров, предлагаемого устройства, была создана имитационная модель пневмоударной системы в программном комплексе SimulationX, представленная на рисунке 3.

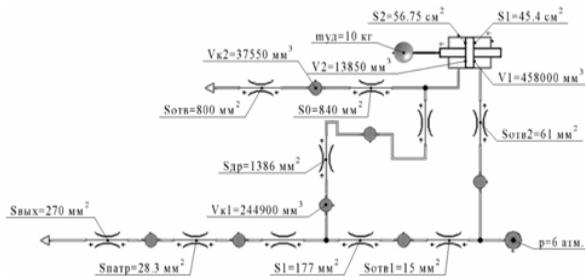


Рис. 3. Имитационная модель в программе SimulationX

По результатам моделирования построены графики изменения динамических параметров в зависимости от изменения величины рабочего хода ударника (рис.4).

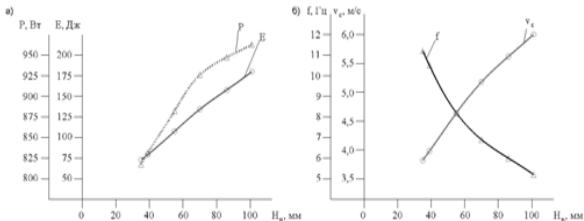


Рис. 4. Результаты имитационного моделирования

Графики, представленные на рисунке 4а, показывают, что изменение величины рабочего хода в конструктивно достижимом диапазоне от 40 до 100 мм приводит к повышению энергии удара примерно в 2,5 раза. Графики на рисунке 4б отображают снижение частоты ударов при том же диапазоне перемещений примерно в 2 раза.

Таким образом, результаты имитационного исследования позволяют обоснованно предполагать возможность создания пневматической ударной машины с изменяемой структурой ударной мощности для работы в составе роботизированных буровых комплексов.

Список литературы

1. Смоляницкий Б.Н., Червов В.В. Повышение эффективности использования энергоносителя в пневмомолотах для подземного строительства // ФТПРПИ. № 5. 2014. – С. 143–156.
2. Плохов В.В., Чешин Д.О. Имитационное исследование рабочего цикла гидравлической ударной системы объемного типа // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых: сборник материалов V Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Омск, СибАДИ, 2021. – С. 27 – 31.
3. Суднишников Б.В., Есин Н.Н., Тупицын К.К. Исследование и конструирование пневматических машин ударного действия. – Новосибирск: «Наука», 1985. – 135 с.
4. Петреев А.М., Смоляницкий Б.Н. Согласование параметров пневмомолота с производительностью источника питания // ФТПРПИ. – 1999 – № 2.
5. Червов В.В. Теория и практика создания пневматических молотов с переменной структурой мощности для реализации бестраншейных технологий прокладки коммуникаций. Дис. докт. техн. наук (05.05.04) / Новосибирск, 2009. – 289 с.

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТНИКОВ ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ В ШАХТЕ

Тарасов В.М.¹, Фомин А.И.², Тарасов Д.В.³

¹ООО «РивальСИТ»

²АО «НЦ ВостНИИ»

³ООО «ИКЦ «Промышленная безопасность»

Предприятиями угольной промышленности Кузбасса за 2020 год добыто 220,7 млн. тонн угля, в т. ч. подземным способом 81,7 млн. тонн, открытым – 139 млн. тонн. При этом общий травматизм на предприятиях угольной отрасли в регионе по сравнению с аналогичным периодом 2020 года снижен на 7 случаев и составил 106 случаев, однако травматизм со смертельным исходом за этот период увеличен на 2 случая и составил 11 случаев.

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 поддержку 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].

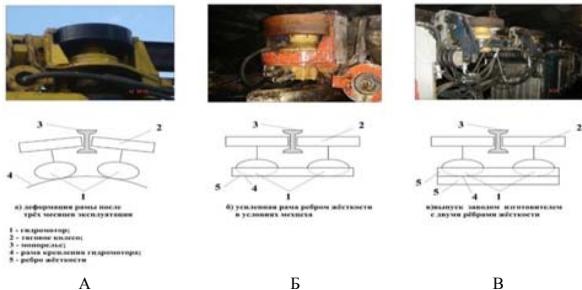
Проведя исследовательскую, аналитическую работу выявлено: кинематическая схема тягового устройства после трехмесячной эксплуатации с применением одновитевой схемы строповки груза без учета центра тяжести груза выходит из строя. Эта схема действует и по настоящее время. Так как их дальнейшая эксплуатация была невозможна, потому что рама крепления гидромотора деформировалась, стала выпуклой, а края по периметру выгнулись вниз. Рама приобрела линзообразную форму, соответственно тяговые колеса не стали иметь контакта с монорельсовой балкой [5].

Для устранения данной проблемы было принято решение: деформированные рамы выпрямить и приварить ребро жесткости по периметру. Эта проблема была решена в условиях мехцеха шахты, а завод-изготовитель стал изготавливать рамы усиленные, с двумя ребрами жесткости. Но истинной причины установлено не было.

На рисунке 1 изображены три вида кинематической схемы с разными рамами крепления гидромотора.

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).

Кинематическая схема тягового устройства



Три вида кинематической схемы с разными рамами крепления гидромотора: А – деформация рамы после трехмесячной эксплуатации;

Б – усиленная ребром жесткости рама в условиях мехцеха;

В – выпущенная заводом-изготовителем с двумя ребрами жесткости;
 1 – гидромотор; 2 – тяговое колесо; 3 – монорельс; 4 – рама крепления гидромотора; 5 – ребро жесткости

Рис.1. Кинематическая схема тягового устройства

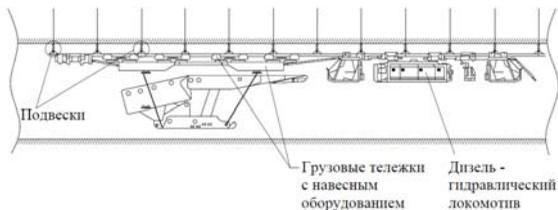


Рис. 2. Действующая схема (способ) подвески груза грузоподъемным устройством (гидроподъемниками)

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 позволили установить, что проведена десятилетняя глубокая научно-исследовательская работа по изучению данной технологии, актуальность проблемы, поднятой ООО «РивальСИТ», сомнений не вызывает, представленные материалы убедительны, научно обоснованы законами механики, необходимо внедрение в производство. Институт проблем комплексного освоения недр (ИПКОН РАН) технологию по патенту на изобретение РФ №2333880 и №2480396 включили в базу перспективных технологий для горнодобывающей промышленности [9,10].

Члены ученого совета АО «НЦ ВостНИИ» поддержали проводимую работу и приняли решение о необходимости компаний по добыче твердого полезного ископаемого подземным способом, применяя в работе грузоподъемные, перемещающиеся устройства (гидроподъемники) по монорельсу с помощью дизель-гидравлического локомотива, уделить внимание, реализовать проект по модернизации монорельсового подвешного транспорта по технологии патента на изобретение РФ №2333880 «Способ строповки грузов в горной выработке», рис. 3.

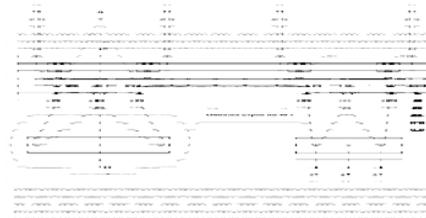


Рис. 3. Новая технология (способ) строповки груза грузоподъемным устройством (гидроподъемниками)

Модернизация монорельсового подвешного транспорта, предназначенного для перемещения людей, горно-шахтного оборудования, материалов позволит значительно снизить аварийность, риски травмирования работников, повысить рентабельность горного производства.

Список литературы

1. NeuhäuserBergbau – undTunneltechnik [Electronicresource]: 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», – 2018. – 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.
10. Тарасов В.М., Тарасова А.В., Тарасов Д.В. Тарасова Н.И. Пат. 2480396 РФ. МПК В66С 1/12 (2006.01). Монтажно-демонтажный способ строповки и транспортировки лавного конвейера в горной выработке. Патентообладатели Тарасов В. М., Общество с ограниченной ответственностью «Ривальде Современные Инновационные Технологии» (ООО «РивальдеСИТ»). № 2011148728/11; заявл. 29.11.2011; опубл. 27.04.2013, бюллетень № 12. – 10 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ДОБЫЧЕ ТВЕРДОГО ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Тарасов В.М.¹, Фомин А.И.², Тарасов Д.В.³

¹ООО «РивальСИТ»

²АО«НЦ ВостНИИ»

³ООО «ИКЦ «Промышленная безопасность»

Новая технология актуальна, предлагает качественный рывок в показателях «Бережливое производство».

Новый тип секции механизированной крепи: подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в капсуле термодинамического баланса (КТДБ) при добыче твердого полезного ископаемого подземным способом. Уникальная технология.

Фундаментально **качественно меняет работу СМК** в призабойном пространстве лавы, увеличивая в несколько раз промышленную безопасность, повышает производительность труда в 2-3 раза, экономит время и значительные финансовые средства.

Обеспечивают взаимодействие СМК «крепь-горный массив».

Исключают негативные процессы опорного давления в лаве (вывалы горной массы, выбросы пылегазовой смеси).

С внедрением новых технологий СМК можно **избегать таких трагедий** как на Шахте «Ульяновская», 2007г. – погибло 110 человек; Шахте «Распадская», 2010г. – погибло 91 чел.; в результате внезапного выброса угля и пылегазовой смеси: 25.07.2017 г., ООО «Блок №3 шахта «Анжерская-Южная», смертельно травмирован 1 чел.; 8.02.2019 г., ООО «Шахта им. С. Д. Тихова», жертвами стали 3 чел.; 14.09.2020г. ООО «ММК-УГОЛЬ» Шахта «Чертинская-Коксовая», жертвами стали 2 чел.; 15.08.2020г. АО «ОУК «Южкузбассуголь» филиал «Шахта «Ерунаковская-VIII», жертвами стали 4 чел.; 22.01.2021г., ООО «Шахта им. С.Д. Тихова», жертвами стали 3 чел.; 14.02.2021г., ООО «Шахта «Юбилейная», погиб 1 чел.; 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.**

По факту СМК, доставляя в монтажную камеру, просто раскрывают, не производя с ней никаких технологических действий, используя СМК как ограждающий элемент, а поддерживающая способность исключается. Все опорное опережающее горное давление и влияние горного массива берет на себя забой, рис.1. Отсюда многие отрицательные факторы в лаве (техногенные катастрофы).



Рис. 1. В процессе отработки лавы поддерживающая способность СМК отсутствует

Технология обоснована тремя патентами на изобретение РФ.

Новизна в сравнении с аналогичными отечественными и зарубежными разработками заключается в том, что геомеханическая система «крепь-горный массив» приводится в состояние равновесия, повышая безопасность ведения горных работ в очистном забое (Патент на изобретение РФ № 2546689). Предлагаемая новая технология монтажа и эксплуатации СМК (Патент на изобретение РФ № 2387841) неопровержимо доказывается научными фактами, законами, гипотезами, концепциями:

1. Взаимодействие СМК с опережающим опорным давлением в лаве.
2. Образование силовой составляющей в виде фермы в боковых породах лавы, где присутствуют ромбы, узлы связи, что позволяет: легко обрушающиеся породы стабилизировать, а зависающие блочные – производить отрыв вне зоны работы лавы, а в завальной части лавы, за СМК (Патент на изобретение РФ № 2432464).

3. **Гипотеза П. М. Цимбаревича** применительно к СМК, для лавы, которая перетекает в концепцию только для новой (предлагаемой) технологии.

4. Закон теоретической механики, глава «Кинематика твердого тела», раздел «Сферическое движение твердого тела» применительно к СМК (Теорема Ривальса).

5. На основании многолетней научно-исследовательской работы, выводов и заключений сотрудниками организации ООО «РивальСИТ» разработана секция механизированной крепи нового типа на основании закона равновесия твердого тела (**Пакон Ньютона**). 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.

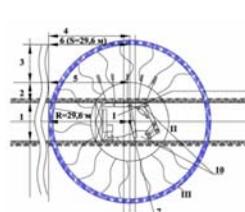


Рис. 2. Общий вид СМК в монтажной камере и образовании КТДБ вокруг монтажной камеры. I – первая зона КТДБ (монтажная камера и лавы); II – вторая зона КТДБ; III – третья зона КТДБ (защитная оболочка подсистемы, кольцо шириной 100-150 мм); 1 – пласт твердого полезного ископаемого (угля); 2 – непосредственная кровля; 3 – основная кровля; 4 – зона первичного шага обрушения пород кровли; 5 – шаг обрушения непосредственной кровли; 6 – шаг обрушения основной кровли; 7 – центр КТДБ, откуда откладываются диаметры и радиусы всех зон, 10 – СМК

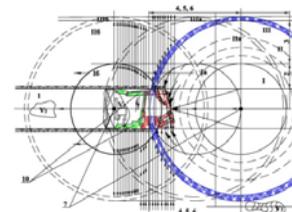


Рис. 3. СМК нового типа: подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в КТДБ. Ia – смещение первой зоны КТДБ; Ib – вывод первой зоны и извлечение из под влияния КТДБ; IIa и IIб – произошедшие смещение зон, вторая зона осталась в КТДБ; IIIa и IIIб – третья зона, не произошедшие смещение КТДБ

Необходимо исключить взрывоопасные аварийные ситуации – выброс пылегазовой смеси от забоя и обрушение породы в кровле призабойного пространства. Применяя новый тип СМК есть реальная возможность обеспечить функциональную работу СМК совместно с капсулой термодинамического баланса, значительно снизить газообильность, увеличить скорость передвижки секции механизированной крепи к забоя, повысить срок эксплуатации секции механизированной крепи,

техническая необходимость применения двухсторонней (челноковой) схемы резания, исключить холостой ход комбайна по зачистке призабойной дорожки, увеличить в несколько раз производительность труда и добычу твердого полезного ископаемого, обеспечивает высокую безопасность труда [1].

Колоссальную энергию, заключенную в капсуле термодинамического баланса использовать в работе СМК.

Цель: Безопасность и эффективность труда, повысить скорость передвижения секций механизированной крепи, увеличить добычу твердого полезного ископаемого, экономия финансовых ресурсов.

Решаемые задачи: Нет аналогов в России и за рубежом; Высокая конкурентоспособность СМК нового типа и выход на мировой рынок; Технология, отвечающая требованиям программы Правительства РФ по импортозамещению и модернизации топливно-энергетического комплекса (ТЭК); Исключает внезапный выброс пылегазовой смеси; Увеличит в несколько раз скорость передвижения СМК; Силы, заключенные в оболочке капсулы термодинамического баланса, используя закон равновесия твердого тела (II закон Ньютона) позволяют вывести ядро, в которой работает лава, в целик горного массива, где вся силовая составляющая приведена к нулю и работы не происходит, соответственно и обрушения в боковых породах отсутствуют; Позволяет перераспределить опорное горное давление с угольного пласта в завальную часть лавы, исключая неконтролируемые обрушения угля в угольном массиве и выбросы пылегазовой смеси в призабойной части лавы; Значительно повышает безопасность труда в лавах; Позволит значительно снизить газообильность в процессе отработки лавы; Повысит срок эксплуатации СМК; Снижает металлоемкость секции механизированной крепи.

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.

Список литературы

1. 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.; патенто-обладатели Тарасов В. М., ООО «Ривальс СОВРЕМЕННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» (ООО «РивильСИТ»). – № 2013141858/03; заявл. 12.09.2013; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10. – 19 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ЦИКЛОВ РЕВЕРСИВНОГО ГИДРОУДАРНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ ЗАКЛИНИВАНИЯ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СКВАЖИНАХ

Першин А.И., Городилов Л.В.

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук

При бурении скважин и проведении технологических операций в уже пробуренных скважинах нередко происходит заклинивание используемого оборудования [1, 2], что приводит к его потере и выходу из строя скважин. Особенно это проявляется в трещиноватых породах, например, в угольных пластах при бурении дегазационных скважин [3, 4]. В связи с этим оказывается невозможным проведение, например, поинтервального гидроразрыва в высокогазонасыщенных угольных пластах, что значительно увеличивает стоимость работ по дегазации.

Одним из возможных решений этой проблемы является применение автоколебательных гидроударных устройств одностороннего действия с двумя ограничителями движения бойка [5, 6], способных производить ударное воздействие на заклинившее оборудование в прямом и обратном направлениях (работать в прямом или реверсивном режиме) без конструктивных изменений. Эта особенность проявляется при изменении параметров энергоносителя.

На рис. 1 представлена принципиальная схема реверсивной гидроударной системы, которая включает в себя насос H постоянной производительности, гидроаккумулятор $Ак$, двухпозиционный гидрораспределитель P , корпус K , боек B , упругую связь Π между корпусом и бойком, ограничители движения бойка O_1 и O_2 .

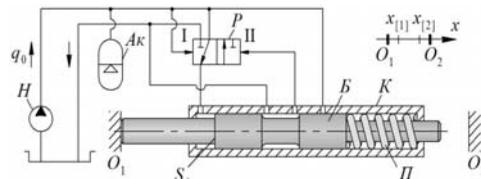


Рис. 1. Принципиальная схема реверсивной гидроударной системы

Гидроударная система работает следующим образом. В начальный момент времени боек находится на ограничителе O_1 , а гидрораспределитель переключен в позицию I. Рабочая жидкость от источника расхода поступает в напорный аккумулятор и в рабочую камеру. Под действием силы, действующей со стороны жидкости, боек движется вправо по рисунку и после прохождения бойком координаты $x_{[2]}$ распределитель переключается в позицию II. Рабочая камера соединяется со сливной линией и движение бойка происходит под действием только силы упругости пружины. В этой фазе боек затормаживается и может совершить удар по ограничителю O_2 . После остановки боек движется влево по рисунку, ускоряется и при прохождении бойком координаты $x_{[1]}$ происходит переключение распределителя в позицию I. Рабочая камера соединяется с напорной линией и боек, замедляясь, может совершить удар по ограничителю O_1 . После остановки бойка цикл повторяется.

Для исследования реверсивной гидроударной системы разработана ее имитационная модель и проведены расчеты для следующих параметров системы: расход жидкости $q_0 = 8 \dots 12$ л/мин; масса бойка $m_p = 2,5$ кг; торцевая площадь бойка со стороны рабочей камеры $S_A = 2,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; координаты $x_{[1]} = 0,025$ м, $x_{[2]} = 0,035$ м; жесткость пружины $c_{11} = 7$ кН/м; предельное поджатие пружины $x_{11} = 0,025$ м; объем газа в аккумуляторе $V_0 = 6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$; давление зарядки аккумулятора $p_0 = 1,6$ МПа.

На рис. 2 представлены осциллограммы динамических характеристик предельных циклов, полученные при разных расходах. На осциллограммах по оси ординат – время t , по оси абсцисс – перемещение x_p и скорость v_p бойка, давление в рабочей камере p_A .

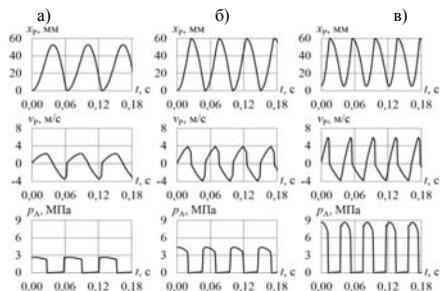


Рис. 2. Осциллограммы динамических характеристик реверсивной гидроударной системы: а) при расходе $q_0 = 8$ л/мин; б) при расходе $q_0 = 10$ л/мин; в) при расходе $q_0 = 12$ л/мин

Из приведенных осциллограмм можно видеть, что при расходе $q_0 = 8$ л/мин осуществляются удары в прямом направлении, при $q_0 = 10$ л/мин – удары в прямом и обратном направлениях, при $q_0 = 12$ л/мин – удары только в обратном направлении.

Выводы

Разработана имитационная модель реверсивного гидроударного устройства, позволяющая исследовать его свойства при изменении параметров модели и внешних условий. Проверочные расчеты позволили установить особенности динамики гидроударного устройства и возможность реализации в нем различных режимов работы, зависящих от подачи жидкости.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта 20-08-00721.

Список литературы

1. Калиниченко, О.И., Комарь П.Л. Перспективы создания ударных механизмов для ликвидации прихватов при бурении геологоразведочных скважин // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – 2012. – №12. – С. 44–49.
2. Манжосов В.К., Новиков Д.А. Моделирование переходных процессов и предельных циклов движения виброударных систем с разрывными характеристиками. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – 236 с.
3. Леконцев Ю.М., Сажин П.В. Технология направленного гидро-разрыва пород для управления труднообрушающимися кровлями в очистных забоях и дегазации угольных пластов // ФТПРПИ. – 2014. – №5. – С. 137–142.
4. Патент 2480589 РФ. Способ дегазации угольного пласта / Леконцев Ю.М., Сажин П.В. // Опубл. в БИ. – 2013. – №2.
5. Патент 2703029 РФ. Устройство для поинтервального гидроразрыва прочных горных пород / Городилов Л.В., Сажин П.В. // Опубл. в БИ. – 2019. – №29.
6. Gorodilov L.V. Analysis of self-oscillating single-acting hydro-impact system operational modes with two limiters of striker movement // International Journal of Fluid Power, Volume 20, Issue 2, 2019, pp. 209–224.

ПНЕВМОУДАРНАЯ МАШИНА С МЕХАНИЧЕСКИМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

Чещин Д.О., Данилов Б.Б., Плохих В.В.

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН (ИГД СО РАН)

Основными направлениями развития технологий подземного строительства и в частности сооружения скважин различного назначения является расширение диапазона технических возможностей технологии и технических средств ее реализации, повышение производительности, снижение удельных показателей стоимости, энергоемкости самого технологического процесса и технических средств, его реализующих. Исходя из этого, перспективными и первоочередными являются задачи создания новых рабочих органов, способных оказывать энергетическое воздействие на породный массив, соответствующее его физико-механическим свойствам [1].

Существенное развитие технология сооружения скважин получила после создания и последующего массового внедрения в производственную практику машин ударного действия. Пневмоударные машины получили опережающее развитие вследствие конструктивной простоты, высокой надежности и ремонтпригодности. Они находят широкое применение в области горно-добывающей промышленности, в строительстве объектов промышленного и гражданского назначения [2-4].

В пневмомолотах первого поколения наибольшее распространение получила беззолотниковая (бесклапанная) система воздухораспределения, отличающаяся простотой конструктивного исполнения и надежностью работы [5]. Однако резервы увеличения ударной мощности для данных машин ограничены производительностью компрессоров. Дальнейшее повышение мощности пневмомолотов могло быть обеспечено только за счет улучшения показателей их рабочего цикла. Сделать это удалось в ИГД СО РАН, создав пневмомолоты нового поколения «Тайфун» с эластичным воздухораспределительным клапаном, установленным на ударнике [6,7].

В продолжение работ по исследованию воздухораспределительных систем пневмомолотов, в ИГД СО РАН была разработана принципиальная конструктивная схема пневмоударного механизма для реализации виброударной технологии проходки скважин в породных массивах.

Отличительной чертой представленной конструкции (рис.1), по сравнению с известными пневмоударными устройствами, является клапан, установленный на неподвижной наковальне. Это решение позволяет уменьшить износ клапана и увеличить ресурс работы устрой-

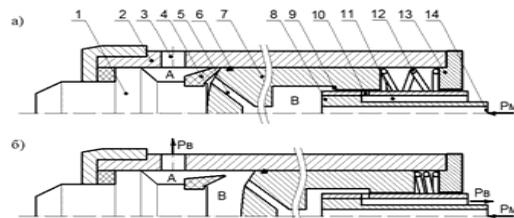


Рис.1. Принципиальная схема пневмоударного механизма:
1 – наковальня; 2 – корпус; 3 – выхлопные отверстия; 4 – клапан;
5 – канал; 6 – уплотнительный элемент; 7 – ударник;
8 – центральный патрубок; 9 – выхлопные каналы; 10 – задняя гайка;
11 – вход магистрального давления; 12 – пружина

Устройство работает следующим образом. Ударник 7, который находится в положении удара механически деформирует упругий клапан 4, закрывая кольцевой зазор между клапаном и внутренней цилиндрической поверхностью корпуса 2. Сжатый воздух поступает через центральный канал 14 в патрубке 8 и канал в ударнике 5 в камеру холостого хода В. Ударник движется в режиме холостого хода в заднее положение (вправо), сжимая пружину 12. Упругий клапан в течение холостого хода ударника находится в упруго-деформированном (растянутом) состоянии и удерживается в этом состоянии давлением энергоносителя в камере холостого хода.

В конце холостого хода, когда проточка 9 внутри ударника пересекает выхлопное отверстие 10 осуществляется соединение камеры холостого хода В с атмосферой через выхлопной канал 11. Происходит падение давления в камере В, что приводит к уменьшению деформирующего усилия и переходу клапана в свободное (открытое) состояние. Открывается кольцевой зазор над клапаном 4 и происходит выхлоп энергоносителя в атмосферу из камеры холостого хода В через отверстие 3 в корпусе 2. Ударник движется в режиме рабочего хода в переднее положение (влево). В конце рабочего хода ударник бьет по наковальне 1 и одновременно осуществляется механическое закрытие упругого клапана 4. Далее цикл повторяется. Продолное перемещение относительно корпуса патрубке 8 позволяет осуществлять изменение момента сброса давления из камеры холостого хода, тем самым изменяя ударные параметры устройства непосредственно в процессе работы.

Для исследования динамики рабочего цикла пневматической ударной системы в программе ITI SimulationX [8] была построена имитационная модель устройства с механической пружиной и, для сравнения результатов, модель с пневматическим подпором в рабочей камере. Расчетные схемы, заложенные в программу, и полученные результаты представлены на рисунке 2.

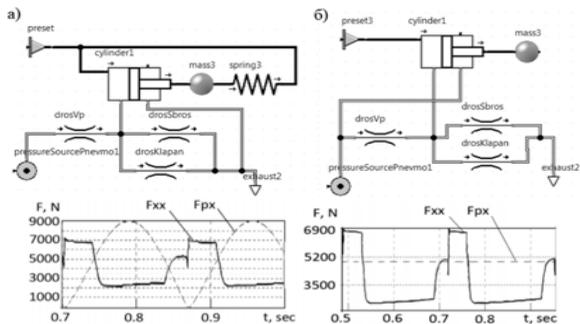


Рис.2. Схема имитационных моделей пневмоударных механизмов и результаты моделирования:
а – с механической пружиной; б – с пневматическим подпором

Под схемами на рис.2 представлены графики изменения усилий действующих на ударник со стороны камеры холостого хода (F_{xx}) и камеры рабочего хода (F_{px}). Диаметр ударника принят $D_u=150$ мм, а его масса $m=69$ кг. При одинаковом рабочем ходе ударника устройств по схеме «а» и «б» частота ударов составила 6 и 4,2 Гц, предударная скорость 4,6 и 4,2 м/с, а энергия удара 730 и 600 Дж соответственно.

Как видно из графиков, схема с механической пружиной позволяет во время холостого хода снизить усилие на ударник со стороны камеры рабочего хода, что способствует увеличению скорости взвода ударника, тем самым повышая частоту ударов машины. Схема с пневматическим подпором (схема «б»), в условиях подобия конструктивных параметров с машиной по схеме «а», имеет усилие со стороны рабочей камеры практически постоянной величины, что вызывает дополнительное сопротивление при холостом ходе ударника. К тому же максимальное

усилие на ударник со стороны камеры рабочего хода имеет меньшее значение, чем в схеме с механической пружиной, что снижает предударную скорость устройства.

Таким образом, метод имитационного моделирования в программе ITI SimulationX позволил провести исследование и обоснование возможности применения в пневматической ударной машине накопителя энергии в виде механической пружины, повышающего ударную мощность устройства на 33,3%, по сравнению устройством аналогичных размеров, но с пневматическим подпором в рабочей камере. Дальнейшее исследование и более детальная проработка приведенных схем пневмоударных устройств позволит создать новый ряд ударных машин с автоматизированным процессом их регулировки в соответствии с внешними условиями работы.

Список литературы

1. Данилов Б.Б., Смоляницкий Б.Н. Анализ тенденции развития современной технологии сооружения скважин в породном массиве // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* – 2017. – Т.2. – №1. – С. 104-113.
2. Гурков К.С., Муталов Ф.М., Смоляницкий Б.Н. Дальнейшее развитие применения пневмопробойников в строительстве // *Механизация строительства.* – 1993. – № 1
3. Червов В.В. Расширение области применения пневмомолотов с переменной структурой ударной мощности // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019. Международный науч. конгр. Сборник материалов в 2-х т.* – Новосибирск: СГТА, 2019. Т.2. № 5 – С. 103-110.
4. Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Надеин А.А., Серохвостов С.А. Пневмопробойники для проходки лидерных скважин в грунтах // *Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин).* 1998. Т. 1. № 1. С. 78-89.
5. Гурков К.С., Климашко В.В., Костылев А.Д. и др. Пневмопробойники. – Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН, 1990.
6. Петреев А.М., Смоляницкий Б.Н. Согласование параметров пневмомолота с производительностью источника питания // *ФТПРПИ.* – 1999 – № 2.
7. Смоляницкий Б.Н., Червов В.В. Повышение эффективности использования энергоносителя в пневмомолотах для подземного строительства // *ФТПРПИ.* № 5. 2014. – С. 143–156.
8. Официальный сайт SimulationX [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.simulationx.com/>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 24.05.2021).

ПЛАНЕТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО- СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

Хайрутдинов А.

*ФГАОУВО «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»*

С каждым годом количество природных ресурсов, добываемых и потребляемых человечеством, неуклонно растет [1]. Некоторые ресурсы могут исчерпать свой полный запас в течение ближайших пятидесяти лет. К ним относятся никель, золото, серебро, нефть и другие [2]. В связи с этим человечеству не получился удержать темп развития в таких сферах, как автомобилестроение, авиационная и космическая отрасль, металлургия, электроника, медицина и многие другие, которые тесно связаны с вышеуказанными ресурсами.

Таким образом, в будущем, мировому сообществу необходимо будет компенсировать нехватку добываемых ресурсов. Среди перспективных направлений экспансии горной промышленности можно выделить мировой океан (на сегодняшний день более трети мировой добычи нефти добывается в зоне континентального шельфа, однако дно Мирового океана богато железомарганцевыми конкрециями и по оценке их запасы составляют 2-3 трлн т.) [3] и космос.

Данная статья посвящена перспективам добычи природных ресурсов на других планетах, их спутниках, также, астероидах.

Виды ресурсов. Космические ресурсы, которые в будущем могут быть интересны с точки зрения их добычи можно разделить на 3 вида: металлы, вода, газы.

Металлы можно подразделить на те, которые близки к истощению на Земле и, соответственно, нехватку которых необходимо будет компенсировать, добывая и транспортируя их из космоса (молибден, золото, серебро), а также на те, которые будут использоваться на самих космических телах для расширения веземных поселений, функционирования космопорта или других целей.

Вода всегда являлась ценнейшим ресурсом и на Земле, и в космосе. На сегодняшний день для функционирования МКС, количество членов экипажа которой, в среднем, составляет 6 человек требуется 9000 литров в год. Большая часть воды (93%) возобновляема (путем конденсации влаги из воздуха, очистки использованной воды, а также очистки урины), но ежегодно требуется поставлять примерно 630 литров [4]. В случае с лунным поселением возрастет не только стоимость доставки

груза, но и количество членов экипажа, поэтому необходимо задуматься об альтернативных способах получения источника влаги. Помимо этого, путем расщепления воды можно получить водород, который будет использоваться в качестве ракетного топлива, и также кислород, необходимый для жизнеобеспечения поселения.

Говоря о добыче газов, самым ценным лунным ресурсом является гелий-3. В перспективе этот изотоп может использоваться как термоядерное топливо. Он в 15 млн раз эффективнее нефти, а также экологичен. По различным оценкам в реголите (поверхностном слое луны) содержится от 500 тыс. до 10 млн тонн гелия-3 [5]. Однако, стоит заметить, что 100 тонн реголита содержит лишь 1 грамм изотопа, а значит, что для добычи гелия-3 в промышленных масштабах потребуются огромные объемы переработки реголита [6]. Однако, при рассчитанной стоимости тонны гелия-3 в 3 млрд долларов, весь запас изотопа гелия, который находится в поверхностном слое луны составляет от 1,5 до 30 квадранов долларов [7].

Способы добычи космических ресурсов. Говоря о технике и технологии освоения месторождений полезных ископаемых небесных тел нужно заметить, что способ добычи космических ресурсов будет зависеть от вида небесного тела, а также вида добываемого ресурса.

Переходя к планетарной добыче, нужно вспомнить, что главной целью всех исследований по добыче ресурсов в космосе является гелий-3. Исследования в этой сфере ведутся еще с прошлого века. Так, в ходе семинара, организованного Управлением исследований НАСА и Департамента энергетики Управления термоядерной энергии в 1988, был представлен проект LunarMinerMark-II (рис. 1.1, 1.2). Так, предполагается использование роторного экскаватора для выемки широкой и глубокой (до 3 метров) траншеи. После добычи предполагается обработать лунный грунт в целях его сепарации от гелия-3 и, далее, удаления остатков реголита по трем сторонам (боковым и задней, как показано на рис. 1.1) для равномерного заполнения траншеи в целях минимизации воздействия на лунный ландшафт. Также возможна сепарация не только изотопа гелия, но и других ценных компонентов, входящих в состав реголита, необходимых для функционирования лунных поселений [8].

Также, как было сказано ранее, для функционирования лунного поселения необходимо разработать способ получения воды. В этих целях компания Masten Space Systems разрабатывает луноход, который будет добывать лед. Для добычи машина будет устанавливать герметичный купол.

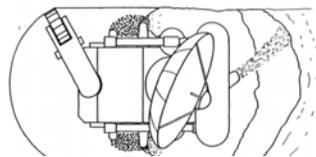


Рис. 1.1. Вид сверху



Рис. 1.2. Вид сбоку

Далее реактивный двигатель, установленный внутри этого купола, будет работать импульсами по полсекунды, подвергая реголит прямому конвективному нагреву (рис 2). Данный метод позволит добывать лед на глубине до двух метров. Добытая руда засасывается в пневматическую систему и, далее, проходит две стадии очистки. Сначала через магнитный сепаратор, а далее в камеру циклонного пылеуловителя. Оставшийся материал проходит через вторую стадию очистки: электростатический сепаратор и, далее, еще через две камеры циклонного пылеуловителя. В первой удаляется оставшаяся пыль, а вторая конденсирует воду, которая перешла в газообразное состояние [9].



Рис. 2.

Говоря об астероидной добыче, нужно уточнить, что астероиды бывают двух видов. Каменно-металлические астероиды малого размера проще всего добывать путем изменения его орбиты и доставки на орбиту Луны с целью последующей разработки методом, аналогичным тому, который сейчас используется в карьерах [10], в то время как на более крупных целесообразно будет создать перерабатывать руду прямо на месте добычи в целях снижения затрат по логистике. Также нельзя не упомянуть возможность раскола крупного астероида на 2 или более малых. Те ресурсы, которые зернами покрывают поверхность астероидов можно собирать магнитами, поскольку это существенно снизит затраты на пере-

мещение этих ресурсов [11]. Так, в 2013 году было проведено исследование, которое определило 12 околоземных объектов, наиболее подходящих для разработки с экономической и технической точек зрения [12].

Водные астероиды и кометы, в свою очередь, можно использовать для добычи воды методом нагрева [13]. Однако, использования этого метода для снабжения поселений, находящихся на других планетах и их спутниках не целесообразно, поскольку проще добывать воду с их поверхностей, но данный метод может использоваться в дальнейшем, когда человечество захочет организовать пилотируемые миссии дальше пояса астероидов. Таким образом, астероидная добыча чаще всего сопряжена с доставкой небесного тела к месту, где его космические ресурсы будут востребованы.

Таким образом, перед горной промышленностью стоит вызов в виде разведки и добычи природных ископаемых на небесных телах. Такая деятельность будет преследовать 2 главные цели: в краткосрочной перспективе жизнеобеспечение космических поселений и в долгосрочных коммерческая добыча космических ресурсов в целях их использования на Земле.

Список литературы

1. Хайрутдинов М.М., Конгар-Стурюн Ч.Б., Тюляева Ю.С., Хайрутдинов А.М. Планетная технология. Предпосылки формирования новой научной дисциплины. Горная промышленность. 2020;(3):113–120. DOI: 10.30686/1609-91922020-3-113-120.
2. Лисицына М. Глава Роснедр рассказал, на сколько лет России хватит нефти [Электронный ресурс]: РБК. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/economics/03/04/2021/606844249a7947b94b77a880>.
3. Ресурсы мирового океана [Электронный ресурс]: Полезная и актуальная информация. – Режим доступа: <https://pavlyxa.ru/poleznaya-informaciya/resursy-mirovogo-okcana-biologicheskije-mineralnye-energeticheskie-prigodnye.html#:~:text=Минеральные%20и%20природные%20ресурсы.%20В,нефти%20и%20газа%20на%20суше>.
4. Регенерация воды на МКС [Электронный ресурс]: Еда Космонавтов. – Режим доступа: <http://еда-космонавтов.pf/blog/post/regeneracia-vody-na-mks>.
5. Slyuta, E. N. The Estimation of Helium-3 Probable Reserves in Lunar Regolith / E. N. Slyuta, A. M. Abdrakhimov, E. M. Galimov// Lunar and Planetary Science Conference XXXVIII. – 2007.
6. Соловьев В. Гелий-3 [Электронный ресурс]: Spacegrid. – Режим доступа: <https://spacegrid.com/helium-3.html>.
7. Bozzato F. Moon Power: China's Lunar Helium 3 Vision [Электронный ресурс]: World Security Network. – Режим доступа: <http://www.worldsecuritynetwork.com/China/fabrizio-bozzato-1/Moon-Power-Chinas-Lunar-Helium-3-Vision>

8. Lunar Helium-3 and Fusion Power [Электронный ресурс]: NASA. – Режим доступа: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19890005471>

9. “Masten’s Rocket Mining System: How it Works” [видеозапись] // YouTube. Режим доступа: <https://youtu.be/1GV755adv08>

10. Wilson L. The internal structures and densities of asteroids / L. Wilson, K. Keil, S. J. Love // *Meteoritics & Planetary Science*, 1999, Vol. 34, No 3. – 1999. – С. 479-483. DOI 10.1111/j.1945-5100.1999.tb01355.x

11. Harris. S. Your questions answered: asteroid mining [Электронный ресурс]: The Engineer. – Режим доступа: <https://perma.cc/8EXW-PX6T>

12. García Yáñez D. Easily retrievable objects among the NEO / D. García Yáñez, J. P. Sanchez, C. R. // *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 2013, Vol. 116, No 4. – 2013. – С. 367-388. DOI 10.1007/s10569-013-9495-6.

13. Simulating the Surface Morphology of a Carbonaceous Chondrite Asteroid / S.D. Covey, J.S. Lewis, P.T. Metzger, D.T. Britt, S E. // *Lunar and Planetary Science XXXVIII*. – 2007.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДОВ ЖИДКОСТИ КОНСТРУКЦИЯМИ ПЕРЕМЕННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ С СУЖАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

Некоз К.С.

Российский Государственный Геологоразведочный Университет имени Серго Орджоникидзе, МГРИ

В гидравлических расчетах трубопроводов помимо потери давления на трение необходимо учитывать местные потери давления, вызываемые внезапным или плавным изменением живого сечения потока, движением с изменением скоростей, соединения и разделения потока, а также обусловленные запорной аппаратурой, различными устройствами и другими факторами.

Для осуществления оперативного контроля режимов работы видов транспортных комплексов целесообразно использовать контрольно-измерительную аппаратуру, принцип действия которой основан на измерении переменного перепада давления, создаваемого на трубопроводе стандартными устройствами. К расходомерам переменного перепада давления (Δh) относятся измерительные устройства, принципиально основанные на функциональной зависимости Δh от расхода Q транспортируемого вещества (материала), создаваемого специальными неподвижными элементами, устанавливаемыми в трубопроводе. Такие устройства целесообразно применять вследствие простоты их конструкции, надежности эксплуатации, возможности изготовления в уникальных условиях с достаточной точностью измерений, не превышающей допустимых погрешностей.

198

Из нескольких самостоятельных групп расходомеров переменного перепада давления наибольшее применение ($\approx 60-70\%$) на практике получили расходомеры с сужающими устройствами. Их достоинствами являются универсальность применения, удобство массового производства, простота конструкции, отсутствие необходимости в образцовых расходомерных установках. К их недостаткам можно отнести квадратичную зависимость между Q и Δh , следствием чего является неравномерность шкалы, а также не совсем большой диапазон измерений, дополнительные сопротивления движению потока: при работе на гидро-смеси сравнительно быстрое истирание калибровочных кромок сужающих устройств твердыми частицами.

К стандартным сужающим устройствам, которые создают местные сопротивления потока жидкости, протекающей через них, относятся диафрагмы, сопла, сопла Вентури, трубы Вентури (рис. 1), принцип работы которых основан на том, что в трубопроводе, по которому протекает жидкость, устанавливается сужающее устройство (конфузор), создающее местное сопротивление потока. В результате перехода части потенциальной энергии давления в кинетическую средняя скорость потока в суженном сечении увеличивается, вследствие чего статическое давление в данном сечении становится ниже аналогичного перед сужающим устройством. Разность этих давлений тем выше, чем больше расход транспортирующей жидкости, поэтому может служить мерой расхода [1, 2, 4].

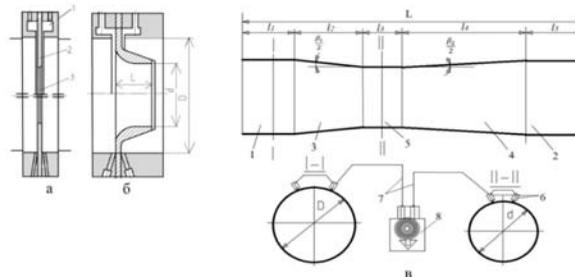


Рисунок 1. Стандартные сужающие устройства для измерения расхода жидкости. а) диафрагма с камерным отбором давления (1 – камера, 2 – диск, 3 – отверстие); б) сопло Вентури; в) труба Вентури (1,2 – входной и выходной участки, 3 – конфузор, 4 – диффузор, 5 – горловина; β_1 – угол сходимости конфузора, β_2 – угол сходимости диффузора)

199

Несмотря на простоту конструкции, применение диафрагм ограничивается тем, что они вызывают значительные потери напора за счет резкого сужения. Кроме того, слабым местом диафрагмы является входная кромка, которая под действием текущего потока притупляется, что приводит к постепенному увеличению ее коэффициента расхода и увеличению погрешности отрицательного знака. Создание сужающих устройств в виде сопла и трубы Вентури вызвано необходимостью иметь достаточную точность измерения и малые потери напора.

Опыт показывает, что из всех сужающих устройств (диафрагм, сопел и т. д.) наиболее совершенными в гидравлическом отношении являются трубы Вентури. Они наиболее применимы для трубопроводного транспорта. Труба Вентури представляет собой сужающее устройство, состоящее из входного участка, внутренний диаметр которого равен диаметру трубопровода, конфузора – усеченного конуса с центральным углом сходимости $\alpha_{\text{с}}$, суженной цилиндрической части (горловины), внутренний диаметр которой меньше диаметра входной части, диффузора – усеченного конуса, соединенного с выходным участком, диаметр которого равен диаметру трубопровода. Трубы Вентури, в зависимости от материала, условного диаметра и условного давления, выпускаются трех типов: А на трубопровод с внутренним диаметром 200-1400 мм, Б 100-800 мм, и В соответственно на трубопровод с внутренним диаметром 50-250 мм. Трубы Вентури типа А имеют сварную конструкцию из стальных листов, типа Б литую конструкцию с обработкой только цилиндрической горловины. Трубы Вентури типа В идентичны трубе Вентури типа Б, однако в них обработаны все внутренние поверхности, кроме диффузора. Трубы Вентури могут быть длинными (наибольший диаметр выходного конуса равен диаметру трубопровода) и короткими (диаметр выходного конуса меньше диаметра трубопровода). Статическое давление в трубах Вентури отбирают через кольцевые камеры, соединённые с внутренней полостью отверстий полностью через отверстие диаметром 4-12 мм.

Практика применения расходомеров на базе трубы Вентури свидетельствует о достаточной их точности ($\approx 2,5\%$) и надежности при работе в установках гидротранспорта. Труба Вентури, по мнению специалистов, не требует тарировки при условии изготовления ее согласно Правилам РД 50-213-80на изготовление сужающих устройств. Для точности измерения расхода большое значение имеет постоянно проходного сечения трубы Вентури. Поэтому при использовании расходомера рекомендуется выполнять трубу Вентури разъемной — с вкладышами из специальной стали (для замены по мере износа) [3, 4].

Список литературы

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счётчики количества веществ: Справочник / П.П. Кремлевский; Под общ. ред. Е.А. Шорникова. – 5. изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004 – 22 см.
2. Панарин В.В. Автоматизированные системы управления в трубопроводном транспорте нефти: [Учеб. при проф. обучении рабочих на пр-ве]. / В. В. Панарин, Л. А. Зайцев. – М.: Недра, 1986. – 254, [1] с. : ил.; 22 см.
3. Приборы для измерения параметров гидротранспортирования твердых материалов [Текст] / Акад. наук УССР. Ин-т гидрологии и гидротехники; Н.А. Силин, И.А. Пищенко, К.В. Диминский и др. – Киев: Изд-во Акад. наук УССР, 1963. – 198 с. : черт.; 23 см.
4. РД 50-213-80 Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами. Изд. офиц. / Гос. ком. стандартов, мер и измерит. приборов СССР. – Москва: Изд-во стандартов, 1982. – 320 с.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ КАВИТАЦИИ В ДИСПЕРГАТОРАХ НОВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ

Пашко П.Б.

ООО «ПИК МАЙНИНГ»

Начиная с 70 х годов в механизированных крепях взамен минерального масла стала применяться эмульсия – «масло – в воде» 2–5 % эмульсола и 95-98 % воды. Использовалось специальное оборудование для производства эмульсии, – смешивания эмульсола и воды. Позже для этих целей начали использоваться диспергаторы, использующие кавитацию и ультразвук, позволяющие получать высокодисперстную эмульсию и за счет этого значительно увеличить ресурс элементов механизированной крепи очистных комплексов [1, 2].

С появлением эмульсолов третьего поколения, растворяющихся в воде при приготовлении эмульсии, использование диспергаторов фактически прекратилось, хотя следует отметить, что Людиновским агрегатным заводом и в настоящее время предлагается станция подготовки эмульсии СПЭ [3], а большинство эмульсолов продолжают выпускать для использования в металлообработке.

В настоящее время цена применяемого импортного растворимого эмульсола примерно в 5 раз выше, чем отечественных, применявшихся ранее для диспергирования.

Предлагаемый диспергатор нового технического уровня, на наш взгляд, целесообразно использовать как резервный вариант приготовления эмульсии при возможном введении санкций или перебоях с доставкой в связи с эпидемиологической ситуацией, или при использовании

изношенного оборудования, допускающего утечки эмульсии, как, например, в ДНР и ЛНР где добывается примерно 18 млн. т. угля в год.

Использование диспергатора с изменяемым содержанием свободного воздуха в жидкой проточной среде позволяет получить оптимальный режим кавитации и соответственно высокодисперсную эмульсию [4, 5].

На рис. 1а изображен продольный осевой разрез роторного аппарата типа ГМД. На рис. 1б – статор с дополнительными каналами для подачи или отсоса газа из патрубка статора в его боковой стенке. На рис. 1в изображен модулятор, образованный патрубками подвижного ротора и неподвижного статора, положение дополнительных патрубков относительно его основных патрубков для подачи или отсоса воздуха из обрабатываемой среды с учетом направления движения стенки ротора относительно патрубка статора.

Роторный аппарат типа ГМД содержит: корпус 1, входной и выходной патрубки аппарата 2 и 3 с регулировочными вентилями 4 и 5, ротор 6 с отверстиями в боковой стенке, который установлен на валу 8, коаксиального ротору 6 установлен статор 9 с отверстиями 10 в боковой стенке и дополнительными каналами 11, коллектор 12 с вентилем 13, дополнительный входной патрубок 14 с диффузором 15 и вентилем 16.

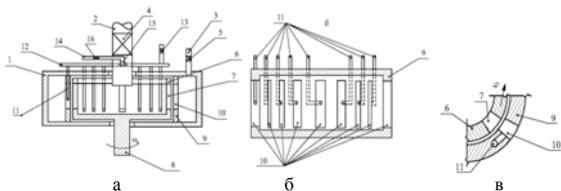


Рис. 1. Роторный аппарат типа ГМД с управляемой кавитацией

Аппарат работает следующим образом. Через входной патрубок 2 ГМД обрабатываемая жидкая среда – предварительно подготовленная смесь компонентов рабочей жидкости поступает в полость ротора 6, откуда под действием внешнего источника давления, например, насоса, давления центробежных сил вращающейся жидкости в полости ротора 6, вращающемся на валу 8 обрабатываемая жидкость движется через периодически перекрывающиеся патрубки 7 ротора 6 и патрубка 10 статора 9, образующие модулятор аппарата – нелинейное гидравлическое сопротивление, потоку обрабатываемой жидкой проточной обрабатываемой среды – компонентов рабочей жидкости для гидромеханизированных крепей.

Выполнение дополнительного входного патрубка с диффузорами во входной патрубок позволяет изменить концентрацию воздуха в обрабатываемой среде до оптимального, когда кавитационное воздействие на процесс, проводимый в роторном аппарате, протекает с максимальной скоростью, и при этом реализуется одновременное воздействие гидродинамической и акустической кавитации.

Выводы.

1. Диспергаторы могут использоваться как резервный вариант приготовления эмульсии и при эксплуатации изношенного оборудования.

2. Управление процессом кавитации при приготовлении эмульсии позволяет повысить ее дисперсность.

Список литературы

1. Балабышко А.М., Юдаев В.Ф. Роторные аппараты с модуляцией потока и их применение в промышленности. – М.: Недра. 1992. – 176 с.
2. Балабышко А.М., Зимин А.И., Ружицкий В.П. Гидромеханическое диспергирование. – М.: Наука. 1998. – 332 с.
3. <https://www.agregat-pro.ru/production-page/mining-catalog/station-emulsion/units/Station-emulsion-preparation>
4. Червяков В.М., Юдаев В.Ф. Гидродинамические и кавитационные явления в роторных аппаратах: Монография. – М.: «Издательство Машиностроение – 1», 2007.
5. Пашко П.Б. Влияние газосодержания на интенсивность кавитации и дисперсность рабочей жидкости гидромеханизированных угледобывающих комплексов / П.Б. Пашко, В.Ф. Юдаев, А.М. Балабышко // Естественные и технические науки. – 2020. – № 1. – С.151-156.

БЕСЦЕМЕНТНЫЕ ЗАКЛАДочНЫЕ СМЕСИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

Конгар-Сюрюн Ч.Б.

*Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС»*

С каждым годом происходит увеличение объемов потребления георесурсов, что ведёт к интенсификации их извлечения из недр. Это вызывает рост накопления техногенных отходов, складываемых на поверхности, что оказывает существенное влияние на окружающую среду. Срок существования техногенных массивов неограничен, следовательно, экологический ущерб впоследствии может значительно превысить экономическую выгоду от добываемых ресурсов. При этом необходимо принять во внимание, что в техногенных отходах в значительных объё-

мах остаются полезные компоненты, и сами отходы могут быть сырьём для вторичного использования. В связи с этим необходимо внедрение концепции безотходного (малоотходного) производства [1].

Создание замкнутого циклического производства, использующего вторичные продукты, является парадигмой освоения недр. Это позволит значительно снизить воздействие на экологию. Техногенные отходы воспринимаются как «побочный продукт» горного производства. Их необходимо квалифицировать, как вторичный (промежуточный) продукт, используемый для последующего применения или переработки [2]. Следовательно, замена традиционного, специально добываемого инертного заполнителя при создании закладочной смеси на техногенные отходы является весьма актуальной задачей.

С учётом того, что основную стоимость в закладочной смеси составляет цемент, то поиски его замены всегда остаются актуальными. Ранее проведённые эксперименты показали возможность применения металлургических шлаков после активационной обработки в качестве вяжущего. Исследовательские работы, проводимые ранее в области при создании смесей, использующих в качестве инертного заполнителя отходы водорастворимых руд, продемонстрировали преимущество вяжущих, имеющих в своём составе магний [3].

Поэтому, целью настоящей исследовательской работы является разработка бесцементной закладочной смеси на основе отходов водорастворимых руд с заданными реологическими свойствами и предназначенной для формирования искусственного массива с заданными прочностными характеристиками.

При разработке состава смеси в качестве инертного заполнителя применялись отходы водорастворимых руд ПАО «Уралкалий», а в качестве вяжущего использовались шлаки Чусовского металлургического комбината.

Отходы обогащения водорастворимых руд и магnezиальные шлаки в закладочной смеси смешивались в пропорции 51% и 25% от общего объёма композита соответственно. Перед смешением производилась раздельная активационная обработка компонентов закладочной смеси в дезинтеграторе DESI-11. В активационной установке производилось измельчение магнийсодержащих шлаков до содержания класса менее 0.071 мм не менее 68–72%, а отходов водорастворимых руд – не менее 88–92%.

Затвердевание образцов происходило в условиях, предусмотренных методикой (T=20±2°C; W=95±5%), и их испытание на сжатие производили через заданные сроки, предусмотренные методикой: 7; 28; 60 и 90 суток [4]. Образцы на одноосное сжатие испытывались на прессе ПИ-2000-А. Результаты экспериментов занесены в таблицу.

№ п/п	Компоненты закладочной смеси						Растекание, мм	Осадка конуса, см	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа			
	Магнезиальный шлак		Отходы обогащения водорастворимых руд		Лигносulfанат % от твердого	Вода, масс. %			Продолжительность твердения, сутки			
	масс. %	Содержание фракции менее 0,071 мм	масс. %	Содержание фракции менее 0,071 мм, %								
					7	28			60	90		
1	25,0	68-72	51,0	88-92	-	24,0	105	10	0,2	1,5	1,9	2,2
2	25,0	88-92	51,0	88-92	-	24,0	95	10	0,15	1,6	2,2	2,5
3	25,0	88-92	51,0	68-72	-	24,0	120	14	0,1	1,2	1,7	1,8
4	25,0	88-92	51,0	88-92	1	23,25	165	16	0,25	2,0	2,75	3,1

Из сравнительного анализа следует, что первый состав закладочной смеси продемонстрировал низкие прочностные характеристики при испытании на одноосное сжатие после затвердевания и малую её подвижность (состав № 1).

Для увеличения гидравлической активности вяжущее, в нашем случае магnezиальный шлак, подвергали механической обработке в дезинтеграторе до крупности 88 – 92% класса менее 0.071 мм. Крупность инертного заполнителя оставили без изменения. Испытание образцов после затвердевания продемонстрировали значительное улучшение прочностных показателей. Но при этом реологические характеристики были неудовлетворительными, что свидетельствует о плохой транспортабельности такой смеси (состав № 2).

Для увеличения растекаемости закладочной смеси и в целом её реологических свойств уменьшили долю фракции менее 0.071 мм инертного заполнителя. Испытание образцов после затвердевания на одноосное сжатие показали резкое падение прочностных характеристик (состав № 3).

Из анализа ранее проведённых исследований пришли к выводу, что применение активирующих добавок позволяет создать материал с более прочными структурно-кристаллическими связями, что значительно увеличивает прочностные характеристики искусственного массива [5]. К тому же химические добавки оказывают положительные изменения на реологические характеристики создаваемой смеси. К таким добавкам можно отнести лигносульфанат – отходы целлюлозно-бумажной промышленности, полученные путём переработки отработанных сульфитных и бисульфитных шлаков [6]. Введение лигносульфаната в состав

закладочной смеси позволило получить образцы с повышенными прочностными характеристиками. При этом реологические характеристики данной смеси полностью удовлетворяют требованиям её транспортабельности по трубопроводам (№ 4 в таблице 3).

При создании искусственного массива в горнодобывающей отрасли необходимо строго учитывать длительное влияние составляющих смеси и избирательно подходить к их выбору. Процессы, возникающие в массиве после их полного затвердевания, трудно поддаются прогнозу и моделированию. Методы и способы контроля искусственного массива после их затвердеваний достаточно полно исследованы в работах [7, 8].

Замена традиционного цементного вяжущего на магнезио-содержащие шлаки в закладочной смеси позволяет разработать состав, удовлетворяющий прочностным характеристикам искусственного массива. Применение техногенных отходов в закладочной смеси возможно после их механической активационной обработки в дезинтеграторах, что повышает прочностные характеристики конструкций и искусственного массива.

Максимальный эколого-экономический эффект применения техногенных отходов в закладочных смесях возможно достичь, только после их глубокой переработки и доизвлечения полезных компонентов и нейтрализации отрицательного действия оставшихся. При этом вовлечение в глубокую переработку отходов горного и перерабатывающего производств создаёт предпосылки создания новой материально-сырьевой базы горнопромышленного комплекса и исключает расходы на разведку и освоение новых месторождений.

Список литературы

1. Конгар-Сюрюн Ч., Фараджов В., Тюляева Ю., Хайрутдинов А. 2021 Исследование влияния активационной обработки на галитовые отходы обогащения при приготовлении закладочной смеси *Горный информационно-аналитический бюллетень* 1 43-57.
2. Хайрутдинов М., Конгар-Сюрюн Ч., Тюляева Ю., Хайрутдинов А. 2020 Бесцементные закладочные смеси на основе водорастворимых техногенных отходов Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов 331(11) 30–36.
3. Голик В., Конгар-Сюрюн Ч., Тюляева Ю., Хайрутдинов А. 2020 Использование вяжущих на основе металлургических шлаков в составе закладочных смесей *Известия Тульского Государственного Университета. Науки о Земле* 4 389-400.
4. Методические рекомендации по контролю качества закладочных смесей / под ред. Н.Н. Мельников. –М.: Горный институт Кольского научного центра РАН, 1990. –94 с.

5. Khayrutdinov A., Kongar-Syuryun Ch., Kowalik T., Faradzhov V. 2020 Improvement of the backfilling characteristics by activation of halite enrichment waste for non-waste geotechnology *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 867 012018.

6. Вотяков М. 2008 Формирование высокопрочного закладочного массива при использовании в качестве активатора лигносульфоната *Горный информационно-аналитический бюллетень* 10 199–203.

7. Gorska K., Muszyński Z., Rybak J. 2013 Displacement monitoring and sensitivity analysis in the observational method *Studia Geotechnica et Mechanica* 35(3) 25–43.

8. Bauer J., Puła W., Wyjadłowski M. 2015 Effect of partial mining of shaft protection pillar in terms of reliability index *Georisk* 9(4) 242–249.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЗАКЛАДОЧНЫХ МАССИВОВ НА ЦЕМЕНТНОЙ И ГЕОПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ В СВЕТЕ ПЕРСПЕКТИВ ФОРМИРОВАНИЯ КАМЕР ДЛЯ ШАХТНОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Радченко Д.Н., Гаджиева Л.А., Гавриленко В.В.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Практика ведения горных работ системами разработки с закладкой выработанного пространства в значительной мере определила требования, предъявляемые к технологии ведения закладочных работ и свойствам формируемых в недрах искусственных массивов. Вместе с тем, в свете развития комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии закладка выработанного пространства обретает иное значение [1]. Установлено, что одним из условий эффективной реализации технологии блочного подземного выщелачивания некондиционных руд в комбинации с традиционной технологией подземной добычи является изоляция формируемых камер посредством создания искусственных массивов [2], эксплуатационные характеристики которых должны быть обоснованы как с учетом требований к искусственным целям при традиционных системах разработки с закладкой выработанного пространства, так и с позиции эффективного протекания процессов выщелачивания. В этой связи актуальной научно-практической задачей является развитие теоретических основ формирования массивов, минимизирующих риск миграции агрессивных растворов в

прикамерное пространство, при реализации комбинированной технологии подземной добычи руд и выщелачивания.

Выполненные исследования показывают, что закладочные смеси на цементной основе недостаточно эффективно сдерживают распространение агрессивных растворов за пределы камер выщелачивания, поскольку обладают низкой гидроизоляционной способностью, устойчивостью к биологической и химической видам коррозии, а также подвержены растрескиванию в условиях высоких температур. Анализ перспективных идей в области строительных материалов и конструкций показал, что указанным требованиям в большей степени отвечают материалы на основе геополимерных вяжущих [3]. Синтезируемые на основе местного минерального алюмосиликатного сырья геополимеры формируют устойчивые трехмерные структуры с высокими эксплуатационными характеристиками [4]. Несомненным преимуществом данного вида композиционных материалов является возможность использования отходов добычи и переработки горнопромышленного производства в качестве прекурсоров для формирования геополимерных массивов, что являлось объектом исследования значительного количества отечественных и зарубежных авторов [3-5].

В рамках настоящих исследований проведен анализ вмещающих пород многокомпонентных руд Южного Урала (медно-колчеданных и золоторудных), а также отходов их добычи и переработки с позиций перспектив использования их в качестве компонентов закладочных смесей на геополимерной основе. Высокие содержания в составе горных пород оксидов кремния и алюминия, а также анализ степени растворимости в кислой и/или щелочной среде основных порообразующих минералов позволили выделить пригодное сырье для использования в качестве исходных материалов для формирования геополимерных искусственных массивов в целях реализации технологии подземного камерного выщелачивания. С учетом проведенного анализа разработаны составы композиционных материалов с использованием исследуемого минерального сырья, а также методика оценки пригодности получаемых массивов для формирования камер подземного выщелачивания некондиционных руд. Актуальность разработанной методики обусловлена, в первую очередь, весьма ограниченными знаниями о механизме взаимодействия твердеющих закладочных массивов с химически агрессивными водными или газовыми средами, что приобретает решающее значение при формировании камер подземного выщелачивания. Так, в дополнение к принятым испытаниям прочностных и деформационных характеристик материалов, разработанная методика предусматривает

исследование микроструктуры получаемых геоматериалов, коррозионной стойкости в различных агрессивных средах в широком диапазоне концентраций, устойчивости к воздействию высоких температур, водонепроницаемости и биостойкости испытуемых образцов.

Разработанная методика позволит с высокой долей вероятности прогнозировать эффективность применения закладочных смесей и массивов на их основе для формирования изолированных камер при комбинации технологии подземной добычи руд и блочного выщелачивания.

Список литературы

1. Радченко Д.Н. Комбинированная геотехнология с подземной добычей руд и камерным выщелачиванием: пространственно-временные взаимосвязи параметров технологических процессов // *Материалы XI Международной конференции «Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу»* – Магнитогорск: МГТУ, 2021. С.41-43
2. Радченко Д.Н., Гаджиева Л.А. Состав и свойства закладочных смесей при формировании горнотехнических конструкций для подземного выщелачивания // *материалы XI Международной научной школы академика К.Н.Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр»* – М.:ИПКОН РАН. – 2020. С. 310-313.
3. Гаджиева Л.А. Повышение надежности эксплуатации горнотехнических конструкций при комбинировании подземной добычи руд и выщелачивания // *Материалы XI Международной конференции «Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу»* – Магнитогорск: МГТУ, 2021. С.72-74
4. Davidovits J. *Geopolymer Chemistry and Applications*, 4th edition, InstitutGopolymure. – Saint-Quentin, France (2015)
5. Xu, H. and van Deventer, J. S. J., 2002, «Geopolymerisation of multiple minerals» *Minerals Engineering*, 15, pp. 1131–1139.
6. Manjarrez, L., Nikvar-Hassani, A., Shadnia, R., Zhang, L., 2019. Experimental study of geopolymer binder synthesized with copper mine tailings and low-calcium copper slag. *J. Mater. Civ. Eng.* 31, 4019156.
7. Moukannaa, S., Nazari, A., Bagheri, A., Loutou, M., Sanjayan, J.G., Hakkou, R., 2019.
8. Alkaline fused phosphate mine tailings for geopolymer mortar synthesis: thermal stability, mechanical and microstructural properties. *J. Non-Cryst.Solids* 511, 76e85.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕЖАЛЫХ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНОГО СЫРЬЯ НА ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Радченко Д.Н., Залевская К.Н.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Золоторудные техногенные образования, формируемые в течение многих лет под влиянием интенсивных внутриотвальных гравитационных и физико-химических процессов, таких как миграция свободного золота, сезонные температурные воздействия, дорастворение минералов и их вторичные изменения за счет длительного пребывания в агрессивной среде, отличаются неоднородным строением, составом и физико-механическими характеристиками отходов переработки сульфидных золотосодержащих руд. В связи с неравномерной локализацией в золоторудных хвостохранилищах вредных примесей (мышьяка, ртути, цианидов и продуктов их разложения), а также благородных металлов, наличием в массиве сильно обводненных зон возникает необходимость обоснования дифференцированного подхода к освоению подобных техногенных образований. Для обеспечения возможности выявления [6] и локализации опасных зон, а также выемки обогащенных участков, необходима комбинация различных способов извлечения сырья из отвала – валового и селективного. Такая комбинация базируется на обосновании методов и средств выявления локальных участков, подлежащих селективной выемке, выборе на каждом отдельном участке работ выемочного и горнотранспортного оборудования, отвечающего критериям мобильности и безопасности.

Для выбора параметров технологии освоения старогодних техногенных образований, помимо исследования вещественного и гранулометрического состава отходов переработки руд, необходимо установление закономерностей изменения физико-механических свойств отходов, изучение среды образования хвостохранилища, зависящей от способа формирования отвала с учетом характеристик техногенного массива – обводненности, влияния климатических условий, мощности складированных отходов, компрессионных и фильтрационных свойств и других факторов [1, 3, 4]. Кроме того, в целях обеспечения безопасной и эффективной выемки техногенного сырья из старогодних золоторудных хвостохранилищ и его транспортировки до временных складов обогатительной фабрики, крайне важно учитывать допустимые нагрузки меха-

низированного горнотранспортного и погрузочного оборудования на поверхность отвала, чтобы исключить вероятность его утраты или повреждения при организации работ по освоению техногенного объекта.

Показано, что к числу наиболее важных особенностей успешного выявления опасных, обводненных или обогащенных зон является превентивная оценка стенок скважин в массиве хвостохранилища [6]. Очевидно, что устойчивость лежалых техногенных образований в стенках пробуренных скважин, а также обоснование безопасной по условиям выполнения работ высоты и угла рабочего уступа, определяется показателями изменчивости влажности, плотности и прочностных свойств складированного в отвале сырья – сцепления и угла внутреннего трения. В данной работе представлена методика и результаты расчета устойчивости ствола скважины, пробуренной на всю мощность хвостохранилища через слои различные по физико-механическим параметрам: влажности, плотности, сцепления, углу внутреннего трения, при разном значении коэффициента Пуассона и модуля упругости.

Изменчивость физико-механических свойств лежалых отходов переработки руд в отвалах предопределяет наличие слоистого строения, сегрегацию частиц хвостов по плотности и крупности, различную величину избыточного порового давления в водонасыщенных техногенных образованиях, представленных суглинками и глинистыми образованиями [2, 5]. Так, для лежалых отходов переработки золоторудной отрасли на Южном Урале характерно неравномерное по глубине хвостохранилища распределение мелкодисперсных разностей, уплотненных и текуче-пластичных с влажностью, местами превышающей 20%. Во всех испытываемых образцах с разных горизонтов отвала, являющихся суглинками пылеватыми (в соответствии с классификацией по ГОСТ 25100-2020), преобладают тонкие фракции меньше 71 мкм, в которых содержание класса $-50+10$ мкм достигает 52%, $-10+2$ мкм (25%), что определяет повышенное сцепление при возрастающей до 29,9% влажности, и обеспечивает устойчивость стенок скважин до одного года.

Возрастающая доля в составе техногенного образования глинистых тонкодисперсных водонасыщенных фракций обусловлена развитием в законсервированном хвостохранилище в течение определенного времени процессов физико-химического уплотнения, что сказывается на прочностных характеристиках отходов переработки руд золота. В связи с этим выполнена оценка влияния влажности хвостов обогащения руд на параметры сопротивления сдвигу при различном содержании тонких классов крупности по схеме консолидировано-дренированного среза. Установлено, что с увеличением естественной влажности техногенного сырья с 9-29,9% параметры угла внутреннего трения снижаются, а сцепление наоборот – увеличивается.

Таким образом, вышеописанные характеристики прочностных и деформационных свойств техногенного золотосодержащего объекта оказывают определяющее влияние на устойчивость откосов уступов и несущую способность грунтов при разработке техногенного объекта и, в силу этого, являются основными при выборе схемы и оборудования при организации оценочных, выемочно-погрузочных и горнотранспортных работ.

Список литературы

1. Гальперин А.М., Кутепов Ю.И., Кириченко Ю.В. и др. Освоение техногенных месторождений на горных предприятиях: монография. – М.: Изд-во «Горная книга», 2012. – 336 с.
2. Терентьева И.В. Обоснование параметров комплексного освоения запасов законсервированного Жезказганского хвостохранилища: дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / МГТУ им. Г.И. Носова, 2016.
3. Васильева А.Д. Инженерно-геологическое обоснование устойчивости высоких отвалов угольных месторождений Кузбасса: дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.16 / СПбГУ, 2019.
4. Гурьев Д.В. Прогноз устойчивости насыпных дамб с учетом пространственной изменчивости прочностных свойств техногенных суглинистых грунтов : автореферат дис. ... канд.техн. наук : 25.00.16 / Кузбас. гос. техн. ун-т, 2017..
5. Архипов А.В. Техногенные месторождения. Разработка и формирование: монография / под науч. ред. акад. Н.Н. Мельникова. – Апатиты: КНЦ РАН, 2017. – 175 с.
6. Патент России № 2 700 139. Способ геологического исследования хвостохранилищ и устройство для его реализации / Рыльников М.В., Радченко Д.Н., Федотенко В.С., Струков К.И., Залевская К.Н., 2019.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ ГИДРОПОТОКОВ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА*

Князькин Е.А.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В.Мельникова РАН*

В настоящее время доля энергетической составляющей в себестоимости готовой продукции горнодобывающих предприятий весьма высока и достигает 37–40%, что пагубно сказывается на их экономике, осо-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90099

бенно с учетом устойчивой тенденции роста цен на энергоресурсы. Постоянно растущие затраты на энергоносители, связанные, в первую очередь, с переходом горных работ на большие глубины, предопределили необходимость изыскания новых, нетрадиционных технологических решений, обеспечивающих сокращение общего электропотребления рудников, снижение экологической нагрузки при производстве и потреблении энергоносителей, в том числе за счет рекуперации части энергии, затрачиваемой на добычу минерального сырья из недр, в ходе реализации геотехнологических процессов. Исследованиями доказано, что одним из путей существенного улучшения экономических показателей при разработке рудных месторождений является повышение энергоэффективности горного производства за счет использования энергии природных и технологических гидротоков, перемещаемых непосредственно в горнотехнической системе.

Но эффективно преобразовывать энергию гидротоков в рамках традиционных технологий не представляется возможным. Вследствие этого, была разработана запатентована инновационная схема водоотлива [1], отличающаяся от классического способа осушения очистной шахтных вод в батареях гидроциклонов, функционирующих без дополнительного энергопотребления [2]. Для подтверждения работоспособности данной схемы в лаборатории ЭКОН ИПКОН РАН создан испытательный стенд, который включает в себя регулятор давления с манометром – 1, жидкостный расходомер – 2, напечатанный на 3D-принтере гидроциклон – 3, центробежный насос – 4, клапан регулировки сопротивления с манометром – 5 (рис.1).

В ходе лабораторного эксперимента установлено, что, помимо очистки рудничных потоков, схема позволяет создать подпорное давление на входе в насос, тем самым поднимая его КПД. Также в ходе эксперимента проводилось сравнение с классической схемой водоотлива. Результаты приведены на рисунке 2.

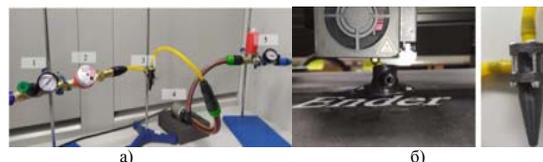


Рис. 1. Испытательный стенд: а) в условиях лаборатории; б) процесс печати модели гидроциклона на 3D принтере

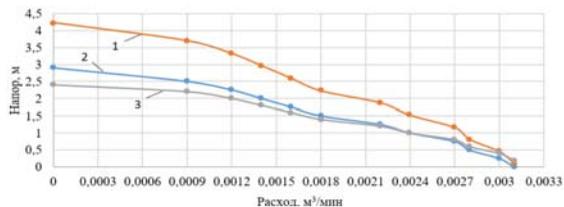


Рис. 2. Характеристика работы центробежного насоса при классической схеме и инновационной схеме водоотлива с учетом влияния на его работу подпорного давления: 1 – схема с очисткой; 2 – классическая схема; 3 – создаваемое подпорное давление

Главным результатом проведенного эксперимента является то, что при неизменной потребляемой мощности электронасоса схема с очисткой вод в гидроциклоне позволяет достичь высоты подъема жидкости на 54-68% выше за счет искусственно создаваемого подпорного давления, что в полном объеме подтверждает результаты проведенного ранее компьютерного моделирования. Повышение эффективности работы схемы наблюдается и при незначительном подпорном давлении ввиду того, что снижаются потери на гидроциклоне.

Также особенностью разработанной схемы водоотлива является отсутствие необходимости «заправлять» рабочей жидкостью центробежные насосы перед пуском для создания гидравлического разряжения. Такой возможность проявляется благодаря тому, что шахтная вода самостоятельно подпорным давлением полностью заполняет рабочую область гидронасоса.

Схема предоставляет возможность отказаться от практики умышленного завышения мощностных характеристик насосных установок из расчета на их повышенный абразивный износ. Отказаться от подобной практики станет возможным благодаря использованию гидроциклон для высококачественной очистки шахтных вод. Такой подход, судя по проведенному литературному обзору, позволит снизить потребление электроэнергии дополнительно еще на 5-7% [3].

Таким образом, согласно результатам эксперимента, анализу гидрогеологических условий ряда рудных месторождений и математическим расчетам, максимальный потенциал к снижению потребления электрической энергии в работе предложенной инновационной схемы водоотлива доходит до 13%, что в годовом выражении составляет сотни мегаватт электрической энергии [4]. При этом укрупненный технико-

экономический анализ технологии показал, что чистый срок окупаемости инвестиций в инновационную схему водоотлива с использованием очистки вод в гидроциклоне составляет не более 3,6 года.

Список литературы

1. Патент № 2742480 Российская Федерация, МПК E02D 19/06 (2006.01), E02D 19/06 (2020.08). Способ водоотлива горного предприятия: № 2020122079: заявл. 03.07.2020: опубл. 08.02.2021. / Рыльникова М.В., Федотенко В.С., Князькин Е.А. – 4 с.: ил. – Текст: непосредственный.
2. Rylnikova M., Knyazkin E. Substantiation of parameters of the energy-efficient water outflow scheme of underground mine using energy of hydro-flows // VIII International Scientific Conference «Problems of Complex Development of Georesources»: E3S Web Conference. Vol. 192, 03004, 2020.
3. Рыльникова М.В., Струков К.И., Олизаренко В.В., Туркин И.С. Перспективы применения и оценка параметров энергоэффективных геотехнологий при комплексном освоении месторождений // Горный журнал. 2017. № 11. С. 71-76.
4. Туркин И.С., Князькин Е.А., Бондаренко А.А. Исследование технологии производства электроэнергии от потоков гидросмесей для повышения энергоэффективности освоения золоторудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. № 3. — «Горная книга». 2020. С. 138-150.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ РУД И ПОРОД МЕДНО-ЦИНКОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В СВЕТЕ ОЦЕНКИ РИСКА ВЗРЫВА СУЛЬФИДНОЙ ПЫЛИ

Митишова Н.А.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

В 2019 г. утвержден План мероприятий по реализации Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 г. на ближайшие пять лет. План включает мероприятия, нацеленные на повышение геологической изученности территории России и ее континентального шельфа, развитие высоколиквидной минерально-сырьевой базы для действующих и формируемых минерально-сырьевых центров [1].

Колчеданные месторождения являются одними из основных источников извлечения полиметаллического сырья. Они имеют важное экономическое значение для горной промышленности России и являются ценным георесурсом, составляя основу сырьевой базы таких полезных ископаемых, как медь, никель, серебро, платина, золото, цинк и др.

Месторождения колчеданных руд представлены медно-цинковыми, свинцово-цинковыми, медно-никелевыми, антимонитовыми и прочими стратиформными геолого-промышленными типами. В настоящее время ведется большой объем поисковых и геологоразведочных работ по поиску новых запасов медноцинково-колчеданных и полиметаллических руд в пределах традиционных горнодобывающих регионов [1]. В этой связи ожидается прирост запасов колчеданных месторождений в минерально-сырьевой базе России, что обуславливает необходимость обеспечить безопасное и качественное извлечение ценных компонентов из недр.

Добыча колчеданных руд осложнена наличием в них серы, слагающей сульфидные минералы, в результате, чего в измельченном состоянии они подвергаются самовозгоранию, воспламенению и взрыву, что подтверждает практика ведения горных работ.

Ранее коллективом авторов [2-4] были получены новые знания о процессе возникновения и формирования взрывоопасного облака сульфидной пыли. Установлено и доказано, что существенное влияние на характер распределения содержания серы при дезинтеграции руд и пород в различных классах крупности пылевых фракций оказывают их минеральный, хрупкость и твердость минералов, крупность зерен сульфидов и форма их нахождения в руде. В результате выполненных исследований впервые было установлено и доказано, что строение минерала, содержащего серу, величина его зерен, определяет возможность роста содержания серы во фракциях с размером частиц менее 40 мкм, образованных в результате первичного разрушения руды.

В продолжение исследуемой темы проведены исследования для условий медно-колчеданного месторождения, расположенного в пределах главной колчеданосной вулканогенно-осадочной полосы Урала. Содержание серы в рудах изменяется в пределах 35,7-42%, что свидетельствует о склонности к взрывоопасности рудничной пыли, формируемой в ходе основных технологических процессов при ведении подземных горных работ.

Руды месторождения обладают сплошной, массивной и полосчатой текстурой и сложены, в основном, рудными минералами. Несплошные руды – типа «перебой» имеют полосчатую и вкрапленную текстуру. Главными рудообразующими минералами являются: пирит, халькопирит, сфалерит, пирротин, магнетит, в подчиненном количестве встречается галенит, арсенопирит, кубанит и валлерит. Полученные образцы руд представляют научный интерес для проведения дальнейших исследований.

Исследованы особенности минерального состава медноколчеданных руд, идентифицированы основные рудные минералы. Установлены структуры и текстуры руд в представленных на анализ образцах, которые необходимо учитывать совместно в исследовании склонности руд к самовозгоранию и опасности взрыва сульфидной пыли. Согласно разработанной методике [3] по изучению структурно-текстурных особенностей руд, полученные результаты исследований для руд медно-колчеданного месторождения, подтверждают значимость установленной закономерности перераспределения содержания серы при дезинтеграции сульфидных руд и пород в более мелкие фракции.

Разработаны технологические рекомендации по сокращению риска взрыва сульфидной пыли для обеспечения устойчивой и безопасной работы подземного рудника.

Список литературы

1. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов РФ в 2019 году. – М.: 2019. 494 с.
2. Rynikova M., Fedotenko V., Mitishova N. Influence of structural and textural features of ores and rocks on mine dust explosion hazard during development of pyrite deposits // E3s web of conferences E3S Web Conf. VIII International Scientific Conference «Problems of Complex Development of Georesources». 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202019203017
3. 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.
4. Федотенко В.С., Митишова Н.А., Гавриленко В.В. Учет структурно-текстурных особенностей сульфидных руд при оценке взрывоопасности пыли // материалы к конференции Международной научной школы академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» – М.: ИПКОН РАН. – 2020. С. 243-245.

ESG ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ УСТОЙЧИВОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Бондаренко А.А.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Для российского промышленного сектора вопросы устойчивого развития играют все возрастающую роль ввиду значительного влияния предприятий на окружающую среду. Одновременно с этим в горнопромышленном секторе не решены многие социальные экономические

и энергетические проблемы, которые формируют повышенный интерес и являются актуальным направлением во всем мире.

В настоящее время курс развития иностранных горнодобывающих компаний направлен на продвижение факторов ESG путем перенаправления капитала на инвестиции в тенденции устойчивого развития [1]. Факторы ESG учитывают то, как горнорудное предприятие вовлекает и использует природные ресурсы с параллельным воздействием процессов добычи полезных ископаемых на окружающую среду. Очевидно, что количество негативного влияния и состояние окружающей среды близ ведения горных работ может напрямую влиять на конкурентное позиционирование и экономическое состояние компании. Поэтому для достижения устойчивого развития горнодобывающего предприятия и удовлетворения факторов ESG необходимы новые изыскания, направленные на проведение мероприятий по улучшению экологических и экономических факторов.

Одним из таких мероприятий является переход на самоходные электрические горные машины которое обеспечит долгосрочное и устойчивое развитие предприятия. Действительно, оборудование на базе электрического привода наносит значительно меньший вред окружающей среде по сравнению с горными дизельными машинами [2-3]. Сокращению выбросов и повышению энергоэффективности способствует ротация дизельных горнотранспортных средств горным оборудованием, основанном на электрическом приводе, что способствует снижению потребления энергоресурсов до 40% от общего объема потребляемой мощности шахты [4-5].

Применение самоходных аккумуляторных горных машин, позволит сократить производственные выбросы в атмосферу, как например выбросы вредных газов систем ДВС и в разы снизить потребление электрической энергии на вентиляцию. Очевидно, что сокращение выбросов отработавших газов с ДВС, повлечет существенное снижение затрат на вентиляцию, которая является значимым энергоемким компонентом общего потребления электроэнергии рудника [6]. Экономическая и энергетическая эффективность обусловлены потенциалом снижения общего объема воздуха, что влияет на потребности в большем проветривании горных подземных пространств и изменений требований к проектированию вентиляции горнотехнических систем.

Список литературы

1. Галазова С.С. Влияние ESG-факторов на устойчивое развитие компаний и финансовую результативность корпоративного сектора // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2018. №3. С. 81-86

2. the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Carcinogenic effect of exposure to diesel exhaust / NIOSH // CurrIntell Bull 50 U.S.A. – 1988.

3. Grenier M., Gangal M., McGinn S., Penney J., Vergunst J. Diesel emissions evaluation program (DEEP) / Grenier M., Gangal M., McGinn S., Penney J., Vergunst J. Sampling for diesel particulate matter in mines. – 2001. – p. 26.

4. Halim, A., Kerai, M. Ventilation requirement for 'electric' underground hard rock mines—a conceptual study / Halim, A., Kerai, M. // In The Australian Mine Ventilation Conference – 2013. — pp. 215–220.

5. Papar R, Szady A, Huffer WD, Martin V, McKane A. Increasing energy efficiency of mine ventilation systems / Papar R, Szady A, Huffer WD, Martin V, McKane A. // Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California. – 1999.

6. Marx W. M., Von Glehn F.H., Wilson R.W. Development of energy efficient mine ventilation and cooling system / Marx W. M., Von Glehn F.H., Wilson R.W. // Mine Ventilation of South Africa Society Journal. – 2008. – № 16. – pp. 5-9.

РАЗВИТИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ ВОВЛЕЧЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ ХРАНИЛИЩ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РУД

Цупкина М.В.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Высокий спрос на ценные полезные ископаемые и потенциальный риск, связанный с их поставкой на мировой рынок минерального сырья, предопределяет разработку альтернативных технологий добычи полезных ископаемых. Вовлечение в эксплуатацию старогордных хвостохранилищ может стать решением для пополнения запасов ценных полезных ископаемых в качестве вторичных минеральных ресурсов при одновременном снижении экологической и социальной нагрузки горнодобывающего региона [1]. Добыча и переработка ранее складированных хвостов обогащения руд являются дополнительным источником минерального сырья и требует всестороннего изучения объемов и качества георесурсов с учетом распределения качества в массиве хвостохранилища. Это обуславливает необходимость совершенствования подходов к выбору технологии вовлечения отходов переработки руд в промышленную эксплуатацию.

Одним из наиболее перспективных дополнительных источников минерального сырья являются хранилища отходов добычи и переработки руд цветных и благородных металлов, что обусловлено их достаточно высокой ценностью. Кроме того, как показали результаты исследования [2,3], техногенный материал намывных хвостохранилищ представляет собой активно изменяющуюся гетерогенную систему, сформированную в результате гипергенного преобразования отходов, что влечет развитие вертикальной зональности в техногенном массиве и, как следствие, к формированию в основании хвостохранилищ горизонтов с более высоким содержанием цветных, редких и благородных металлов.

Следует отметить, что в настоящее время к техногенным объектам не применимы подходы, принятые для месторождений полезных ископаемых природного происхождения, требуются иные методы проведения разведочных работ, документального оформления их результатов и выполнения процедуры постановки на государственный учет. Эти подходы предполагают проведение большого комплекса работ, начиная от разведки и обоснования кондиций вплоть до постановки запасов на государственной баланс с последующей разработкой технических проектов на освоение запасов техногенных образований с соответствующими процедурами регистрации в государственных органах.

С вовлечением в переработку техногенного тонкодисперсного минерального сырья изменяются требования к технологиям их добычи и переработки [4]. В технологических схемах все большую роль начинает играть размерный фактор фазового состава минералов.

В связи с этим, для решения вопросов, связанных с вовлечением металлов в повторную промышленную эксплуатацию путем разработки лежалых хвостов обогащения многокомпонентных руд цветных и благородных металлов, важное значение приобретает внедрение новых технологий переработки техногенного минерального сырья, обеспечивающих комплексное извлечение ценных минеральных составляющих.

Анализ существующих научно-методических подходов к вовлечению в эксплуатацию многокомпонентного техногенного сырья позволил определить перспективы вовлечения отходов переработки многокомпонентных руд с учетом комплексной оценки:

- установления закономерностей изменения вещественного состава, структуры и свойств техногенного массива в динамике вторичного минералообразования;
- экологического воздействия ввиду хранения техногенных минеральных образований;
- возможности возникновения техногенных катастроф ввиду образования провалов и прорывов дамб;
- востребованности ценных компонентов на момент освоения техногенных образований.

Список литературы

1. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Цупкина М.В., Гавриленко В.В. Вовлечение техногенных минеральных объектов в полный цикл освоения рудных месторождений: решение проблем техносферной безопасности // Сборник статей по материал международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность». – Севастополь: СевГУ, 2019. – С. 1428-1432.
2. Целюк И.Н. Особенности вещественного состава хвостов из хвостохранилища ООО «Соврудник» // Разведка и охрана недр. 2010. № 9. С. 37–41.
3. Целюк Д.И. Перспективы золотоносности лежалых хвостов ЗИФ Центральной Сибири // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр. М., 2011. С. 81–83.
4. Пирогов Б.И. Природа и эволюция технологических свойств минералов // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения – 2017): материалы Междунар. науч. конф., Красноярск. – 2017 г. – С: 28-31.

ДЕФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ПОДРАБОТАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КУЗБАССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ SENTINEL-1

Чурсин И.Н.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Современные технологии освоения месторождений угля можно охарактеризовать достаточно большими объемами и темпами добычи полезного ископаемого, большими площадями вовлекаемых в добычу территорий, что способствует увеличению вероятности возникновения опасных геодинамических явлений. Среди них могут быть такие явления, как оседания земной поверхности, техногенные землетрясения [1, 2, 3, 4], провалы, воронки, трещины [4, 5, 6]. В связи с этим, вопросы мониторинга процессов деформирования земной поверхности в регионах с интенсивной техногенной нагрузкой на недра приобретает все более актуальное значение. Однако, большие размеры вовлекаемых в добычу территорий обуславливают достаточно высокую трудоемкость наблюдений за процессами сдвига. В связи с этим, в мире начали активно внедряться новые методы мониторинга процессов сдвига и деформаций, охватывающих большие площади, среди которых в последние годы стал применяться метод спутниковой радарной интерферометрии. Данные интерферометрического мониторинга могут быть полезны для выявления причин деформаций, а также степени влияния горных работ на деформационные процессы, особенно в тех районах, где наземные наблюдения могут быть затруднительны.

Данная работа проводилась для территории города Ленинск-Кузнецкий в районе шахты им С.М. Кирова. На эту территорию были использованы космические снимки со спутников Sentinel-1 за период с 2017 по 2018 годы. Для обнаружения зон просадок использовались метод дифференциальной интерферометрии, где на основе радиолокационных изображений за смежные даты строились интерферограммы. Такой подход дал возможность обнаружить просадки земной поверхности по направлению продвижения забоя на обрабатываемых лавах пласта Поленовский и Болдыревский в 2017-2018 годах, а также проследить

динамику распространения оседания во времени. На интерферограммах такие зоны оседаний проявлялись в виде интерференционных колец. Были установлены зависимости скорости смещения центров мульд сдвига от скорости продвижения забоя лав пластов Болдыревский и Поленовский на шахте им. С.М. Кирова.

Описанный выше подход дает возможность обнаружить смещение земной поверхности за две соседние даты. Однако полноценно оценить численные значения таких смещений этим методом нельзя ввиду нескольких причин. Во-первых, существует проблема временной декорреляции, которая связана с быстрыми изменениями на земной поверхности (например, изменения растительного покрова) и приводит к искажению данных на участках снимков, где такие изменения происходят. Таким образом необходимо найти участки интерферограмм, которые подвержены сильной временной декорреляции и исключить их, как ненадежные источники информации. Во-вторых, для численного измерения смещения земной поверхности необходимо из значения фазы, записанной в интерферограмму извлечь только ту компоненту, которая обусловлена смещением земной поверхности (помимо компонент, связанных с атмосферными ошибками, изменением топографии, аппаратным шумом и т.д.).

Для того, чтобы найти наиболее стабильные участки интерферограмм, не подверженные временной декорреляции, а также чтобы извлечь из суммарной интерферометрической фазы компоненту смещения используется метод стабильных отражателей. Для его реализации используется уже не пара, а целая цепочка радиолокационных снимков. Этот метод использовался для численной оценки смещения земной поверхности в районах, выявленных с помощью обработки пар смежных по датам интерферограмм.

После обработки снимков по методу стабильных отражателей было установлено, что на урбанизированных территории города Ленинск-Кузнецкий плотность стабильно отражающих объектов высокая, что дает возможность измерить оседания земной поверхности на его территории. Для сельскохозяйственно освоенных, слабо урбанизированных территорий методом StaMPS можно оценить среднюю величину оседания земной поверхности в определенных точках мульд сдвига. Однако определение параметров мульд сдвига осложняется по причине низкой плотности отражателей.

Список литературы

1. Яковлев Д.В., Лазаревич Т.И., Цирель С.В. Генезис и развитие природно-техногенной сейсмоактивности Кузбасса // Уголь, 2013. pp. 53-57.

2. Адушкин В.В. Влияние взрывных работ на возникновение катастрофических техногенно-тектонических землетрясений в Кузбассе // Материалы V Международной конференции: Триггерные эффекты в геосистемах. Москва. 2019. pp. 203-218.

3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г. Эпицентральная область Бачатского землетрясения 18.06.2013 г. с $M=5.1$ (Кузбасс) в 2013–2014 гг. // Землетрясения в России в 2013 году. 2015. pp. 103-108.

4. Хорошилова Л.С., Тараканов А.В. Проблемы нарушенных земель в Кузбассе и их пути решения // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2007. No. 2(60). pp. 62-64.

5. Эпов М.И., Мионов В.Л., Чимитдоржиев Т.Н., Захаров А.И., Захарова Л.Н., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. Наблюдение просядок земли в районе подземных угольных выработок Кузбасса по данным радиолокационной интерферометрии ALOS Palsar // исследование Земли из космоса. 2012. No. 4. pp. 26-29.

6. Куприянов А.Н. Восстановление экосистем на отвалах горнодобывающей промышленности Кузбасса. Новосибирск: Академическое изд-во: «Гео», 2010. 124 pp.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ПЛАНАХ ГОРНЫХ РАБОТ С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА AUTOCAD

Кутепов Д.В., Ребенок Е.В.

РАНИМИ МОН ДНР

За время работы угледобывающего предприятия создается большой объем графических материалов. В их число входят планы горных выработок по угольным пластам. На этих планах отражена информация о геологическом строении пласта, горногеологических условиях добычи угля, горизонтальные проекции горных выработок и другие сведения. Данная информация пополняется на протяжении нескольких десятков лет за время работы шахты. Для обработки и хранения информации в настоящее время широко используется программа AutoCAD. На практике, довольно часто необходимо работать с большим объемом однотипных данных, записывать их координаты, параметры в табличном виде для обработки необходимой информации с плана горных выработок и составления математической модели. Обработка всей необходимой информации на плане вручную может занять много времени и допустить ошибки при сборе данных оператором. Электронный план горных работ включает в себя множество слоев, с различным набором данных, поэтому

поиск координат и номера скважин, необходимых для работы, в ручную являлся крайне затруднительным. Стандартный набор инструментов AutoCAD не предусматривает перенос необходимых данных с плана горных работ для построения математических моделей карт изогипс угольного пласта. Такие модели имеют большое практическое значение для проведения текущего прогноза условий добычи угля, но их построение сдерживается трудоемкостью извлечения данных из слоев электронного плана горных выработок [1].

В данной статье рассмотрены формы хранения информации в системе AutoCAD об угольных шахтах и способы извлечения данных в виде таблиц, пригодных для последующего математического моделирования гипсометрических планов угольных пластов и построения изолиний.

Для примера рассмотрим электронный план горных работ шахты Тентекская, пласт Дб. Элемент «устья скважины», приведенный на рисунке 1, изображен при помощи примитива «круг» белого цвета с черным кругом в центре. Данный примитив характеризуется радиусом, диаметром, длиной окружности. Элемент «горизонтальная проекция скважины» показан отрезками белого цвета. Элемент «номер скважины» показан черным цветом, «абсолютная отметка устья скважины» – красным, «абсолютная отметка пластопересечения» – синим, «мощность угольного пласта» – зеленым. Неграфические элементы являются типом МТекст. Координаты привязки рассмотренных элементов различны.



Рис. 1. Устья скважин на плане горных работ с их координатами и номером

Использование стандартных средств AutoCAD не позволяет напрямую из одного слоя извлечь информацию по всем пластопересечениям в виде таблицы, связывающей элементы типа МТекст с координатами графического примитива, соответствующего устью скважины (или пластопересечению). В первую очередь этому препятствует различие координат точек привязки всех элементов пластопересечения. Поэтому в

основу установления соответствия элементов общему пластопересечению положено минимальное расстояние между точками привязки элемента МТекст и центром примитива круг. Для реализации этого подхода элементы пластопересечения, находящиеся на одном слое, были разнесены по различным слоям, используя стандартные средства AutoCAD. Таким образом, были получены два отдельных слоя «устье скважины» и «номер скважины».

Программа на языке AutoLISP составлена для задачи, не имеющей решения стандартными средствами AutoCAD. Эта задача заключается в присвоении элементу «номер скважины» координат графического элемента «устье скважины». Суть алгоритма рассматриваемой задачи состоит в обработке данных на включенном слое нужных графических объектов, в нашем случае – это устья скважин (окружность). Программа сохраняет координаты центра окружности и находит с помощью цикла необходимый графический элемент на включенном втором слое с номерами скважин, сравнивая их принадлежность к привязанному устью скважины по минимальному расстоянию, сохраняя полученные данные в текстовом документе в табличном виде (рис. 2). Решение задачи рассмотрено на примере номера скважины и координат его устья.

1486	52065.7723	30368.1002
2400	52251.8600	30460.8932
2428	52283.8908	30463.3622
2358	52273.9162	30973.1214
2428	52314.9170	30976.2740
723	62754.9142	30476.8262
2402	62708.5078	30478.1260
2427	52363.8792	30363.0482
2424	52418.1071	30175.2680
2420	52563.8604	30326.1781
2344	62614.6880	30447.6708
2384	62616.6467	30347.7008

Первая колонка таблицы – номер скважины; вторая колонка – ордината; третья колонка – абсцисса на плане горных выработок

Рис. 2. Вывод результатов привязки номеров скважин к координатам их устья в табличном виде

Подобным образом задача решается для других элементов пластопересечения, представленных в формате МТекст. В этой же задаче координаты устья скважины могут быть заменены на координаты пластопересечения. Табличная форма результатов привязки элемента МТекст к координатам скважины (или пластопересечения) позволяет производить над ними математическую обработку, например, в среде Excel или

строить математические модели гипсометрических планов угольных пластов при помощи программы Easy Trace.

Таким образом, использование стандартных средств AutoCAD и программы на языке AutoLISP реализует полуавтоматическое решение задачи извлечения из DWG файла характеристик пластопересечения с различными точками привязки к плану горных выработок, в виде таблицы этих характеристик. Автоматический способ извлечения данных позволяет на несколько порядков сократить время решения данной задачи по сравнению с ручным способом, а также избежать ошибок оператора при переносе данных с чертежа в таблицу.

Данное ПО может быть модифицировано и использовано для поиска и сортировки иных данных, а так же представления их в табличном виде. Автоматизированный поиск данных плана горных работ может широко использоваться в различных НИИ, для решения геологических и маркшейдерских задач.

Список литературы

1. Программирование в AutoCAD. AutoLISP. [Электронный ресурс] / ЗАОЦентр системных исследований «Интегро», 2007. Режим доступа URL: <https://acad-prog.ru/karta-sajta/> (Дата обращения: 20.02.2019).

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ

SMART GRID В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Кубрин С.С., Решетняк С.Н., Корзун О.А.

ИПКОН РАН, НИТУ «МИСиС»

Возобновляемые источники энергии обладают рядом положительных свойств, таких как экологичность и неограниченность. Но сложившаяся система экономических отношений в энергетике и традиционная энергосистема, а также стоимость альтернативных источников энергии, делает этот переход весьма дорогим. Важным является тот факт, что альтернативные источники энергии, обладают сравнительно малой мощностью и не могут обеспечивать потребности промышленности, потребляющей большую часть производимой электроэнергии. Из-за небольшой производительности установок, использующих возобновляемые источники энергии, полный переход с традиционных источников на альтернативные пока невозможен. Однако, имеет место их комбинированное использование, в частности система Smart Grid (Умные сети). Развитие данного технологического решения позволит снизить потребности в традиционных энергетических ресурсах (нефтепродуктах, угле и газе), тем самым улучшить экологическую составляющую [1].

В настоящее время, на территории Российской Федерации, в ряде регионов, стала практиковаться установка солнечных панелей и небольших ветрогенераторов на крышах домов. Однако, производимая энергия, в периоды низкого потребления, без должной оптимизации не может аккумулироваться полностью [2].

Современные сети, построенные на территории Российской Федерации, принципиально не сильно отличаются от тех, что были спроектированы в конце 19-го века. Основное сходство заключается в односторонней передаче энергии в системе производитель энергии – потребитель, что не подразумевает использование возобновляемых источников энергии, которые характеризуются непостоянством плотности энергии во времени. Небольшие частные генераторы энергии на основе альтернативных источников не способны встроиться в установившуюся традиционную систему передачи электроэнергии.

Таким образом, предпосылками к модернизации сетей являются следующие факторы:

- Дефицит источников энергии в удаленных от энергосистемы районах. За последние несколько десятилетий появилось множество новых и улучшенных технологий, устройств и инструментов, которые питаются исключительно электрической энергией, причем улучшение старых технологий не всегда ведет к пониженному энергопотреблению. В связи с этим наблюдается перегрузки и просадки на участках цепи, которые еще 10–20 лет назад не проявляли подобных сбоев и из чего вытекает следующий фактор.

- Требования к повышению качества и надежности электроснабжения со стороны потребителей. По некоторым оценкам в следующие 20 лет качество поставляемой электроэнергии станет крупнейшей проблемой энергетической отрасли [3]. Старение инфраструктур линий электропередач и распределительных электростанций приводит к возникновению больших потерь электроэнергии при передаче в отдаленные поселения.

- Повышение стоимости электроэнергии.

Системой, допускающей решения множества существующих проблем, а также переход к новому витку развития в энергетике, является система Smart Grid, схема которой представлена на рисунке 1. Система

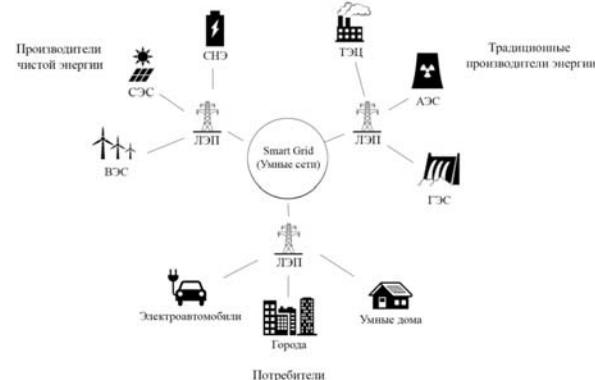


Рис. 1. Структура Smart Grid

представляет собой комплекс физических и информационных технологий, который позволяет дистанционно управлять различными энергокомплексами, предотвращать аварийные ситуации, связанные с перегрузками сетей в периоды часов пик, в том числе обеспечение равномерной нагрузки на всех производителей электроэнергии и многое другое.

Системе Smart Grid присущи следующие свойства:

- способность самовосстановления после сбоев в подаче электроэнергии;
- возможность активно участвовать в работе потребительской сети;
- защита сети от любого рода вандализма или кибернетического взлома;
- гарантия качества поставляемой электрической энергии;
- обеспечение аккумуляирования производимой энергии в часы минимума потребления и выдача энергии при повышенной нагрузке;
- возникновения рынка новых продуктов и технологий;
- повышение энергоэффективности системы в целом [4].

Осуществление положений этой концепции будет предполагать развитие инновационных технологий, увеличение масштабов производства интеллектуальной продукции, не менее частое применение электрической энергии в транспортной инфраструктуре (использование автомобилей с электродвигателями), рост новых рыночных отношений с вовлечением в электроэнергетику пользователей, как активных пользователей рынка (возможность продавать электрическую энергию, при помощи локальных генерирующих источников). С помощью Smart Grid человечество перейдет в новую фазу потребления электричества, эта фаза будет гармонично взаимодействовать с окружающей средой, повлияет на улучшение качества жизни и будет виден экономический подъем.

В результате проведенного исследования возможностей системы Smart Grid поставлены задачи исследования:

1. Исследование системы электроснабжения объекта в условиях использования системы Smart Grid.
2. Имитационное моделирование системы электроснабжения объекта при использовании системы Smart Grid.
3. Исследование факторов, повышающих уровень энергоэффективности системы электроснабжения с использованием технологии Smart Grid.

Список литературы

1. Сидоренко И.О. Перспективы применения альтернативных источников энергии. – Владивосток. – 2006.
2. Егорова М.С. Развитие возобновляемых источников энергии – мировой опыт и российская практика. – М.: Вестник науки Сибири. – 2013.
3. World Energy Outlook 2009. International Energy Agency (IEA), Paris. – 2009. – 691 pp.
4. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью. ОАО «ФСК ЕЭС». – 2011. – 51 с.

ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Кожевников Г.А.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Обеспечение современных отраслей промышленности редкими и редкоземельными элементами имеет важное значение для развития и модернизации высокотехнологического производства новых материалов. РЗМ применяются для производства современных электронных приборов, оптики, новых и возобновляемых источников энергии, гибридных двигателей автомобилей и иных конструктивных материалов. Отечественная сырьевая база редкоземельных металлов привязана, главным образом, к апатит-нефелиновым, эвдиалитовым, перовскитовым рудам, золошлаковым отходам ТЭЦ и др. При этом относительно низкое содержание РЗЭ в данном сырье обуславливает необходимость применения не только сложных гидрометаллургических схем, но и различных способов интенсификации, связанных с применением механоактивационных, термохимических, ультразвуковых, электромагнитных и других энергетических воздействий.

Авторами [1] показана возможность интенсификации процесса щелочного разложения эвдиалитового концентрата применением механических воздействий. Так, например, предварительная механическая активация концентрата в планетарной мельнице в течение 2,5 минут при $M_{ш} : M_k = 800:10$ обеспечивает при щелочном выщелачивании (40% раствор NaOH) извлечение до 70% кремния в раствор за 6 часов при температуре 120 °С. При последующем азотнокислотном выщелачивании кека щелочной обработки извлечение РЗМ составило 87%, циркония – более 80%, при извлечении кремния в продуктивный раствор менее 1%.

Механическая активация в течение 10 мин в планетарном активаторе куларитового концентрата Куларского месторождения приводит к накоплению дефектов (границ зерен, дислокаций, точечных дефектов) в куларите, тем самым интенсифицирует выщелачивание РЗЭ в жидкую

фазу [2]: прирост извлечения РЗЭ в продуктивный раствор составляет от 10 до 50% при температуре гидрохимической обработки менее 100 °С. Однако метод механической активации является энергетически затратным и трудно реализуемым на практике.

В работе [3] представлены результаты исследований по вскрытию перовскитового концентрата Африкандского месторождения гидрофторидом аммония. Установлено, что наиболее эффективное взаимодействие концентрата с NH_4HF_2 происходит при температуре 155 °С с образованием комплексных фтораммониевых солей титана, железа и кремния. РЗЭ при выщелачивании фторированного концентрата водой полностью остаются в нерастворимом осадке в виде комплексных фтораммониевых солей, а при пиролизе полученной смеси при 700 °С переходят в оксиды и оксифториды, хорошо растворимые в концентрированной азотной кислоте. Извлечение РЗЭ при азотнокислотном выщелачивании в течение 60 минут в зависимости от соотношения Т:Ж составляет 80,3–82,5 %. Однако данный способ является экологически и экономически нецелесообразным.

Авторами [4] было показано влияние температуры и ультразвукового воздействия на извлечение редкоземельных металлов из промышленной золы различного происхождения (зола металлургических производств, ТЭЦ и др.) при помощи хелатных соединений. Использование ультразвука позволило снизить концентрацию аминополикарбоксилатных хелатов (с 0,1 моль/л до 0,01 моль/л) и температуру выщелачивания (с 70°С до 25°С).

Добавление флюорита (CaF_2) в количестве 5-7 кг/т при сернокислотном выщелачивании никелевых руд Урала обеспечивает интенсификацию процесса растворения никельсодержащих силикатов железа за счет образования фторидных комплексных ионов $[FeF_6]^{3-}$. При температуре реакционной системы 80 °С и продолжительности процесса выщелачивания 4 часа максимальный прирост извлечения никеля составляет 12% [5].

В ИПКОН РАН проведены исследования влияния ультразвукового (УЗ) воздействия и высоковольтных наносекундных электромагнитных импульсов (МЭМИ) на эффективность азотнокислотного выщелачивания РЗМ и циркония из эвдиалитового концентрата [6]. Ультразвуковая обработка суспензии способствует дисперсации коллоидального силикатного геля, образованию многочисленных микротрещин на поверхности зерен эвдиалита вплоть до их разрушения, что повышает интенсивность и скорость выщелачивания циркония и редкоземельных элементов в продуктивный раствор. Установлено, что постоянная УЗ-обработка обеспечивает прирост извлечения $SPZЭ$ и ZrO_2 в продуктивный раствор на 26,2 % и 43,4 %.

В свою очередь механизм процесса разупрочнения и структурно-химических преобразований поверхности эвдиалита в результате воздействия высоковольтных наносекундных импульсов и азотнокислого выщелачивания обусловлен разрушением структурных фрагментов цеолитоподобного каркаса эвдиалита и переходом кремния в выщелачивающий раствор в виде поликремниевых кислот. В результате предварительной электромагнитной импульсной обработки в течение 3 минут и кислотного выщелачивания эвдиалитового концентрата прирост извлечения $\Sigma PЗЭ$ и ZrO_2 составил 6,4 % и 9,4 % соответственно.

Таким образом, наиболее перспективными методами интенсификации выщелачивания редкоземельного сырья являются УЗ воздействия и МЭМИ.

В данной работе проведены исследования по изучению возможности интенсификации процесса выщелачивания эвдиалитового концентрата и золошлаковых отходов ТЭЦ с использованием предварительной обработки мощными наносекундными электромагнитными импульсами (МЭМИ) с повышенной амплитудой импульса (до 70 кВ) и напряженностью электрического поля (не менее 10^7 В/м), что превосходит электрическую прочность минерального вещества [7,8] и, как следствие, обеспечит снижение электрической и механической прочности эвдиалита, и повысит эффективность растворения минерала в процессе выщелачивания.

Установлено, что предварительная обработка минеральных проб воздействиями МЭМИ за счет изменения структурно-химического состояния поверхности минералов обеспечивает в процессе выщелачивания эвдиалитового концентрата повышение суммарного извлечения редкоземельных металлов в продуктивный раствор на 1,8% до 89,5%.

Список литературы

1. Хохлова О.В., Богатырева Е.В., Любахин П.А., Аксенов С.М., Акименко М.И. Исследование возможности эффективного щелочного вскрытия эвдиалитового концентрата с применением механоактивации // ВЕСТНИК РАЕН. – 2015. – № 4. – С. 50-52.
2. Исупов В.П., Бородулина И.А., Шацкая С.С., Юсупов Т.С. Применение механохимической активации для переработки куларитового концентрата // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. – 2016. – С.266-269.
3. Крысенко Г.Ф., Эпов Д.Г., Мелков М.А.. Комплексная переработка перовскитового концентрата по фторидной технологии // Вестник ДВО РАН. – 2015. – № 4. – С. 113-117.

4. H. Hasegawa, I.M.M. Rahman, Y. Egawa, H. Sawai, Z.A. Begum, T. Maki and S. Mizutani. Recovery of the rare metals from various waste ashes with the aid of temperature and ultrasound irradiation using chelants, Water, Air, & Soil Pollution, 225(9): 2112, 2014.

5. Ключников А.М., Ключников А.М. Использование добавок фторидов при выщелачивании окисленных никелевых руд Урала // ВЕСТНИК ВСГУТУ. – 2013. – № 3. – С. 5-9.

6. Чантурия В.А., Чантурия Е.Л., Миненко В.Г., Самусев А.Л. Интенсификация процесса кислотного выщелачивания эвдиалитового концентрата на основе использования энергетических воздействий // Обогащение руд. – 2019. – № 3. – С. 29-35.

7. Чантурия В.А., Бунин И.Ж., Ковалев А.Т. Механизмы дезинтеграции минеральных сред при воздействии мощных электромагнитных импульсов // Известия РАН. Серия физическая. – 2004. – Т. 68. – № 5. – С. 629-631.

8. Чантурия В.А., Бунин И.Ж., Ковалев А.Т. Наносекундные электрические разряды между частицами полупроводниковых сульфидных минералов в водной среде // Известия РАН. сер. Физическая. – 2009. – Т. 73. – № 5. – С. 726-729.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЦИАНИДА НАТРИЯ И ПЕРЕКИСИ БАРИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЦИАНИРОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО КОНЦЕНТРАТА

Суримбаев Б.Н.^{1,2}, Ражан Е.Б.², Каналы Е.С.¹

¹Филиал РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан»
Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханобр»,
Лаборатория благородных металлов, Алматы,
Республика Казахстан

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Факультет химии и химической технологии, Алматы,
Республика Казахстан

Резюме. Определено влияние концентрации цианида натрия в жидкой фазе пульпы на цианирование гравитационного концентрата. Проведен опыт по добавке окислителя – перекиси бария на цианирование гравитационного концентрата.

Известно, что самым распространенным процессом извлечения золота из бедных руд является цианирование. В основе этого процесса лежит селективное выщелачивание золота или другого благородного

металла водными растворами цианидов натрия, калия или кальция. Полученный раствор, содержащий растворенное золото, отправляют на переработку различными методами для получения товарного продукта высокого качества в виде сплава Доре в слитках [1].

Цель исследования заключалась в определении влияния концентрации цианида натрия и перекиси бария в жидкой фазе пульпы на растворение золота из гравитационного концентрата исходной крупности.

Для исследования был использован гравитационный концентрат со средним содержанием золота 286,3 г/т. Цианирование проведено в бульблочном агитаторе со скоростью вращения 60 оборотов в минуту. Содержание твердого в пульпе 33,3% (отношение твердого к жидкому Т:Ж = 1:2), загрузка оксида кальция для создания необходимого рН 0,84 кг/т в пересчете на 100% активность. Время цианирования 24 часа.

В методике исследования золотосодержащих руд [2] при цианировании в бульблочном агитаторе рекомендуют загружать в цианидную пульпу окислитель – перекись бария 0,5-1,0 г на 100 г золотосодержащего продукта. В этой связи, было интересно посмотреть влияние перекиси бария на показатели цианирования.

Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные показатели цианирования гравитационного концентрата исходной крупности при различной концентрации цианида натрия в жидкой фазе пульпы

Наименование основных параметров	Показатели				
	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3
Исходная концентрация NaCN, %	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3
Загрузка BaO ₂ , кг/т	–	–	–	5,0	5,0
Загрузка NaCN, кг/т	2,0	4,0	6,0	6,0	6,0
Содержание Au в жидкой фазе пульпы после цианирования, мг/л	135,5	124,5	138,0	120,0	150,0
NaCN, % (остаточная)	0,039	0,110	0,174	0,201	0,153
Содержание Au в твердых остатках цианирования, г/т	17,85	17,38	20,38	12,15	27,45
Расчетное содержание Au в концентрате, г/т	288,85	266,38	296,38	252,15	327,45
Степень растворения Au, %	93,78	93,52	93,23	95,18	91,62
Расход цианида натрия на взаимодействие с минералами, кг/т	1,22	1,81	2,53	1,98	2,94

Среднее расчетное содержание золота в исходном гравитационном концентрате по результатам тестов без добавления окислителя составляет 283,87 г/т, степень растворения золота составляет 93,23-93,78%. Среднее расчетное содержание золота в концентрате при добавлении перекиси бария составляет 289,8 г/т, степень растворения золота – 93,4%.

Из данных таблицы 1 следует, что исходная концентрация цианида натрия в жидкой фазе пульпы свыше 0,1% почти не влияет на степень растворения золота из гравитационного концентрата. В тоже время увеличение концентрации цианида натрия влечет за собой повышение загрузки цианида натрия в процесс и соответственно повышение расхода цианида натрия на взаимодействие с минералами. При цианировании гравитационного концентрата нет необходимости использовать окислитель – перекись бария, так как его добавка практически не улучшает технологические показатели.

Список литературы

1. Захаров Б.А., Меретуков М.А. Золото: упорные руды, – М.: Руда и Металлы, 2013. – С.130.
2. Зеленов В.И. Методика исследования золотосодержащих руд, – М.: Недра, 1978. – С.141.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛОТИРУЕМОСТИ ХАЛЬКОПИРИТА И АРСЕНОПИРИТА РЕАГЕНТОМ S-ЦИАНЭТИЛ-ДИЭТИЛДИТИОКАРБАМАТОМ

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

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Халькопирит и арсенопирит являются основными минералами, присутствующими в рудах благородных металлов и обладающими близкими технологическими свойствами (при флотации).

Извлечение благородных металлов из технологически упорных комплексных руд является одной из наиболее важных задач, поскольку именно за счет более широкого вовлечения в эксплуатацию упорных золотых и комплексных руд в текущем столетии планируется обеспечить основной прирост добычи золота в России и мире в целом. Тонкая вкрапленность и слабая раскрываемость минералов (степень измельчения достигает 85 – 90% класса -0,074 мм).

Вовлечение в эксплуатацию новых видов минерального сырья и более полное извлечение ценных компонентов из комплексных

золотосодержащих руд возможно при создании современных технологий, обеспечивающих экономически эффективный прирост производства благородных металлов. Флотационные методы являются основными технологическими процессами переработки упорных золотосодержащих руд. Инновационным решением повышения извлечения благородных металлов при флотационном методе обогащения признано создание эффективных реагентов и флотационных режимов для обогащения тонких классов золота и селективных реагентов для депрессии сопутствующих минералов. Исследования проводятся с использованием методов рентгенофазового и спектрального анализа, УФ-спектроскопии, потенциометрии, измерения силы отрыва пузырька воздуха от минеральной поверхности, растровой электронной и лазерной микроскопии, мономинеральной и рудной флотации на природных и искусственно обогащенных золотосодержащих минералах [1-5].

Актуальность создания новых эффективных реагентов состоит в возможности более полного извлечения золота и цветных металлов в концентраты при сокращении их потерь с отвальными продуктами обогащения.

Проведенные в ИПКОН РАН исследования по разработке новых видов реагентов для извлечения золота показали, что реагенты класса дитиокарбаматов ДМДК и ДЭДК являются эффективными для повышения извлечения золота из упорных руд.

Влияние рудоподготовки на эффективность дальнейшего обогащения определяется степенью измельчения. При проведении экспериментов по рудной флотации минеральная проба измельчается в лабораторной шаровой мельнице объемом 1л, навеска 200 г, соотношение твердое – жидкое – шаровая нагрузка (Т:Ж:Ш) 1:0,5:6; время измельчения варьируется от 20 до 40 мин. в зависимости от твердости руды и требуемой степени измельчения для раскрытия сростков минералов, входящих в состав данной пробы руды.

При времени измельчения 20 мин выход флотационных классов представлен ситовой характеристикой пробы измельченной золото-содержащей руды в таблице 1.

Таблица 1 – Ситовая характеристика измельченной пробы руды

Сита, мм	Вес, г	Выход, %
-0,1 +0,063	44,0	22
-0,063 +0,044	91,2	45,6
-0,044	64,8	32,4
Итого	200	100

С целью изучения флотиремости входящих в состав руды минералов целевых металлов различной флотационной крупности проведена мономинеральная флотация халькопирита и арсенопирита, измельченных до -0,1 +0,063 мм, -0,063 +0,044 мм и -0,044 мм.

Условия мономинеральной флотации халькопирита и арсенопирита. Камера флотационной машины 18 мл. Навеска минерала 2 г. Собиратель – бутиловый ксантогенат калия Kx50 г/т, вспениватель сосновое масло -50 г/т. Время агитации с собирателем и вспенивателем по 1 мин. с каждым, время флотации 3 мин.

Результаты представлены на рис.1.

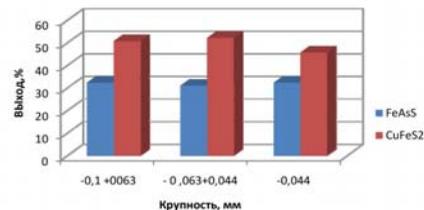


Рис. 1. Зависимости выхода концентрата при флотации халькопирита и арсенопирита от крупности минералов

Анализ флотиремости различных классов крупности показал, что выход в концентрат флотации халькопирита и арсенопирита класса -0,1 +0,0063 мм и -0,0063 +0,044 мм близкий по значению и составил соответственно 50,7–52,1% для халькопирита и 32,4–31% для арсенопирита. При этом разница во флотиремостиданных минералов составила 18,2–21,1%. Выход халькопирита крупностью -0,044 мм снижается до 45,7%, при этом выход арсенопирита остается на уровне 32,3% и разница во флотиремости снижается до 13,4%, что отрицательно влияет на селекцию данных минералов при рудной флотации. В связи с этим, последующие эксперименты по изучению флотационной активности нового реагента S-цианэтилN-диэтилдитиокарбамата (ЦЭДЭТК) проведены на классе крупности -0,1+0,044 мм.

Проведенные ранее исследования по сорбции и флотации благородных металлов с применением реагентов – собирателей класса дитиокарбаматов показали, что реагенты этого класса более селективные по сравнению с ксантогенатом по отношению к золотосодержащим минералам [4-6]. В настоящее время, как правило, используют сильный, но малоселективный собиратель – ксантогенат.

В данной работе изучен новый реагент класса дитиокарбаматов – S-цианэтил N, N-диэтилдитиокарбамат (ЦЭДЭДК) с целью возможности его использования для селекции золотосодержащих халькопирита и арсенопирита.

Новизна работы состоит в получении новых научных знаний о флотационных свойствах ЦЭДЭДК.

Цель работы – исследование флотационных свойств халькопирита и арсенопирита реагентом ЦЭДЭДК. Флотационные свойства были изучены на минеральных фракциях халькопирита Мальцевского и арсенопирита Дарасунского месторождений. В таблице 2 представлен элементный состав образцов минералов.

Таблица 2 – Элементный состав образцов халькопирита и арсенопирита

Образец	Fe	Cu	Zn	Pb	Mo	As	S
FeAsS	31,65	0,02	н/о	0,01	н/о	42,08	19,66
CuFeS ₂	27,54	28,54	1,91	3,19	н/о	н/о	29,17

Условия мономинеральной флотации халькопирита и арсенопирита. Расход собирателей изменяли от 50 до 400 г/т. Камера флотационной машины 18 мл. Навеска минерала составляет 2 г крупностью -0,1+0,063 мм.

Время агитации с собирателем 1 мин, пенообразователем 1 мин. Время флотации 3 мин.

Применение реагента ЦЭДЭТК позволяет снизить флотируемость арсенопирита на 10-25% в отличие от режима с использованием в качестве собирателя ксантогената, при котором флотируемость составляет около 35-42%.

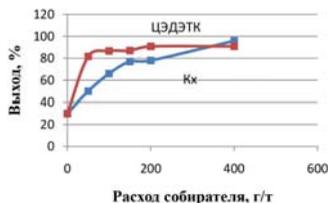


Рис. 2. Зависимости выхода концентрата при флотации халькопирита от расхода собирателя

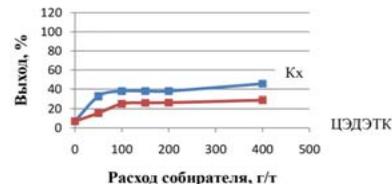


Рис. 3. Зависимости выхода концентрата при флотации арсенопирита от расхода собирателя

В результате флотационных испытаний на чистых минералах установлено, что применение нового реагента при его расходе 100 г/т, усиливает флотоактивность халькопирита, в отличие от флотации бутиловым ксантогенатом, что делает перспективным его применение в цикле селективной флотации сульфидов. Наиболее эффективен ЦЭДЭТК при расходах от 50 до 120 г/т.

Таким образом, получены новые данные о селективности действия ЦЭДЭТК на флотируемость арсенопирита и халькопирита при обогащении золотосодержащих медно-арсенопиритных руд. В условиях мономинеральной флотации при расходе ДЭЦЭ до 100 г/т разница во флотации халькопирита и арсенопирита составляет 62%, что на 34% больше по сравнению с использованием Кх. Этот факт окажет положительный эффект при получении Cu концентратов с пониженным содержанием As.

Список литературы

1. Матвеева Т.Н., Иванова Т.А., Гетман В.В., Громова Н.К. Новые флотационные реагенты для извлечения микро- и наночастиц благородных металлов из упорных руд // Горный журнал. – 2017. – № 11. – С. 89–93. DOI:10.17580/gzh.2017.11.16.ISSN: 0017-2278.
2. Matveeva, T.N., Gromova, N.K., Minaev, V.A. Quantitative evaluation of adsorption layer of combined diethyldithiocarbamate on chalkopyrite and arsenopyrite by method of measuring the parameters of surface relief (Article). TsvetnyeMetally. Issue 7, 2018, Pages 27-32. (Scopus Q – 2).
3. Матвеева Т.Н., Громова Н.К., Минаев В.А., Ланцова Л.Б. Модифицирование поверхности сульфидных минералов и касситерита устойчивыми комплексами металл-дибутилдитиокарбамат // Обогащение руд. – 2017. – № 5 (371). – С. 15–20. DOI: 10.17580/or.2017.05.03. ISSN: 0202-3776.
4. Matveeva T.N., Chanturiya V.A., Ivanova T.A., Gromova N.K. New reagent modes for flotation recovery of gold from refractory ores using herbal extracts // Proc. of XXVIII International Mineral Processing Congress (IMPC 2016). – 2016. – pp.1–11. ISBN: 978-1-926872-29-2.

5. Matveeva T.N., Gromova N.K., Lantsova L.B. Adsorption of tannin-bearing organic reagents on stibnite, arsenopyrite and chalcopyrite in complex gold ore flotation // Journal of Mining Science – 2016. – Vol.52. – № 3. – pp. 551–558. DOI: 10.1134/S1062739116030813. ISSN: 1062-7391.

6. Матвеева Т.Н., Громова Н.К., Минаев В.А. Количественная оценка адсорбционного слоя комбинированного диэтилдитиокарбамата на халькопирите и арсенопирите методом измерения параметров рельефа поверхности // Цветные металлы. – 2018. – № 7. – С. 27–32. DOI: 10.17580/tsm.2018.07.04. ISSN: 0372-2929.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИНЕРАЛОВ ЗОЛОТА В ПРОЦЕССЕ ИХ ФЛОТАЦИИ

Соложенкин П.М.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Построены аналоги типа мышьяка с тиольной и тионной связью к мышьяку и бинарной углеводородной связью с образование пятичленного цикла $R_2As(=S)SH$. [1-3].

Представляет научную ценность установление закономерности изменения физико-химических параметров собирателей от введения селена и теллура вместо атомов серы и кислорода, а также ряда координирующих атомов : мышьяка, сурьмы и висмута, железа, ванадия, хрома и др. С точки зрения электронных структур нейтральных атомов селен и теллур являются прямыми аналогами кислорода и серы.

Закрепление собирателей на сульфидных минералах можно рассматривать как процесс образования поверхностных координационных соединений. Такой подход позволяет использовать существующие в химии координационных соединений закономерности взаимодействия реагентов с катионами металлов в растворе для прогнозирования их взаимодействия с минералами, содержащими те же катионы.

Прогноз оценки активности собирателя (ПОАС) – взаимодействия собирателя с атомом кластера минерала – определяли в виде разницы общей энергии комплекса и суммы энергии кластера и энергии собирателя, определяемый по выражению:

$$\Delta E = E_{\text{комплекса}} - (E_{\text{кластера}} + E_{\text{собирателя}}), \text{эВ (ПОАС)}$$

Предварительно получали сведения об энергии компонентов комплекса (молекулы).

Чем меньше величина ПОАС, тем более предпочтительно взаимодействие собирателя с атомом кластера минерала. Реагенты с отрицательным ПОАС должны быть флотореагентами.

242

Исследовали минералы золота типа: Au_2S , Au_2S_3 , Au_2Te_3 , а собиратели типа $(C_4H_9)_2CrCSSH$, $(C_3H_7)_2FeCSSH$, C_4H_9OVSSH .

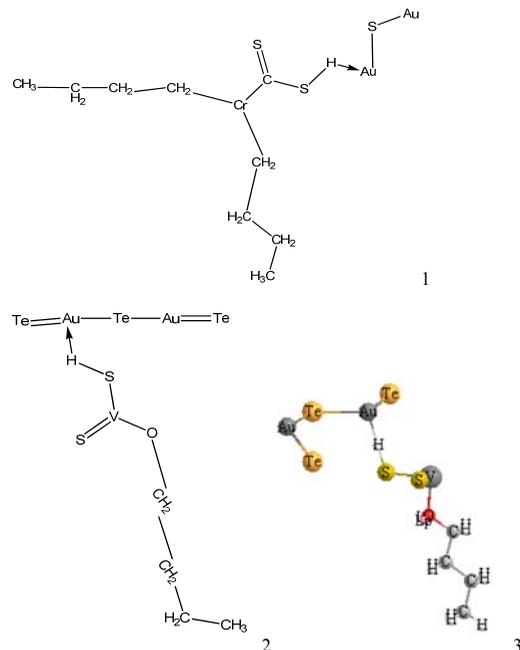
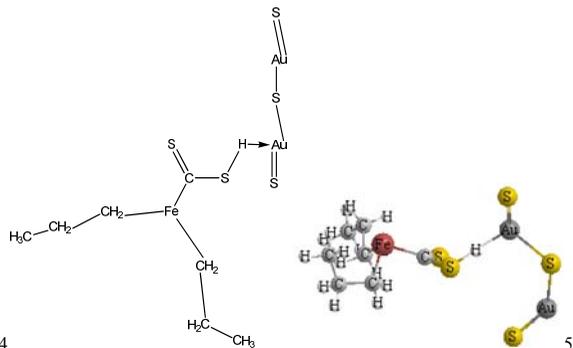


Рис. 1. Докинг минералов золота различными собирателями
1 – $(C_4H_9)_2CrCSSHStrAu_2S$; 2, 3 – $C_4H_9OVSSHStrAu_2Te_3$;
4 – $(C_3H_7)_2FeCSSHStr-Au_2S_3$; 5 – $(C_3H_7)_2FeCSSHStr-Au_2S_3$
(продолжение рисунка см. на след. стр.)

продолжение рис. 1

243



4

5

В таблице №1 представлены заряды атомов и общая энергия докннга (C4H9)2CrCSSHStrAu2S.

Таблица №1

(C4H9)2CrCSSHStrAu2S.							
Общая энергия ,эВ							
ALPHA SOMO LUMO ,эВ = -3529,-26174							
BETA SOMO LUMO эВ = -7,667 -0,781							
ALPHA SOMO LUMO эВ = -7,668 -1,416							
ATOM NO.	TYPE	CHARGE	No. of ELECS.	s-Pop	p-Pop	d-Pop	
5	Cr	0,549129	5,4509	0,39887	0,01827	5,03373	
6	C	-0,242510	4,2425	1,23954	3,00297		
7	S	0,054367	5,9456	1,86558	3,99341	0,08664	
8	S	-0,065101	6,0651	1,92606	4,03589	0,10315	
9	Au	0,024846	10,9752	1,06479	0,05624	9,85413	
10	S	-0,363616	6,3636	1,92361	4,42823	0,01177	
11	Au	0,026444	10,9736	1,02938	0,05001	9,89417	
13	C	-0,439421	4,4394	1,05206	3,38736		
16	H	0,154031	0,8460	0,84597			

Заряд Au2S несет положительный золота Au и отрицательный S. За счета переноса плотности электронов на атом S, один атом S заряжен положительно.

В таблице №2 приведены величины ПОАС.

Таблица №2

Величины ПОАС

Энергия (1)	Комплекс (2)	Минерал (3)	Собиратель (4)	Сумма 4 Σ (3+4)	ПОАС, эВ ΔE (2)-(3+4)
(C4H9)2CrCSSHStrAu2S					
	-3529,-26174	1546,05010	1983,83773	3529,88783	ПОАС, эВ +0,62609
(C3H7)2FeCSSHStr-Au2S3					
	3714,81741	1899,73649	1814,27033	3714,00682	ПОАС, эВ -0,81059
C4H9OVSSHStrAu2Te3					
	-3535,-58452	2132,30500	1401,53700	3533,842	ПОАС, эВ -1,74252
Au-3Pr1SSb (C2H5)2					
	-3977,-96860	682,05025	3x1112,53335 3293,82	3975,87 (-43,78)	ПОАС, эВ -2,0983

Параметры реагентов представлены в таблице 3 и 4.

Таблица 3

(C4H9)2CrCSSH							
Общая энергия, эВ = -1983,83773							
ALPHA SOMO LUMO (эВ) = -7,913 -0,317							
BETA SOMO LUMO (эВ) = -7,480 0,315							
ATOM NO.	TYPE	CHARGE	No. of ELECS.	s-Pop	p-Pop	d-Pop	
5	Cr	0,570788	5,4292	0,36546	0,01744	5,04632	
6	C	-0,482455	4,4825	1,11794	3,36451		
7	S	-0,001264	6,0013	1,84889	3,95446	0,19792	
8	S	-0,097137	6,0971	1,89735	4,07864	0,12116	
10	C	-0,434880	4,4349	1,05222	3,38266		
12	C	-0,432538	4,4325	1,05165	3,38089		
13	H	0,162440	0,8376	0,83756			

Таблица 4

C4H9OVSSH							
Общая энергия, эВ = -1401,53700 эВ							
ALPHA SOMO LUMO (эВ) = -8,291 -1,334							
BETA SOMO LUMO (эВ) = -8,858 -1,485							
ATOM NO.	TYPE	CHARGE	No. of ELECS.	s-Pop	p-Pop	d-Pop	
3	O	-0,514171	6,5142	1,71121	4,80296		
4	V	0,673867	4,3261	0,47660	2,93283		
5	S	-0,421960	6,4220	1,84601	4,49963	0,07632	
6	S	-0,314626	6,3146	1,90320	4,39847	0,01295	
7	C	-0,240731	4,2407	1,05381	3,18692		
8	C	-0,436410	4,4364	1,05169	3,38472		
9	H	0,156376	0,8436	0,84362			

Выводы

Виртуально созданы собиратели с необычным координационным центром. Рассмотрены параметры структуры соединения. Анализируются благоприятные условия для взаимодействия с собирателем на основе Fe,V Cr. Исследуемые собиратели закрепляются более предпочтительно на исследованных сульфидных минералах золота.

Список литературы

1. Баратова З.Р., Соложенкин П.М., Семенов Е.В. Изучение методом ЭПР комплексообразования Mo(V) , V(IV) , Mn(II) , Cr(III) с диметилдитиоарсенатом калия. Докл АН СССР. 1977. т.236. №5. 1137-1139.

2. Baratova Z.R., Semenov E.V., Solozhenkin P.M. Study of complexes of VO(IV) , Cr(III) , MoO with demethylthioarsenate potassium by ESR method. Pro. XXI Intern. conf. on coord.chem. Tulusa, France, 1980, p.175.

3. Baratova Z.R., Semenov E.V., Solozhenkin P.M., Prabhanada B.S. ESR of mixed-ligand complexes of oxovanadium (IV) with demethylthioarsenate as one of the ligands. In : Proceedings of the 1-st Soviet-Indian Symposium on Actylal problems of Magnetic Resonance Spectroscopy of Inorganic materials 29 September-2 October 1982. Dushanbe.

РАЗРАБОТКА ФЛОТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДОИЗВЛЕЧЕНИЯ ХРОМА ИЗ ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТОВ

Янгитилавова Б.Н.¹, Аггибаева Д.Н.¹, Имекешова М.А.²,
Тусбаев Б.Н.³

¹ Филиал РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан»
Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханообр»,
г. Алматы, Республика Казахстан

² Донской горно-обогатительный комбинат АО «ТНК» Казхром»,
г. Актобе, Республика Казахстан

³ ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG»,
г. Нур-Султан, Республика Казахстан

Резюме. Проведены исследования на лежалых шламовых хвостах Донского ГОКА. Разработанная флотационная схема прошла апробацию на опытной обогатительной фабрике ГНПОПЭ «Казмеханообра» производительностью 50 кг/час. В полупромышленных условиях получен хромовый концентрат с содержанием Cr_2O_3 – 43,19% при извлечении 69,28% и выходе 46,76%.

Переработка рудного сырья неизбежно сопровождается образованием огромного количества отходов. На многих предприятиях они не используются, нанося серьезный вред окружающей среде. Создание новых технологий для переработки отходов производства является важным направлением, обеспечивающее экономии первичного сырья и защиту окружающей среды от загрязнения [1].

В процессе гравитационного обогащения хромовых руд на обогатительных производствах образуются хромосодержащие отходы, содержащие окиси хрома – Cr_2O_3 в которых может достигать 30% и выше.

На основании литературного обзора по технологиям обогащения хромитовых руд различных месторождений, установлено:

- обогащение богатой крупнокусковой хромовой руды крупностью 300-10 мм эффективно гравитационными методами – разделение в тяжелых средах и отсадка;
- обогащение материала крупностью 10-3 и 3-0,5 мм эффективно гравитационными методами- отсадка и винтовая сепарация.

Основные потери полезного минерала связаны с труднообогатимым классом -0,040+0 мм.

Целью данной работы является снижение потери Cr_2O_3 в шламовых хвостах за счет доизвлечения его методом флотации.

Исследования проводили на лежалых шламовых хвостах при содержании Cr_2O_3 –29,15%; $\text{Fe}_{\text{общ}}$ –9,23%; SiO_2 – 16,79%; Al_2O_3 – 5,37%; MgO – 24,65%; CaO – 0,50%; Na_2O – 9,45%; K_2O – 0,84%; $\text{S}_{\text{общ}}$ – 0,12%; P – 0,01%; ППП – 8,88%.

Основным полезным минералом в шламовых хвостах является хромшпинелид. Порообразующие минералы представлены кварцем, глинами, доломитом и кальцитом.

Гранулометрическая характеристика шламов класса крупности минус 2+0 мм, показывает, что с уменьшением крупности классов повышается содержание Cr_2O_3 :

- выход класса минус 2+0,071 мм составляет 28,64% при содержании в нем Cr_2O_3 – 20,835% и распределении 21,09%;
- выход класса минус 0,071+0 мм составляет 69,45% при содержании в нем Cr_2O_3 - 31,96% и распределении 78,43%.

Проведены исследования на классе минус 0,071+0 мм без обесшламливания.

Хромиты флотируются анионными собирателями типа карбоновых кислот, алкилсульфатами в кислой среде и катионными собирателями [2].

В лабораторных условиях апробированы различные схемы и реагентные режимы на материалах разных классов крупности с применением известных собирателей: олеата натрия, Flotinor 2711 и реагента DIZ (на реагент DIZ подана заявка на патент). Установлено, что наиболее эффективным собирателем для флотации шламовых хвостов является реагент DIZ. По результатам лабораторных исследований для пилотных испытаний рекомендована схема, приведенная на рисунке 1. В таблице 1 приведены результаты испытаний.

ЗОЛОШЛАКОВЫЕ ОТВАЛЫ – ИСТОЧНИК СЫРЬОВОЙ БАЗЫ РОССИИ. ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ

Будина Т.С., Курбанов Н.Х.

*Российский государственный геологоразведочный университет
им. С. Орджоникидзе*

Со второй половины XX века ученые и эксперты стали проводить оценку промышленным отходам и вовлекать их в переработку. Постепенно в научную сферу вошел термин «месторождения техногенного сырья» («техногенные месторождения»). В XXI веке сокращение легкодоступного природного сырья усиливают значение вовлечения в промышленное производство техногенных ресурсов. Поэтому проблема эксплуатации техногенных месторождений становится актуальной как никогда как в России, и во всем мире [3]. Техногенное сырье представляет собой колоссальный резерв минерально-сырьевой базы нашей страны.

Использование техногенных месторождений позволит поддерживать требуемый уровень производства в различных отраслях промышленности даже при снижении добычи минерального сырья. По оценкам специалистов, при условии полного вовлечения в хозяйственный оборот полезных компонентов техногенного сырья объем производимой в России продукции в денежном выражении мог бы увеличиться на 10 трлн. руб. Это дало бы бюджету страны 300 млрд. руб. или 20 млрд. руб. в год [1].

В настоящее время 172 угольные электростанции в РФ сжигают в год более 123 млн т твердого топлива (уголь), образуя золу-уноса и золошлаковые отходы (ЗШО). Их общий накопленный объем составляет до 1,7 млрд. т с ежегодным приростом до 30 млн т. Общая площадь, занимаемая отвалами, составляет около 28 тыс. га [4].

Большинство ЗШО полигонов находится в населенных пунктах или в непосредственной близости к ним, загрязняя воздух, водоёмы, грунтовые воды, разрушают ландшафт, полигоны ЗШО занимают полезные территории. Поэтому задача крупнотоннажной и экономически эффективной переработки ЗШО с целью решения экономической и экологической проблемы, крайне актуальна.

При этом химический состав данной группы отходов представлен широким спектром полезных компонентов, в том числе драгоценными (золото, серебро, платиноиды) и редкоземельными элементами в промышленно значимых концентрациях, а минералогия такова, что эти отходы могут являться ценным сырьем для различных отраслей промышленности.

Химический состав золошлаковых отходов представлен в Таблице 1.

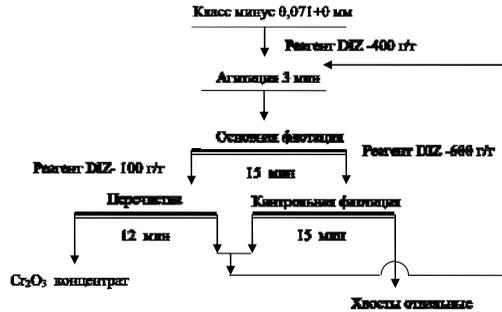


Рис. 1. Схема испытаний лежалых хромовых хвостов на опытной обогатительной фабрике

Таблица 1 – Результаты испытаний лежалых хромовых хвостов на опытной обогатительной фабрике

Продукты	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Cr ₂ O ₃	Fe _{общ}	Cr ₂ O ₃	Fe _{общ}
Хромовый концентрат	46,76	43,19	7,74	69,28	39,33
Хвосты отваловые	53,24	16,82	10,53	30,72	60,67
Исходное питание	100,0	29,15	9,23	100,0	100,0

Из данных, представленных в таблице 1, следует, что при флотации шламовых хвостов получены:

- хромовый концентрат с содержанием Cr₂O₃ 43,19% и Fe_{общ} 7,74% при извлечении Cr₂O₃ 69,28% и Fe_{общ} 39,33%;
- отваловые хвосты с содержанием Cr₂O₃ 16,82% и Fe_{общ} 10,53%. Потери с хвостами составляют Cr₂O₃ 30,72%.

Таким образом, флотация позволяет снизить содержание Cr₂O₃ в шламовых хвостов на 12,33% (с 29,15% до 16,82%).

Список литературы

1. Шубов Л.Я., Ройзман В.Я., Дуденков С.В. Обогащение твердых отходов, – М.: Недра, 1987.

Таблица 1 – Химический состав ЗШО, %.

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O
44-48	23-34	4,8-12	2,6-3,5	0,5-0,7	0,03-1,3	0,5-2,3	0,06-0,15



Фото 1. Образец золы-уноса и золошлаковый отвал в Тульской обл.

Из данных в таблице видно, что ЗШО могут заменять такие природные материалы как глину, песок, щебень и т.п. в производстве цемента, различных строительных материалов. Минералогический и химический состав промышленных отходов предопределяет универсальность их применения так же в промышленном производстве (керамика, пеностекло) дорожном строительстве, сельском хозяйстве. Существует более 300 различных технологий использования золошлаковых отходов.

Один из проектов по переработке ЗШО представлен компанией ООО «SAITEX». Компания имеет положительный опыт практической реализации проектов по переработке промышленных техногенных отходов, в том числе золошлаковых. Компания разработала и внедряет в промышленное производство технологию производства пеностекла из золы уноса, образующейся на ТЭЦ. Пеностекло SAITEX – теплоизоляционный материал нового поколения, представляющий собой вспененное стекло. Для изготовления пеностекла используется способность силикатных стёкол размягчаться и (в случае наличия газобразователя) пениться при температурах $\sim 1000^\circ\text{C}$. Пеностекло это – стеклянная пена, ячеистый неорганический утеплитель нового поколения. Оно экологически безопасно. Его можно использовать в строительстве и при производстве различных строительных материалов. Его преимущества: огнестойкость, негорючесть, устойчивость к воздействию воды, химической и биологически активной среды, прочность, надежность и долговечность эксплуатации. Применение пеностекла позволяет отказаться от экологически опасных теплоизоляционных материалов: асбеста или пенопласта, полиуретана, пенополистирола и недолговечных минеральных плит [6].

250

К сожалению, производится товарной продукции с использованием ЗШО пока что очень мало, главным образом из-за отсутствия нормативно-правовой базы, принятой на уровне государства и технологий, обеспечивающих экономическую эффективность, крупнотоннажную переработку и экологическую безопасность этого вида отходов. Хотя рынок ЗШО в России мог бы составить 30-35 млн т. в год. Необходима господдержка и экономическое стимулирование организаций, использующих отходы [5].

Решение данной проблемы возможно через разработку и внедрение технологий комплексной переработки ЗШО, включающих химические, экономически эффективные технологии извлечения ценных компонентов (драгметаллы, редкоземельные металлы, недожог, микросферы, железосодержащий концентрат) и крупнотоннажные технологии производства строительных и дорожных материалов. Разработка таких технологий и практическое подтверждение их экономической рентабельности позволит создать научно-технологическое обоснование для создания производств инновационного, высокотехнологичного профиля и перевода предприятий теплоэнергетики на малоотходный, экологически безопасный режим работы.

К 2035 году в России планируется перерабатывать не менее 50% образованных при сжигании ЗШО [2]. В настоящее же время эта цифра не превышает 8,5-10%. При этом мировой опыт свидетельствует о широком спектре возможного использования ЗШО: Китае уровень утилизации ЗШО составляет 45%, Индии – 50%, США – 70%, Японии – 97%, в Германии – 100%.

В настоящее время ГРЭС и ТЭЦ готовы предоставлять отходы для переработки на безвозмездной основе, а также поставлять энергию по льготным ценам. Но эффективность утилизации ЗШО возможна при долгосрочном спросе, который может быть сформирован в рамках государственной политики в области использования техногенных отходов, в том числе стимулирования вовлечения золошлаковых отходов в сырьевой баланс страны с целью обеспечения экономического роста при соблюдении экологического равновесия и социальной ответственности бизнеса.

Список литературы

1. Государственный доклад об охране и о состоянии окружающей среды Российской Федерации в 2016 году. М.: Минприроды России, НИА – Природа. 2017, 760 с. URL: <http://www.mnr.gov.ru/docs/o-sostoyanii-i-obokhane> (Дата обращения 02.08.2021).
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 9 июня 2029 г. № 1523-р. Об Энергетической стратегии РФ на период до 2035 г. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74148810/> (дата обращения 02.08.2021).

251

3. Будина Т.С. «Циркулярная экономика. Золошлаковые отходы как ценный ресурс России: нерешенная проблема». В сборнике: «Актуальные проблемы недропользования» 18-й Всероссийской конференции-конкурсе студентов и аспирантов, 2020, г. Санкт-Петербург.

4. Будина Т.С., Курбанов Н.Х., Прокофьева Л.М. «Золошлаковые отходы как заменитель природного материала и экономическая выгода». В сборнике: Новые идеи в науках о Земле Материалы XIV Международной научно-практической конференции. В 7-ми томах. 2019. С.48-51.

5. Будина Т.С., Курбанов Н.Х., Прокофьева Л.М. Использование золошлаковых отходов: российский опыт // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2019. №1. С.61-64.

6. О компании SAITAX- URL: saitax.ru (дата обращения 18.08.2021)

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ФЛОКУЛЯНТОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОДАХ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Лавриненко А.А., Кунилова И.В., Гольберг Г.Ю.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Резчикова П.С., Комарова С.Г.

*Российский химико-технологический университет
им. Д.И. Менделеева (РХТУ)*

Синтетические полимерные флокулянты находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности, в том числе в обогащении полезных ископаемых. В то же время задача оптимизации расхода флокулянтов до конца не решена. Чрезмерный расход флокулянтов в технологических процессах ведет к увеличению себестоимости продукции, снижению качества концентрата и другим неблагоприятным последствиям. Одним из важнейших условий оптимизации расхода флокулянтов является разработка надежных методов инструментального контроля малых концентраций флокулянтов в технологических водах обогажительных предприятий. Создание таких методов позволит свести к минимуму неоправданные потери флокулянтов при сохранении высокой эффективности процесса разделения суспензий с применением флокулянтов.

В настоящее время в зарубежной практике получает распространение флуоресцентный метод определения концентрации флокулянтов в воде, основанный на образовании флуоресцентных комплексов при

добавлении к флокулянтам определенных реагентов. Чувствительность данного метода ориентировочно на уровне нескольких мг/л ($г/м^3$). В то же время, остаточная концентрация флокулянтов в технологических водах обогажительных фабрик находится на уровне нескольких мг/м³ (мкг/л), и это обуславливает необходимость разработки более чувствительных методов. С учётом того, что оптические свойства дисперсных систем могут существенно изменяться в присутствии весьма малого количества флокулянта (менее 1 мг/л), есть основания полагать, что перспективным может быть способ выявления малых концентраций флокулянта, основанный на определении оптических свойств окрашенных водных суспензий, например, нефелометрия. Для приготовления таких суспензий целесообразно использовать цветные или белые пигменты с крупностью частиц от 1 до 10 мкм. Крупность свыше 10 мкм нежелательна, так как суспензии таких частиц являются седиментационно неустойчивыми. Крупность частиц менее 1 мкм также нежелательна, поскольку такие частицы флокулируются по перикинетическому варианту. В результате характерное время флокуляции может составлять несколько десятков минут, что значительно превышает характерное время измерения.

Измерение оптических свойств суспензии пигментов целесообразно осуществлять в проточных ячейках: для суспензий цветных пигментов представляется целесообразным спектрофотометрический метод, а для белого пигмента (например, $CaCO_3$) – нефелометрический метод.

Предлагаемый способ основан на измерении концентрации флокулянтов в суспензиях. Схема с автоматическим уравновешенным мостом сравнивает сигналы от двух измерительных ячеек, в которых определяется оптическая плотность двух суспензий:

- суспензия сравнения, приготовленная из пигмента с крупностью частиц 1-10 мкм;
- исследуемая суспензия, содержащая тот же пигмент и ту же концентрацию, но с добавлением фильтра или слива суспензий, в которых могут содержаться флокулянты при отсутствии других твердых частиц.

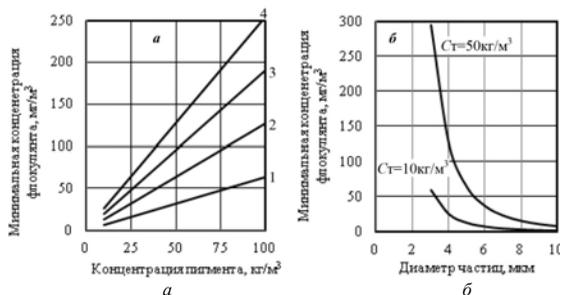
При наличии в исследуемой суспензии флокулянтов происходит агрегация частиц пигмента. Следовательно, оптические свойства суспензии изменяются, и возникает дисбаланс сигнала от этих измерительных ячеек. Этот сигнал фиксируется измерительным мостом и может использоваться для регулирования расхода флокулянтов в технологических процессах.

Для оценки чувствительности предложенного метода был выполнен теоретический анализ с целью определения минимальной концентрации

флокулянта (C_{Φ}) обеспечивающей агрегацию всех частиц пигмента, в зависимости от его концентрации (C_T), диаметра (d) и плотности (ρ), молярной массы флокулянта (M). В результате, с учётом известной формулы для определения расстояния между частицами в суспензии и ориентировочного количества макромолекул флокулянта, необходимого для агрегирования частиц в известном объёме, была получена следующая формула:

$$C_{\Phi} = \frac{1,4 \cdot 10^{-25} M C_T}{\pi r d^3}, \text{ кг/м}^3$$

На рисунке представлены результаты расчётов значения C_{Φ} по вышеприведенной формуле для водной суспензии CaCO_3 ($\rho=2800 \text{ кг/м}^3$): (а) – в зависимости от C_T для $d=5 \text{ мкм}$ в присутствии флокулянтов со значениями M , равными 5, 10, 15 и 20 млн кг/кмоль; (б) – от d при $M=10 \text{ млн кг/кмоль}$, $C_T=10$ и 50 кг/м^3 .



а – зависимость C_{Φ} от C_T ; **б** – зависимость C_{Φ} от d
 1–4 – значение M составляет соответственно
 5, 10, 15 и 20 млн кг/кмоль

Рис. Расчётные зависимости для определения минимальной концентрации флокулянта

Из представленных расчетных данных видно, что в диапазоне значений концентрации пигмента от 10 до 100 кг/м^3 значения минимальной концентрации флокулянта в данной суспензии возрастает монотонно от приблизительно 10 до 250 мг/л^3 (рисунок (а)). С увеличением диаметра

частиц значение C_{Φ} уменьшается, причём для частиц с $d>5 \text{ мкм}$: $C_{\Phi}<50 \text{ мг/л}^3$ (рисунок (б)). Для уточнения полученных расчетных данных планируется выполнить экспериментальные исследования по определению оптической плотности водной суспензии цветного или белого пигмента с крупностью частиц 1-10 мкм в зависимости от концентрации пигмента и концентрации флокулянтов.

Таким образом, теоретически показана возможность определения в осветлённой воде обогатительных фабрик концентрации флокулянтов порядка 100 мг/л^3 и менее.

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ЖЕЛЕЗОМАНГАНЦЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОЕ

Лаврик А.В., Лаврик Н.А., Рассказова А.В.

Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск

В статье представлены результаты исследования минерализации золота во вмещающих породах месторождения Поперечное (Южный Хинган). Сокращенным минералогическим анализом на благородные металлы шлихов гравитационного обогащения различных типов вмещающей породы выявлено золото в среднем $0,7 \text{ г/т}$. Размерность зерен до $0,2 \text{ мм}$, основной состав – золото с примесью серебра. Электронно-микроскопические исследования шливовой фракции (после отбора видимых зерен) позволили установить наличие свободных зерен золота в среднем $40-50 \text{ мкм}$ с примесью серебра и алюминия. Химический анализ хвостов гравитационного обогащения показал содержание тонкодисперсного золота с примесью серебра до $1,31 \text{ г/т}$. Установлена размерность ценного компонента в хвостах в пределах $30-100 \text{ мкм}$.

Железоманганцевые руды, золото, благороднометалльная минерализация, электронно-микроскопическое исследование, вмещающие породы, шлик.

Введение

Железородные месторождения являются одним из важнейших потенциальных нетрадиционных источников благородных металлов [1-3]. На Дальнем Востоке одним из золото-платиносодержащим железорудным месторождением является месторождение Поперечное (Южно-Хинганский рудный узел).

Южно-Хинганский рудный узел, занимающий площадь около 400 кв. км находится в Еврейской автономной области. Рудоносная

структура прослеживается в субмеридиональном направлении на 54 км при ширине 6-8 километров. Наиболее подготовленным для освоения является месторождение Поперечное. Протяженность основного рудного тела составляет 2400 м при средней мощности 3,2 метра и содержания марганца 20,4 %. Промышленно значимыми на марганец признаны гематит-браунитовые и гаусманит-родохрозитовые руды. [4-5].

Рудовмещающими породами являются известняки, доломиты и сланцы хинганской толщи (верхний протерозой) и известняки лондоковской свиты (нижний кембрий). Осадочные породы прорваны массивом гранитоидов биробиджанского комплекса, а также дайками диабазов.

Фактический материал и методы исследований

Из kernового материала пяти скважин (глубиной 31-85 м) по одному профилю железомарганцевого месторождения Поперечное были отобраны точечные пробы из двух типов руд (гематит-браунитовому и магнетитовому) и вмещающих пород (известняки, доломиты, углистые сланцы). Пробы дробились до 1 мм и материал, без применения магнитной сепарации, подвергался гравитационному обогащению.

Пробоподготовка осуществлялась с использованием современного оборудования Fritsch (щекковая дробилка Пульверизетте 1; вибрационный грохот Анализетте 3, делитель проб Лаборетте 27, ультразвуковая ванна для чистки сит Лаборетте 17).

Далее проводился сокращенный минералогический анализ шлихов на монофракции благородных металлов. Качественный минералогический анализ проб и сокращенный минералогический анализ на благородные металлы проводился с использованием бинокуляров и микроскопов Stemi 2000, StereoDiscovery V8, фирмы ZEISS.

Детальное изучение выделенных зерен благородных металлов и тонкодисперсных частиц ценного компонента проводилось на сканирующем электронном микроскопе «JEOL» (Япония), оснащенном энергодисперсионным анализатором «JCM-6000 PLUS». Ускоряющее напряжение 15 kV; зондирующий ток 7,475 nA; увеличение до 3000.

Для количественной оценки содержания золота, в исходных материалах и продуктах обогащения применялся атомно-абсорбционный спектрофотометр ААС-7000, ААС – 6200.

Результаты исследований

В ранее опубликованных статьях [6-8] большее внимание уделялось платине, выделенной из руд железомарганцевого месторождения Поперечное.

При выполнении исследований по выявлению благороднометалльной минерализации сокращенным минералогическим анализом шлихов гравитационного обогащения выявлены зерна золота в гематит-брауни-

товых и магнетитовых рудах до 1,38 г/т. Анализ хвостов гравитационного обогащения рудного материала показал до 0,9 г/т золота. Различность потеранных в результате гравитационного обогащения зерен, в основном в пределах 30-100 мкм. Детализация состава зерен благородных металлов в магнетитовом типе руды позволила установить в золоте примесь серебра до 20 %.

Химический анализ шлиха руды магнетитового типа (после отбора из него видимых зерен золота) показал содержание золота по разным классам крупности до 0,1 г/т.

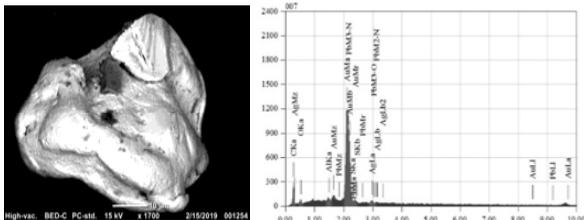
В настоящей работе отражены результаты одного из этапов исследований – выявление золота во вмещающих породах месторождения Поперечное. Состав вмещающих пород: известняки с включениями пирита; серые известняки доломитизированные с включениями пирита и единичными выделениями магнетита, циркона, халькопирита; углистые сланцы с вкраплениями магнетита, кварца с магнетитом, пирита, арсенопирита.

По результатам сокращенного минералогического анализа шлихов гравитационного обогащения содержание золота во вмещающих породах: известняки – 0,7 г/т; известняки доломитизированные – 0,67 г/т; углистые сланцы – 0,79 г/т.

Был проведен химический анализ хвостов гравитационного обогащения. Содержание золота в хвостах вмещающих пород: известняки – 0,46 г/т; известняки доломитизированные – 1,31 г/т; углистые сланцы – 0,54 г/т.

Размеры зерен, особенности форм и состав золота являются важными факторами при разработке технологии обогащения.

Средний размер зерен золота в шлихах вмещающих пород 40-60 мкм. Форма зерен золота различна: дендритовидные, шарообразные, кристаллы и сростки в виде октаэдров, пластинчатые, комковатые, вытянутые. Практически все золото содержит примесь серебра и алюминия. Редко встречается чистое золото. Содержание серебра в среднем до 20 % (электрум), алюминия до 10 % по массе. Было отмечено зерно золота с содержанием серебра 41 % по массе (кюстелит) Также в качестве примесей встречаются: Fe, S, Pb, Cu, Cd, кадмистое серебро, галенит, пирит. В зернах золота присутствуют различные включения: кристаллы кварца, магнетит, доломит, пирит, галит, кристаллы гранатов (пироп, альмандин), интерметаллидные алюминий-железо-хромовые образования, ангидрит, пироксены, амфиболы.



Содержание, %	
Масс.:	Атом.:
Au – 84,19	Au – 70,27
Ag – 3,03	Ag – 4,6
Al – 0,86	Al – 5,24
Pb – 9,52	Pb – 7,56
S – 2,38	S – 12,27

Рис. 1. Зерно золота (55 мкм) комковатой формы (с элементами граней кристаллов) с примесью галенита (12 % по массе) и алюминия (0,86% по массе) . Включение – кристалл пирита (10 мкм)

Выводы

По результатам исследований благороднометаллической минерализации железомарганцевого месторождения Поперечное содержание золота в рудах – до 1,38 г/т; во вмещающих породах – от 0,67 до 1,31 г/т. Кроме гравитационных зерен золота во вмещающих породах отмечается также золото, которое выделено при электронно-микроскопических исследованиях. По составу золото, преимущественно, с примесью серебра. В качестве примесей вариативно могут присутствовать Al, Fe, Cu, Pb, Cd, а также галенит, пирит, кадмистое серебро. В зернах золота отмечаются вставки кварца, пироксенов, амфиболов.

Таким образом, при определении железомарганцевого месторождения Поперечное как комплексного – с благороднометаллической минерализацией – рудное поле в значительной степени расширяется, охватывая вмещающие карбонатные породы и сланцы, которые при разработке железомарганцевых руд уходят в отвалы.

Список литературы

1. Шер С.Д. Металлогения золота (Сев. Америка, Австралия-и Океания). – М.: Недра, 1972. – 159 с.
2. Шер С.Д. Металлогения золота (Евразия, Африка, Ю.Америка). – М.: Недра, 1974. – 256 с.

3. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Чердникова О.И. Металлогения платиноидов крупных регионов России. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001. – 302 с.

4. Невструев В.Г., Литвинова Н.М., Бердников Н.В., Степанова В.Ф. Типоморфизм и генезис платиноидов в породах и рудах железомарганцевого месторождения Поперечное (Малый Хинган, Россия) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № S21. – С. 486-492.

5. Крюков В. Г., Литвинова Н.М., Лаврик Н.А., Степанова В.Ф. Определение минеральных форм благородных металлов в железомарганцевых месторождениях Дальнего Востока России // Обогащение руд, № 4 (370). – 2017. – С. 42-48.

6. Бердников Н.В., Невструев В.Г., Саксин Б.Г. Генетические аспекты благороднометаллической минерализации на месторождении Поперечном (Малый Хинган, Россия) // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36, № 6. С. 43-57.

7. Ханчук А.И., Рассказов И.Ю., Крюков В. Г., Литвинова Н.М., Саксин Б.Г. О находке промышленной платины в рудах Южно-Хинганского месторождения марганца // Доклады Академии наук. – 2016. – Т. 470, № 6. – С. 1-3.

8. Lavrik N., Litvinova N., Aleksandrova T., Stepanova V., Lavrik A. Platinum mineralization comparative characteristics of some Far East deposits // E3S Web of Conferences, 56 04017 (2018) VII International Scientific Conference «Problems of Complex Development of Georesources».

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Копылова А.Е., Прохоров К.В.

Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН

Переработка техногенного сырья и упорных золотосодержащих руд осуществляется как правило методами выщелачивания, поскольку материал характеризуется сложным вещественным составом, мелкими размерами рудообразующих минералов, присутствием значительной доли окисленных форм минералов. [1,2]. Однако, сложности извлечения благородных металлов в раствор обусловлены их внутрикристаллическими формами нахождения: их частицы субмикронной размерности заключены в сульфидную матрицу в виде «тонкой» эмульсионной вкрапленности или присутствуют в ней в химически связанном состоянии с кластерным и даже атомарным уровнем дисперсности[3]. Такие сложно извлекаемые формы нахождения золота требуют особого подхода к его извлечению с использованием специальной техники и технологий.

Технологии кучного выщелачивания металлов на сегодняшний день являются наиболее привлекательными с точки зрения вопросов экологии и экономики. Однако, совершенствование существующих методов переработки вторичного сырья так же остаются актуальными и могут использоваться для предварительного концентрирования минералов-носителей из хвостов флотационного или гравитационного обогащения измельченного минерального сырья перед кучным или кюветным выщелачиванием. Снижение экологической нагрузки возможно за счёт уменьшения объемов материала, идущего на выщелачивание, вследствие чего, снижается расход используемых токсичных реагентов.

Процесс электрофлотации является эффективной альтернативой для концентрации (извлечения) мелких частиц с применением пузырьков водорода и кислорода размером менее 100 мкм [4]. В процессе электролиза пульпы возможно решить несколько технологических задач: влиять на адсорбцию собирателей и взаимодействие с другими компонентами, изменить физико-химические параметры поверхности минерала за счет окислительных процессов, направленно регулировать окислительно-восстановительные свойства минералов и водной среды [5,6].

Таким образом, при использовании электрохимической обработки пульпы техногенных минеральных образований, с целью предконцентрации материала перед процессами выщелачивания возможно решить задачи усовершенствования процесса извлечения благородных металлов и снижения нагрузки на природные экосистемы.

Материал исследования. Для проведения эксперимента использовались хвосты флотационного обогащения золотокварцевой руды с месторождения Киранкан по стандартной схеме. Полученные хвосты предварительно доизмельчались до крупности 92% класса 74 мкм. По результатам входного анализа материал характеризуется следующими содержаниями ценных компонентов: золото Au – 1,15 г/т, серебро Ag – 1,43 г/т.

Описание эксперимента. Проведена серия опытов с применением различных схем флотационного обогащения техногенного материала – хвостов классической флотации золотокварцевой руды. Опыт по стандартной схеме проводился в камере флотационной машины ФМЛ-1, V = 500 мл с использованием следующего реагентного режима: собиратель – ксантогенат бутиловый р-р 0,1% – 25 г/т, вспениватель – сосновое масло конц. 40 г/т, депрессор силикатной составляющей – жидкое стекло 100 г/т, регулятор среды – NaHCO₃ – 0,05 моль/л. По схеме концентрат не подвергался пересортичным операциям, время флотации составило 8 минут.

Электрофлотация проводилась в колонне объемом 500 мл, пульпа перемешивалась с помощью магнитной мешалки, реагентный режим флотации соблюдался в соответствии со стандартной схемой. На дно флотоэлектроколонны были установлены два сетчатых электрода.

Серия опытов по комбинированной флотации хвостов проводилась в камере флотомашин, на дне которой были установлены сетчатые электроды. Реагентный режим флотации идентичен предыдущим опытам.

Результаты всех экспериментов представлены в таблицах 1 и 2 средними значениями, рассчитанными по результатам трех проведенных параллельных опытов.

Таблица 1 – Результаты извлечения золота

Продукт	Извлечение золота ε, %		
	Стандартная флотация	Электрофлотация в колонне	Комбинированная флотация
Концентрат	48,46	34,87	39,75
Хвосты флотации	51,54	65,13	60,25

Таблица 2 – Результаты извлечения серебра

Продукт	Извлечение серебра ε, %		
	Стандартная флотация	Электрофлотация в колонне	Комбинированная флотация
Концентрат	39,38	41,53	37,87
Хвосты флотации	60,62	58,47	62,13

Проведенный фазовый анализ на содержание форм благородных металлов показал, что большая часть из них (70-76%) в исходных хвостах содержится в виде сростков с рудными компонентами, исходя из чего можно сделать вывод о необходимости более тонкого измельчения флотационных хвостов для доизвлечения ценных компонентов методами электрофлотации.

Показатели извлечения серебра показывают положительные результаты при флотации во флотоэлектроколонне, что может быть связано с более высокой сорбционной активностью минералов-носителей серебра при использовании ксантогенатов в качестве собирателя. К тому же, фазовый анализ показывает, что серебра в свободной форме, содержится в 4,5 раза больше, чем золота и его тонкие формы извлекаются благодаря продуцированию пузырьков водорода и кислорода размером менее 100 мкм. Наименьшими показателями извлечения золота характе-

ризуются опыты с применением электрохимических воздействий на флотационную пульпу. СобираТЕЛЬ бутиловый ксантогенат при таком продолжительном цикле излишне окисляется продуктами электрохимического синтеза (электролитическим кислородом и перкарбонатом натрия). К тому же, окисляется среда флотационной пульпы, что приводит к окислению поверхности минералов (гидрофиллизации), содержащих золото и условие прилипания к пузырьку не выполняется.

Таким образом, для достижения цели извлечения золота, находящегося в сростках и дисперсных форм электрофлотационными методами, необходимо разрабатывать схему переработки, включающей предварительное тонкое измельчение материала, а также подготовку пульпы непосредственно перед процессами флотации. Предварительная подготовка материала поможет раскрыть «тонкое» золото, находящееся в сростках с силикатной составляющей, а предварительная электрохимическая подготовка флотационной пульпы, в свою очередь, позволит направлено кондиционировать среду по ОБП за счет регулирования параметров процессов анодного окисления и катодного восстановления.

Пробоподготовка, технологические и минералогические исследования, а также химический анализ проб выполнены на базе ЦКП «Центр исследования минерального сырья» ХФИЦ ДВО РАН.

Список литературы

1. Секисов А.Г., Рубцов Ю.И., Шевченко Ю.С., Лавров А.Ю., Трубачев А.И., Салихов В.С., Петухов А.А. Инновационные геотехнологии освоения труднообогатимого (упорного) минерального сырья // Вестник забайкальского государственного университета. – 2020 – № 1 – Т.26 – с. 52-59.
2. Рубцов Ю. И., Секисов А.Г., Рассказова А.В., Трубачев А.И., Салихов В.С., Лавров А.Ю., Размахнин К.К., Конарева Т.Г., Бочарников Ф.Н., Филденко Р. А. Исследование возможности кучного выщелачивания золота из хвостов свинцовой флотации новозиронинской обогатительной фабрики // Ученые заметки ТОГУ. – 2019 – № 3 – Т. 10 – с. 222-231.
3. PelinAltinkaya, JarmoMäkinen, PäiviKinnunen, EeroKolehmainen, MikaNaapalainen, MariLundström. Effect of biological pretreatment on metal extraction from flotation tailings for chloride leaching // Minerals Engineering. – 2018. – V. 129. – pp. 47-53.
4. Ronald Rojas Hacha, Mauricio Leonardo Torem, Antonio Gutiérrez Merma, Vanessa Figueiredo da Silva Coelho. Electroflotation of fine hematite particles with Rhodococcusopacus as a biocollector in a modified Partridge-Smith cel // Minerals Engineering. – 2018. – V. 126. – pp. 105-115.
5. Чантурия В.А., Вигдергауз В.Е., Теплякова М. В., Громова Н.К. Потенциостатическая обработка минеральных суспензий с целью регулирования их флотационных свойств // Электронная обработка материалов. — 1988. — № 2– с. 24-27.

6. Прохоров К.В., Копылова А.Е., Богомяков Р.В. Интенсификация извлечения золота при электрохимической обработке пульпы флотации медно-порфировых и золотокварцевых руд // Инновационные процессы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья (ПЛАКСИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2020)– 2020. – с.137-139.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИТНОГО РЕАГЕНТА ПРИ ФЛОТАЦИИ ОСНОВНЫХ МИНЕРАЛОВ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД

Гетман В.В., Каркешкина А.Ю.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования РФ № 13.1902.21.0018 (соглашение 075-15-2020-802)

Содержание молибдена в рудах крайне мало. Так, если процентная концентрация молибдена в руде достигает 1%, то такую руду принято считать богатой. На сегодняшний день известно порядка 20 минералов молибдена, из которых наиболее распространенными являются: молибденит (MoS₂), повеллит (CaMoO₄), молибдит (Fe(MoO₄)₃·nH₂O), а также вульфенит (PbMoO₄). Из указанных минералов наивысшая ценность принадлежит молибдениту, в котором концентрация металла максимальная – порядка 60%. В связи с высоким процентным содержанием молибдена, данный минерал выступает основным сырьем для получения ферромолибдена, которому отведена роль легирующего вещества, добавляемого к стали.

Российские месторождения характеризуются существенно более низким качеством руд, чем их зарубежные аналоги: среднее содержание молибдена в них составляет 0,04-0,1% при том, что за рубежом оно в 2-2,5 раза выше.

В молибденовых рудах в качестве сопутствующих компонентов встречаются сера, железо, медь, вольфрам, олово, свинец, цинк, висмут, золото, серебро, рений. Сера, кроме молибденита, связана главным образом с пиритом и другими сульфидами [1]. Медь содержится в медно-молибденовых рудах чаще всего в виде халькопирита.

Одной из наиболее важных проблем при обогащении медно-молибденовых руд является снижение потерь меди, молибдена и других ценных металлов с хвостами коллективной флотации [2]. Следовательно, поиск и применение новых реагентов с повышенными селективны-

ми свойствами позволит комплексно подойти к проблеме извлечения ценных компонентов при переработке медно-молибденовых руд.

На отечественных обогатительных фабриках в качестве собирателей медных минералов и молибденита в коллективном цикле применяют ксантогенаты и аполярные масла [3], а на зарубежных дитиофосфаты, диксантогениды (в виде эмульсии, полученной при окислении ксантогената в растворе гипохлоритом), минерек, аллиловый эфир амил-ксантогеновой кислоты и реагент Z-200.

В работе представлены результаты сравнительных испытаний традиционных реагентов, таких как керосин и бутлиловый ксантогенат калия (БКК) применяемых на отечественных фабриках, так и нового композиционного реагента (КР) на мономинеральных фракциях молибденита, халькопирита и пирита – основных ценных минералах Cu-Моруд.

Флотационные исследования проводились на мономинеральных фракциях крупностью $-0,1+0,063$ мм. Навеску минерала массой 1 г помещали в камеру флотомашинны объемом 25 мл и проводили обработку реагентами в течение 1 минуты, вспенивателем 0,5 минуты, время флотации – 1 минута. В качестве реагентов собирателей применяли керосин, БКК, смесь керосина и БКК, а также КР (тонкомультивированный раствор керосина с S-P-содержащим реагентом), вспениватель – сосновое масло. На рисунке 1 представлены сравнительные результаты мономинеральной флотации.

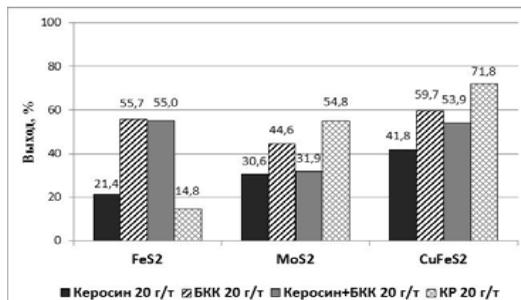


Рис. 1. Результаты сравнительной мономинеральной флотации пирита, молибденита и халькопирита при различных реагентных режимах

При применении керосина (20 г/т) отмечен невысокий выход пирита, молибденита и халькопирита (21, 10 и 41 %). При введении БКК как самостоятельного собирателя увеличивается флотуемость пирита до 55,7 %, молибденита до 44,6 % и халькопирита до 59,7 %. Резкое увеличение флотуемости пирита в дальнейшем отрицательно скажется на качестве коллективного концентрата. Совместное введение керосина и БКК (20г/т) снижает флотуемость молибденита и халькопирита (31 % и 54 %), при этом флотуемость пирита остается на высоком уровне (55 %). Применение КР (20 г/т) по сравнению с керосином, БКК и керосин+БКК позволяет увеличить выход молибденита и халькопирита до 54,8 % и 71,8 %, соответственно, при этом выход пирита снижается до 14,8 %.

Таким образом, предложенный реагент КР в качестве собирателя при флотации основных минералов медно-молибденовой руды (FeS₂, CuFeS₂ и MoS₂) позволит повысить качество коллективного медно-молибденового концентрата, и получить в дальнейшем высококачественный молибденовый и медный концентраты.

Список литературы

1. Изюитко В.М. Технологические особенности молибденовых руд // Горный журнал. – 1997. – №4. – С.20-24.
2. Natalia K. Algebraistova, Anna S. Markova, Ivan V. Prokopiev and Denis M. Kolotushkin Possible Methods Recovery of Metals from Flotation Tailings Copper-Molybdenum Ores Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 2016, 9(5), P. 724-730.
3. Богданов В.А., Попов В.И. Флотационные методы обогащения: учебник для вузов. 2-изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 2002. – 304 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЛУЧЕНИЯ ПИРИТНОГО ПРОДУКТА ИЗ ГРАВИТАЦИОННОГО КОНЦЕНТРАТА ПРИ ОБОГАЩЕНИИ РУД НОВО-ШИРОКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Зверева Н.В.*

Забайкальский государственный университет

На действующей обогатительной фабрике АО «Ново-Широкинский» рудник получают два готовых концентрата: свинцовый соответствующий ТУ 07.29.15-002-24722376-2018 и цинковый соответствующий

* Аспирант 4-го года обучения. Под руководством научного руководителя, доктора технических наук, профессора Мязина Виктора Петровича

ТУ 1725-001-24722376-2011. Данная работа направлена на изыскание технологической возможности получения пиритного концентрата с целью повышения комплексности использования сырья и повышения качества готовой продукции.

Ключевые слова: комплексные полиметаллические руды, флотационный метод обогащения, пиритный концентрат, лабораторные исследования.

Цель настоящей работы – оценка возможности эффективного разделения гравитационного концентрата на свинцовый и пиритный продукты в сернокислотном растворе.

Методика проведения опытов:

- Для проведения экспериментальных опытов использована установка, разработанная автором, предусматривающая подготовку заданной концентрации раствора серной кислоты и перемешивание твердого продукта в нем.

- Установка предусматривает нагрев раствора до температуры 70°C и последующее перемешивание пульпы в термостойкой емкости течение определённого времени.

- Из подготовленной пульпы отбираем малопорционную пробу и направляем в камеру флотационной машины ФЛ-240.

- Технологическая схема проведения экспериментов и основные режимные параметры представлена на рисунке.

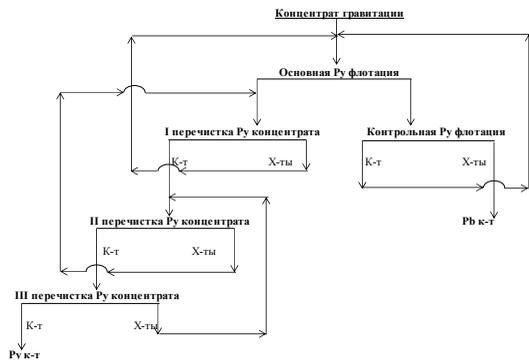


Рис. 1. Схема замкнутого цикла лабораторного опыта пиритной флотации

Время флотации основной, контрольной, первой перешистой, второй перешистой и третьей перешистой операций, мин: 4; 5; 5; 4 и 4, соответственно.

Гранулометрический состав исходного концентрата гравитации с распределением металлов по классам крупности приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты гранулометрического анализа концентрата гравитации

Класс крупности, мм	Выход, %	Содержание							
		Au, г/т	Ag, г/т	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Fe, %	As, %	Sb, %
+0,1	19,4	109,0	175,9	17,2	0,12	0,26	29,03	0,35	0,20
-0,1+0,071	36,0	33,1	89,5	5,6	0,19	0,20	27,87	0,36	0,16
-0,071+0,045	27,2	39,9	93,7	6,3	0,22	0,24	28,97	0,35	0,18
-0,045	17,4	147,0	144,7	7,0	0,29	0,27	29,61	0,38	0,22
Итого	100	69,50	117,0	8,30	0,20	0,23	28,70	0,36	0,18

Продолжение табл. 1

Класс крупности, мм	Распределение, %							
	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	As	Sb
+0,1	30,4	29,2	40,3	11,83	21,57	19,63	19,20	20,72
-0,1+0,071	17,1	27,5	24,5	33,09	30,54	34,96	35,81	31,61
-0,071+0,045	15,6	21,8	20,5	29,99	27,51	27,46	26,73	26,57
-0,045	36,8	21,5	14,8	25,09	20,38	17,95	18,26	21,10
Итого	100	100	100	100	100	100	100	100

В концентрате гравитации выход суммарного класса -0,071 мм составил 44,6 %. Распределение свинца, цинка, серебра и золота в суммарный класс -0,071 мм в процентах (%) составляет: 35,24; 55,06; 43,29 и 52,42, соответственно.

Баланс металлов от флотационного опыта в замкнутом цикле указан в табл.2.

Таблица 2 – Баланс металлов пиритной флотации в замкнутом цикле

Наименование	Выход %	Содержание							
		Au, г/т	Ag, г/т	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Fe, %	As, %	Sb, %
К-т пиритный	89,7	44	56	2,2	0,2	0,2	29,7	0,4	0,2
к-т свинцовый	10,3	291	647	60,9	0,3	0,4	20	0,0	0,1
питание	100	69,5	117	8,3	0,2	0,2	28,7	0,4	0,2

Продолжение табл.2

Извлечение, %							
Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	As	Sb
56,8	42,9	24,2	84,6	84,5	92,8	100,0	95,5
43,2	57,1	75,8	15,4	15,5	7,2	0,0	4,5
100	100	100	100	100	100	100	100,00

Определяем общий выход пиритного и свинцового концентрата, процентное количество первого составило 89,7, второго – 10,3.

Операционное извлечение металлов (в %):

- в пиритный концентрат: золото – 56,8, серебра – 42,9, свинца – 24,2;
- в свинцовый концентрат: золото – 43,2, серебра – 57,1, свинца – 75,8.

Извлечение вредных примесей в пиритный концентрат As и Sb 99,99 и 95,5%, соответственно.

Содержание золота и серебра в пиритном концентрате в г/т составило 44 и 56, соответственно. Содержание свинца – 2,24%.

Содержание золота и серебра в свинцовом концентрате г/т составило 291 и 647, соответственно, содержание свинца – 60,89%.

Выводы:

По результатам экспериментальных исследований подтверждена возможность получение пиритного и свинцового продукта из концентрата гравитации ОФ АО «Ново-Широкинский рудник» с предварительной обработкой в серноуксильном растворе:

- операционных выход продуктов в %: пиритный – 89,68, свинцового 10,32.
- операционное извлечение золота, серебра, свинца и железа в пиритный концентрат выраженное в % составило 56,8; 42,9; 24,2 и 92,8, соответственно;
- операционное извлечение золота, серебра и свинца в свинцовый концентрат выраженное в % составило 43,2; 57,1 и 75,8 соответственно;

Основное извлечение вредных примесей As и Sb отмечено в пиритный концентрат.

Список литературы

1. Гусельников А.В. Отчет о выполнении укрупненных лабораторных исследований совместной переработки гравитационного концентрата и хвостов свинцового флотоконцентрата ОАО «Ново-Широкинский рудник» 25.02.2019 № АНК-04-3387-ИС. – г Новоуральск: 2018 г. – 118 с.

2. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения. — 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ. – 708 с.

3. Лизункин В.М., Мязин В.П., Романова Н.П. Методология научного творчества. – Практическое пособие для магистрантов и аспирантов. – Чита: ЧитГУ, 2001. – 215 с.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТОВ АКСХАТАУСКОГО ВОЛЬФРАМ-МОЛИБДЕНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Емельянова К.К.¹, Прокопьев С.А.^{1,2}, Прокопьев Е.С.^{1,2}, Манучарянц А.Б.³, Петкевич-Сочнов Д.Г.⁴, Пономарёва А.М.¹, Турецкая Н.Ю.¹, Чикишева Т.А.^{1,2,5}

¹ООО НПК «Спирит», ²Институт земной коры СО РАН,
³ООО «Рудная компания», ⁴ООО «ГеоСолюшинс»,
⁵Иркутский государственный университет

Вовлечение в переработку техногенного сырья имеет важнейшее экономическое значение и обеспечивает более полное использование возобновляемых природных ресурсов, снижение темпов истощения минеральной сырья в недрах, повышение производительности и улучшение условий труда, производство дешёвых стройматериалов и удобрений для сельского хозяйства, сокращение и ликвидацию источников загрязнения окружающей среды, рекультивацию занимаемых отходами земель [1].

Объектом исследований являлась технологическая проба лежалых хвостов Акшатауского вольфрам-молибденового месторождения (Казахстан), работа выполнена в лабораториях ООО НПК «Спирит» и отдела комплексного использования минеральной сырья ИЗК СО РАН (г. Иркутск).

На Акшатауской обогатительной фабрике (ОФ) при первичной отработке месторождения использовалась сложная технология обогащения, включающая фотонейтронную сортировку и флотационное обогащение. Ввиду того, что на Акшатауской ОФ получали вольфрам- и молибденсодержащие концентраты, изучение возможности извлечения данных продуктов являлось первостепенной задачей. Однако, в связи с низким содержанием молибдена в исходной пробе (0,008 %), получение молибденсодержащего концентрата было признано экономически нецелесообразным.

Оптико-минералогическим анализом установлено, что основную массу пробы составляют: кварц, калиевые полевые шпаты, топаз, пирит,

слюды и обломки пород. Минералом-носителем вольфрама является вольфрамит, методом рентгенофазового анализа выявлены следы шеелита. Вольфрамит обнаружен в пробе в количестве 0,14 %. Преобладающий размер зёрен вольфрамита – менее 0,071 мм.

Седиментационный анализ класса $-0,04\text{ мм}$ показал, что суммарно неизбежные потери из исходной пробы лежалых хвостов могут составить 31,39 % WO_3 (минеральные зёрна крупностью менее 0,02 мм), т.е. лишь 68,61 % WO_3 в данном материале находится в извлекаемой форме.

Изучение химического и минерального составов позволило определить потенциальные попутные продукты, которые возможно выделить в процессе получения вольфрамового концентрата: пиритный и магнетитовый концентраты, а также кварц-полевощпатовые продукты.

Предварительная концентрация вольфрама проведена по технологии винтовой сепарации с использованием винтовых аппаратов ООО НПК «Спирит». Преобладающий размер зёрен вольфрамита предопределил для его извлечения применение шламового винтового сепаратора, конструкция которого позволяет эффективно извлекать минеральные зёрна крупностью от 0,5 до 0,02 мм [2, 3].

На рисунке 1 представлена технологическая схема предварительной концентрации ценных компонентов. Баланс по продуктам предварительной концентрации ценных компонентов приведён в таблице 1.

Таблица 1 – Баланс по продуктам предварительной концентрации ценных компонентов из пробы лежалых хвостов Акшатауского ГОКа

Наименование продукта	Выход, %	Массовая доля WO_3 , %	Извлечение WO_3 , %
Гравитационный концентрат (концентрат ОВС+концентрат КВС)	10,21	0,400	37,13
Нерудный продукт 1 (класс +0,5 мм)	9,64	0,026	2,25
Отвал (слив)	7,11	0,300	19,39
Нерудный продукт 2 (хвосты КВС)	57,15	0,052	27,22
Хвосты ОВС	15,89	0,097	14,01
Исходная проба	100,00	0,110	100,00

Доводочные операции состояли в последовательном удалении минералов, разубоживающих вольфрамовый гравитационный концентрат: флотация – для удаления сульфидов (преимущественно пирита), концентрация на столе – для выведения нерудных минералов (кварца, полевых шпатов, слюды и др.), магнитная сепарация магнетита и электромагнитная сепарация – для получения вольфрамового концентрата.

Полученные технологические показатели доводки гравитационного концентрата лежалых хвостов Акшатауского ГОКа приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Баланс по продуктам доводки гравитационного концентрата лежалых хвостов Акшатауского ГОКа

Наименование продукта	Выход, %	Массовая доля WO_3 , %	Извлечение WO_3 , %
Пиритный концентрат	3,01	0,026	0,71
Вольфрамовый концентрат	0,05	59,36	26,98
Магнетитовый концентрат	0,075	1,254	0,855
Промпродукт перечистой операции на столе	1,87	0,102	1,735
Хвосты концентрационного стола	5,07	0,082	3,77
Неэлектромагнитная фракция	0,135	2,510	3,08
Гравитационный концентрат	10,21	0,400	37,13



Рис. 1. Технологическая схема предварительной концентрации ценных компонентов из пробы лежалых хвостов Акшатауского ГОКа

В результате проделанной работы получены следующие продукты:

1. Вольфрамовый концентрат с выходом 0,05 % при содержании WO_3 59,36 % и извлечении 26,98 %.

2. Пиритный концентрат. Содержание $S_{суд}$ в коллективном сульфидном концентрате составило 50,20 %. Данный продукт перспективен к реализации как «Колчедан серный флотационный».

3. Магнетитовый концентрат с массовой долей $Fe_{общ}$ 69,60 %.

4. Нерудный продукт 1 – щебёночно-гравийная смесь (первичный отсев класса 0,5 мм).

5. Нерудный продукт 2 представляет собой смесь кварца с полевыми шпатами. Данный продукт будет проверен на пригодность к использованию в качестве сырья для строительного производства.

Полученные показатели позволяют сделать вывод о возможности и целесообразности комплексной переработки лежалых хвостов Акшатау-ского ГОКА.

Список литературы

1. Оценка техногенного сырья в Российской Федерации (твердые полезные ископаемые) / А.И. Ежов // Горные науки и технологии, 2016. № 4. С. 62-75.

2. Иванов В.Д. Винтовые аппараты для обогащения руд и россыпей в России / В.Д. Иванов, С.А. Прокопьев. – М.: Дакси, 2000. – 239 с.

3. Анникин М.Ф. Винтовые аппараты для обогащения руд / М.Ф. Анникин, В.Д. Иванов, М.Л. Певзнер. – М.: Недра, 1970 г.

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА

Турецкая Н.Ю.¹, Емельянова К.К.¹, Прокопьев С.А.^{1,2},
Прокопьев Е.С.^{1,2}, Чикишева Т.А.^{1,2,3}

¹ООО НПК «Спирит», ²Институт земной коры СО РАН,

³Иркутский государственный университет

В современной железорудной промышленности наблюдается тенденция роста требований к качеству концентратов: на мировом рынке пользуются спросом концентраты с массовой долей железа 69-70 %, поскольку высокое качество концентратов позволяет значительно сократить затраты в металлургическом переделе. Получение высококачественных концентратов, то есть глубокая переработка сырья, обеспечивает значительный прирост добавленной стоимости продукции, что способствует выведению предприятия на более высокий уровень рентабельности.

Повышение качества железорудных концентратов имеет также экологический аспект. Увеличение массовой доли железа в концентрате приводит к снижению отходов металлургического производства (шлаков, пылей, шламов). Снижаются объем вредных выбросов в атмосферу и площадь земли, выделяемой под техногенные отходы (шлаковые отвалы, шламохранилища) [1].

Перспективной технологией для повышения качества концентратов, является комбинирование магнитной сепарации с гравитационными методами обогащения, в частности винтовой сепарации.

Винтовая сепарация характеризуется эффективным обогащением материала шламовой крупности до 0,02 мм, возможностью обогащать сырье (рудное, россыпное, техногенное) на предварительных стадиях обогащения с получением коллективных концентратов так и на перечистных и доводочных операциях [3]. Кроме технологических параметров винтовые сепараторы отличаются простотой конструкции отсутствием движущихся частей, им не требуется подача электроэнергии. Винтовые сепараторы стабильно работают на оборотной воде.

Научно-производственная компания «Спирит» на протяжении многих лет ведет работы по обогащению железосодержащего сырья, в том числе по получению высококачественного концентрата [2].

Одна из работ по получению высококачественного концентрата проведена на ОФ Стойленский ГОК на различных продуктах технологической схемы. Исследовались: дробленный продукт ВДВД, слив МШЦ первой стадии измельчения, слив спирального классификатора первой стадии КСН I, концентрат первой стадии ММС, отвальные хвосты ОФ. Изучались зависимости массовой доли железа в концентрате от типа винтового сепаратора, режимных параметров (производительность, плотность пульпы, выхода продуктов обогащения). В результате исследований получены концентраты с массовой долей железа от 66,9 до 71 %. Выход концентрата варьировался от 5 до 23 %, извлечение от 10,8 % до 44 % [4].

Лабораторные исследования на пробе магнитного продукта первой стадии рудо-обогатительной фабрики РОФ-1 АО «Южный ГОК» показали возможность получения высококачественного концентрата с массовой долей $Fe_{общ}$ 70,13 % в одну стадию винтовой сепарации с выходом продукта 16,34 % при извлечении 23,14%.

Выведение высококачественного концентрата на первой стадии обогащения (слив КСН, слив МШЦ) позволит снизить циркулирующие нагрузки на стадиях измельчения и классификации тем самым уменьшить эксплуатационные затраты.

Установлена, что в состав полученного концентрата входит гематит содержание которого составляет в среднем 5 %. Извлечение гематита позволит снизить технологические потери железа с отвальными хвостами тем самым повысит выход товарного концентрата.

Список литературы

1. Пелевин А.Е. Пути повышения эффективности технологии обогащения железорудного сырья // Бюллетень «Чёрная металлургия», 2019. – Том 75. – С. 137-146.
2. Турецкая Н.Ю., Прокопьев С.А., Прокопьев Е.С., Емельянова К.К., Кадесников И.В., Копылов С.А. «Винтовая сепарация в технологии обогащения железосодержащих руд» Материал международной конференции «Плаксинские чтения – 2020» г. Апатиты, 42-44.
3. Прокопьев С.А. Особенности массопереноса на винтовых сепараторах / С.А. Прокопьев, А.Е. Пелевин, Ю.П. Морозов // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 2018. – №7. – с. 67-74.
4. Прокопьев С.А., Прокопьев Е.С., Емельянова К.К., Напольских С.А. Получение высококачественного магнетит-гематитового железорудного концентрата методом винтовой сепарации // Горный журнал. – 2021. – № 6. – С. 86 – 90. DOI: 10.17580 / gzh.2021.06.07.

МОНОАМИДЫ ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ КАК СОБИРАТЕЛИ ДЛЯ ФЛОТАЦИИ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

Базарова Е.А.

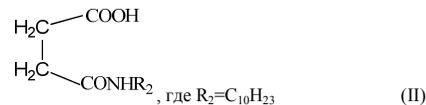
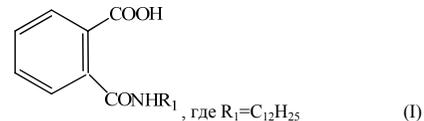
Горный институт КНЦ РАН

Естественное ухудшение сырьевой базы разрабатываемых месторождений цветных металлов, увеличение доли вовлекаемых в переработку тонковкрапленных, сложных по минеральному составу руд определяет необходимость поиска и разработки новых реагентов-собирателей. Увеличение ассортимента и использование новых, более эффективных реагентов может обусловить существенное улучшение показателей при флотационном обогащении руд и сырья, содержащего ценные металлы и минералы.

В последнее время область химии собирателей для флотации сульфидных руд динамично развивается и особенно уделяется внимание использованию комплексобразующих соединений, которые образуют прочные хелатные комплексы с ионами цветных и редкоземельных металлов.

Ранее проведенными лабораторными исследованиями была показана возможность использования при флотации сульфидных медно-никелевых руд гидроксамовых кислот и гидразидов монокарбонновых кислот взамен реагента аэрофлот [1]. Также показано, что применение азотсодержащих монопроизводных алкенилъянтарной кислоты в сочетании с скантогенатом обеспечивает получение сравнимых с традиционным реагентным режимом показателей флотации [2].

В настоящей работе проведена оценка эффективности действия еще одного класса азотсодержащих соединений как реагентов для флотации медно-никелевых руд. В качестве собирателей предложены и исследованы бифункциональные соединения, представляющие собой монопроизводные дикарбонных кислот: монододециламид фталевой кислоты (С12-ФК) (I) и монодециламид янтарной кислоты (С10-ЯК) (II), синтезированные в процессе исследования действием соответствующего амина на ангидрид дикарбонной кислоты:



Оценку эффективности рассматриваемых реагентов по отношению к сульфидным минералам проводили методом беспенной флотации в трубке Халимонда на образцах обогащенной пентландитом и пирротинном (МН-1) и халькопиритом (МН-2) медно-никелевой руды крупностью минус 0,09 + 0,063 мм. Химический анализ проб приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристика проб руды МН-1 и МН-2

Образец руды	Содержание, %				Соотношение Ni/Cu
	Cu	Ni	Fe	S	
МН-1	1,4	5,81	52,64	34,62	1/4,15
МН-2	16,95	3,66	41,55	31,52	4,63/1

Навеску руды 0,5 г агитировали с регулятором среды pH (0,1 %-м раствором NaOH) 1 мин, затем 2 мин с собирателем. Действие исследуемых реагентов проводили в сравнении с традиционным сульфид-рильным собирателем — ксантогенатом (Кх). Время флотации составляло 3 мин при температуре 20 ± 1 °С. Скорость подачи воздуха — $5,3 \text{ см}^3/\text{мин}$. Флотацию исследуемыми соединениями проводили при $\text{pH} \approx 10$.

Использование обогащенной разными минералами руды позволило приблизить эксперимент к реальным условиям флотации с взаимным влиянием минералов друг на друга. Для сравнения эффективности реагентов оценивали извлечение в «пенный продукт» флотации цветных металлов, рассчитанное на основе химического анализа полученных продуктов. Полученные концентрационные зависимости представлены на рисунках 1, 2.

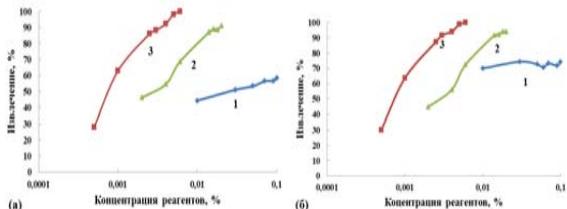


Рис. 1. Извлечение в «пенный» продукт никеля (а) и меди (б) при флотации в трубке Халимонда руды МН-1 реагентами: 1 – Кх, 2 – С10-ЯК, 3 – С12-ФК

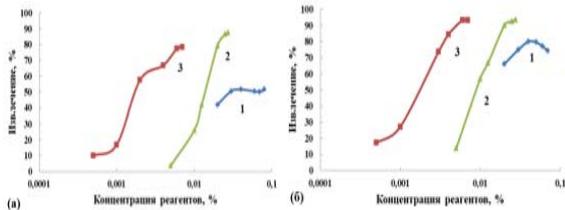


Рис. 2. Извлечение в «пенный» продукт никеля (а) и меди (б) при флотации в трубке Халимонда руды МН-2 реагентами: 1 – Кх, 2 – С10-ЯК, 3 – С12-ФК

Полученные результаты показывают, что реагенты с амидной группировкой – моноамиды дикарбоновых кислот, также как и изученные ранее моногидразиды и моногидроксиамиды янтарной кислоты, проявляют специфическое действие по отношению к никельсодержащим минералам [3]. При использовании ксантогената извлечение меди в пенный продукт выше по сравнению с извлечением никеля из обоих типов руды. Для исследуемых моноамидов кривые извлечения меди и никеля практически совпадают при флотации из обогащенной никелем руды (рисунок 1). В случае с рудой, обогащенной халькопиритом, извлечение меди немного превышает извлечение никеля.

Полученные данные дают основание предполагать, что рассматриваемые реагенты также будут проявлять специфичность действия по отношению к никельсодержащим минералам при флотации медно-никелевой руды.

Список литературы

1. Черноусенко Е.В., Митрофанова Г.В., Каменева Ю.С., Вишнякова И. Оценка действия комплексобразующих реагентов при флотации медно-никелевых руд // Цветные металлы. 2019. № 1. С. 7-12
2. Митрофанова Г.В., Черноусенко Е.В., Базарова Е.А., Тюкин А.П. Поиск новых комплексобразующих реагентов для флотации медно-никелевых руд // Цветные металлы. 2019. № 11. С. 27-33.
3. Базарова Е.А., Черноусенко Е.В., Митрофанова Г.В. Азотсодержащие монопроизводные дикарбоновых кислот как собиратели для флотации руд цветных металлов // Инновационные процессы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения – 2020), г. Апатиты, 21-26 сентября 2020 г. – С. 178 – 180.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ ШТАБЕЛЕЙ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Салахов И.Н.

Российский Государственный Геологоразведочный Университет имени Серго Орджоникидзе, МГРИ

В настоящее время российская горная промышленность, в т. ч. золотодобыча испытывает значительные трудности, связанные, в первую очередь, с истощением запасов богатых и легкодобываемых руд. Первоочередной задачей гидрометаллургического передела, к которому относится кучное, кюветное и агитационное выщелачивание является разработка и вовлечение в производство бедных и забалансовых руд, отвалов

и хвостов обогащения золотоизвлекательных фабрик. Предпосылками для их развития является постоянное снижение среднего содержания золота и других благородных металлов в перерабатываемых рудах. Методом КВ перерабатывается минеральное сырье с содержанием золота 0,65 г/т. При этом извлечение составляет: золота ~75% и серебра 50-60%. Это считается вполне приемлемым для переработки бедного сырья при годовой производительности от 120 тыс. т до 2 млн т руды.

Важным фактором для повышения эффективности процесса КВ является совершенствование технологии сооружения площадки и отсыпки штабеля. Основания площадки для закладки штабеля должны обеспечивать хорошую гидроизоляцию и надежный фундамент во избежание возможных просадок сформированных штабелей и утечек продуктивных растворов, а также загрязнения ими гидрографической сети. В качестве изоляции используется синтетическая пленка, на которую укладывают слой дробленой руды, высотой 0,3-0,5 м. Он поддерживает основные верхние слои заштабелированной горной массы. Выщелачиваемый раствор, просачиваясь через рудный штабель, должен оказывать растворяющее действие и способствовать его проникновению к поверхности частиц ценных компонентов.

Обычно для сооружения штабелей для кучного выщелачивания применяют различную землеройную технику – от грейдеров до отсыпки погрузочными и конвейерными механизмами, что зависит от физико-механических свойств минерального сырья.

При формировании штабеля автосамосвалами, обычно используют несколько методов отсыпки, которые зависят от типа руды. Так, когда руда не образует большого количества рудной мелочи, сооружают оконтуривающую рампу. При этом для возведения последующих слоев предыдущий выравнивают бульдозером, а в случае переуплотнения горной массы, производят рыхление взрывным способом через неглубокие скважины [4].

Для укладки агломерированной руды, которая предрасположена к разрушению, формируют отдельные кучи высотой до 2 метров, которые частично перекрывают друг друга и характеризуются серией холмов и впадин, и в них подают выщелачивающие растворы. После процесса выщелачивания данный слой выравнивают и разрыхляют, для укладки последующего. Наилучшее извлечение ценных компонентов достигается, если каждый слой выщелочен почти до конца перед отсыпкой следующего.

Технология сооружения штабелей конвейером обычно используется для агломерированных руд и хвостов обогащения, так как снижает механическое воздействие на массив. На главный конвейер подается руда,

откуда она поступает к укладчику (стакеру) через ряд промежуточных конвейеров. Изначально он укладывает два штабеля, которые имеют форму конуса, которые затем расширяет до их соединения. Далее зигзагообразными перемещениями, конвейер наращивает штабель до полного заполнения подготовленной площадки (основания). Высота полученного слоя обычно составляет 6 м, при этом верхнее основание имеет практически ровную поверхность.

Однако, действующий способ сооружения штабеля кучного выщелачивания отсыпкой доставленного автотранспортом горной массы, экскаваторами, скреперами или другой землеройной техникой ведет к слеживанию и переуплотнению породы и, как следствие, снижению проницаемости всего штабеля. Также, к недостаткам можно отнести большое количество землеройных механизмов на транспортно-отвальных работах, многоэтапность процесса, невысокая эффективность и др. Предлагаются технологии намыва штабеля гидротранспортными установками, которые обеспечивают рыхлую структуру массива и исключают вышеприведенные негативные факторы, что ускоряет массообменные процессы, сокращает продолжительность проведения кучного выщелачивания и значительно повышает извлечение ценного металла. Новизна предлагаемого способа подтверждается патентом на изобретение «Способ кучного выщелачивания» №2095562 10.01.1997.

Предлагаемая технология укладки (намыва) штабеля кучного выщелачивания средствами гидротранспортирования (рис. 1) производится загрузочными аппаратами или грунтоносами, формирующими стгушную гидросмесь с объемной концентрацией 35-40%. При этом в качестве транспортирующей жидкости можно использовать не только воду, но и выщелачивающие растворы, что повышает эффективность извлечения ценных компонентов, за счет полного контакта реагента с твердым материалом, когда удастся ликвидировать лимитирующие пленки внешней диффузии и интенсифицировать процессы внутренней диффузии в порах крупнодробленых рудных материалов.

Намыв штабеля может производиться по технологическим схемам, используемым при гидрототвалообразовании на открытых горных работах (рис. 1), эстакадным, либо безэстакадным методом с двухсторонним способом. Помимо формирования намывного массива штабеля, можно также формировать основание для него. В этом случае подают минеральные материалы в смеси со специальными коагулирующими добавками, которые обеспечивают быстрое твердение материала [1]. Прочность данного основания не уступает основаниям, которые получены с использованием пленочных мембран.

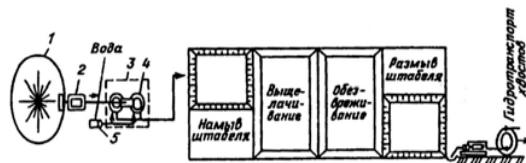


Рис. 1. Формирование штабеля методом гидронамыва.

1 – сырье; погрузчик с конвейером для загрузки; 3 – загрузочный бункер; 4 – гидротранспортный аппарат вихревого пульпоприготовления; 5 – насос для воды или раствора реагента.

Преимуществами перед известными способами является то, что предлагаемый нами новый способ формирования штабеля кучного выщелачивания методом намыва рудной массы или техногенного сырья, способствует увеличению проницаемости (фильтрации) раствора реагента и, как следствие, расширяет его контакт с ценным компонентом внутри намываемого массива, что сокращает продолжительность протекания процесса. При этом исключается цикличность и многостадийность формирования штабеля традиционным насыпным способом землеройной техникой, которая переуплотняет горную массу.

Список литературы

1. Водолазов Л.И., Дробаденко В.П., Лобанов Д.П., Малухин Н.Г. Гео-технология. Кучное выщелачивание бедного минерального сырья. – Учеб. Пособие. М., МГТА 1999, -300 с.
2. Дробаденко В.П., Малухин Н.Г., Скрипченко В.В., Луконина О.А., Мальцев Г.Б., Остроумова И.Д. Способ кучного выщелачивания // Патент на изобретение RU 2095562 С1, 10.11.1997. Заявка № 95121490/03 от 27.12.1995.
3. Минеев Г.Г., Васильев А.А., Никитенко А.Г. Кучное выщелачивание золотосодержащих руд // Вестник ИрГТУ. 2017. №4 (123) сс. 147-156.
4. Яшкин И.А., Овешников Ю.М., Авдеев П.Б. Повышение эффективности технологии кучного выщелачивания золотосодержащих руд // ГИАБ. 2014. №4. сс. 162-169.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА РАСТВОРА ОСАДИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ НИТРАТНЫХ РАСТВОРОВ СОЕДИНЕНИЙ ЦЕРИЯ

Богатырева Е.В., Карташева А.И.

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

В настоящее время спрос на РЗМ имеет устойчивую тенденцию к росту, это объясняется применением их в быстроразвивающихся областях наукоемкой продукции. В связи с этим исследования, направленные на совершенствование процессов и технологий производства РЗМ и их соединений, актуальны.

В России на ведущем предприятии по разделению и получению РЗМ и их соединений ООО «Лаборатория инновационных технологий» для выделения соединений церия из азотнокислых растворов используют соли угольной кислоты – более дешевый, чем применяемый на предприятиях Китая осадитель. Растворы соли угольной кислоты получают непосредственно на предприятии и их состав нестабилен, поэтому исследование влияния состава осадителя на технологические свойства получаемых осадков соединений церия представляет интерес.

В данной работе изучено влияние состава осадителя на удельную скорость фильтрования пульпы, и свойства получаемых Се-содержащих осадков.

Установлено, что при осаждении церия из нитратных растворов 20 %-ным раствором карбонатом аммония достигается максимальная удельная скорость фильтрования пульпы равная 12,87 л/(м²·мин), а с добавлением в раствор осадителя аммиака, удельная скорость фильтрования падает и достигает 1,82 л/(м²·мин) при осаждении церия концентрированным раствором аммиака.

На рисунке представлены микрофотографии полученных соединений церия, видно, что при использовании в качестве осадителя чистого карбоната аммония осадок представляет собой агломераты кристаллической структуры, а при добавлении в состав осадителя аммиака агломераты приобретают более разветвленную структуру, что и способствует уменьшению удельной скорости фильтрования получаемых осадков практически на порядок.

НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТЕХНОЛОГИИ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Соколова Е.С.*

Забайкальский государственный университет

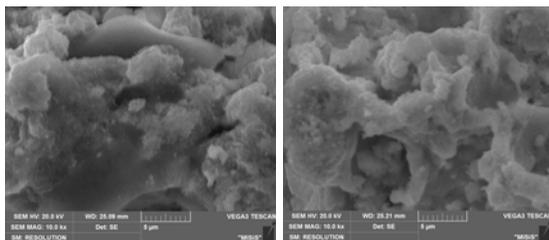
Аннотация: Технология кучного выщелачивания (КВ) золота из техногенного сырья относится к перспективному направлению, однако её применение в условиях низких температур и малоснежных зим требует дальнейшей разработки новых технических решений, связанных с учётом особенностей криолитозоны Забайкалья. Проблема приобретает особую значимость при всё более широком освоении техногенных месторождений, поражённых первоначальным ведением горных работ. Приводится два патенто-защищённых технических решения для работы установок КВ, которые применимы в условиях криолитозоны.

Важнейшим достижением XXI века следует считать разработку эффективной технологии КВ по извлечению ценных металлов из техногенного сырья, как правило, в большей степени поражённого ведением горных работ. Количество осваиваемых техногенных месторождений постоянно растёт. Общее количество объектов КВ в условиях криолитозоны Забайкалья показано на рис. 1.

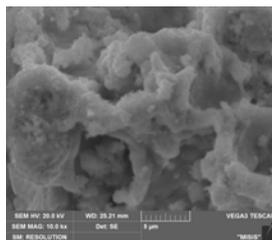
Следует особо подчеркнуть основные преимущества этой технологии перед традиционной фабричной переработкой сырья:

- высокая эффективность и простота применения в промышленных условиях;
- низкие капитальные затраты на её освоение;
- технологическая надёжность и экологическая безопасность [1].

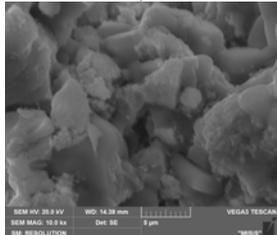
В данной работе анализу подвергнуты только два последних полученных патенто-защищённых технических решения – способ КВ золота из техногенного минерального сырья (патент № 2707459 [2]) и технологическая линия (комплекс устройств) для его осуществления (патент № 2708297 [3]). Технологическая линия для удаления древесных остатков из техногенного минерального сырья представлена на рис.2.



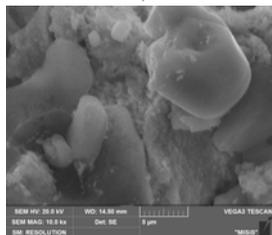
а)



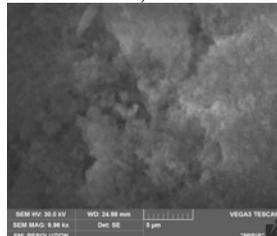
б)



в)



г)



д)

Рис. Микрофотографии осадков соединений церия (увеличение $\times 10000$ при доле в 20 %-ном растворе смеси осадителей $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ – NH_4OH карбоната аммония, %: а) 100; б) 75; в) 50; г) 25; д) 0

Полученные результаты перспективны для управления качеством товарной церий содержащей продукции.

* Под руководством научного руководителя, д-р. техн. наук, проф. Забайкальского государственного университета, зав. лабораторией Читинского филиала Института горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН Мязина Виктора Петровича



Рис. 1. Месторождения Забайкальского края, освоенные, осваиваемые и потенциально пригодные к освоению методом КВ

1 – Александровское, 2 – Амазарканское, 3 – Амурские Дайки, 4 – Балджиканское, 5 – Балейское, 6 – Богомоловское, 7 – Бугдаинское, 8 – Воскресенское, 9 – Дарасунское, 10 – Дельмачинское, 11 – Ернестое, 12 – Илинское, 13 – Итакинское, 14 – Казаковское, 15 – Казаковско-Ключевское, 16 – Карийское, 17 – Ключевское, 18 – Козловское, 19 – Кулинское, 20 – Любовинское, 21 – Погромное, 22 – Савкинское, 23 – Средне-Голготайское, 24 – Средне-Сакуанское, 25 – Сылчугурское, 26 – Талатуйское, 27 – Тасеевское, 28 – Теремкинское, 29 – Уконикское, 30 – Фатимовское, 31 – Шундуинское

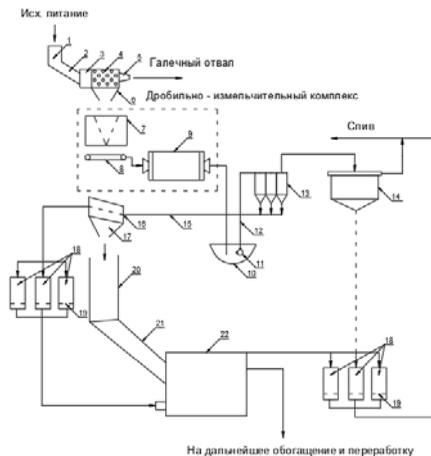


Рис. 2. Технологическая линия для удаления древесных остатков из техногенного минерального сырья

1 – загрузочный бункер, 2 – транспортирующее устройство, 3 – промывочный барабанный грохот с просеивающей поверхностью, 4, 5 – галечный лоток, 6 – бункер-эфелесборник, 7 – дробилка, 8 – питатель, 9 – мельница измельчения, 10 – зумпф приема измельченных продуктов, 11 – насос транспортирования шламов, 12 – соединительный трубопровод, 13 – батареи гидроциклонов, 14 – сгуститель-обезвоживающий сливных продуктов, 15 – транспортирующее устройство, 16 – вибрационный грохот, 17 – сборникподрешетных продуктов, 18 – приёмник – накопитель древесных остатков, 19 – обезвоживающее устройство, 20 – транспортирующее устройство, 21 – камера резки, 22 – устройство для выделения щепы

Способ КВ золота реализован через систему устройств удаления крепёжного леса из техногенного сырья перед подачей его в штабель.

Комплекс устройств (система) реализована с помощью поточной линии связанных аппаратов для удаления крупных и мелких древесных отходов (щепы).

Эффективность технических решений подтверждается укрупнённой оценкой, проведённой автором (проф. Мязиным В.П.) на техногенном сырье Дарасунского рудника [4].

Работа выполнена в рамках гранта № 324 ГР Совета по научной и инновационной деятельности ЗабГУ.

Список литературы

1. Шестернев Д.М., Мязин В.П. Кучное выщелачивание золота в криолитозоне Забайкалья // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых № 5. – Новосибирск: 2010. – С. 105-111.

2. Пат. 2707459 Российская Федерация, МПК С 22 В 11/00. Способ кучного выщелачивания золота из техногенного минерального сырья / В. П. Мязин, Л. В. Шумилова, Е. С. Соколова; патентообладатель ФГБОУ ВО «ЗабГУ». – № 2019117482; заявл. 04.06.19; опубл. 26.11.19. Бюл. № 33, с. 5.

3. Пат. 2708297 Российская Федерация, МПК В 03 В 9/00, В 03 В 5/62. Технологическая линия для удаления древесных остатков при переработке техногенного минерального сырья и устройство для выделения щепы. / В.П. Мязин, С.А. Арданаева, Е.С. Соколова [и др.]; патентообладатель ФГБОУ ВО «ЗабГУ». – № 2019103023; заявл. 04.02.19; опубл. 05.12.19. Бюл. № 34, с. 10.

4. Мязин В.П., Шестернев Д.М., Баянов А.Е. / Техническое решение для реализации технологии круглогодичного кучного выщелачивания в условиях криолитозоны Забайкалья // Горный информационно-аналитический бюллетень № 6. – М.: «Горная книга», 2013. – С. 101-108.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦИНКА ИЗ ПЫЛЕЙ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Богатырева Е.В., Архипова Л.В.

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Ежегодно в России в результате электрометаллургического производства стали, образуется более 300 тыс. тонн пылей, содержащих цинк от 2 до 20 %. Возврат пылей дуговых сталеплавильных печей (ДСП) в основной процесс невозможен из-за наличия цинка. В связи с реализацией «Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» разработка эффективных способов извлечения цинка из крупномасштабных отходов сталеплавильного производства является актуальной.

Цель работы – исследование возможности эффективного сернокислотно-аммиачного извлечения цинка из пылей ДСП.

Объект исследования – пыль дуговой сталеплавильной печи. Фазовый состав пыли приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Фазовый состав пыли

Наименование фаз	Содержание, %
Феррит цинка	60,63
Магнетит, оксиды железа	9,34
Феррит кальция	1,69
Оксид цинка	4,13
Оксид кальция	8,67
Хлориды натрия и калия	6,11
Оксид кремния (кремнезем)	2,63
Кокс (углерод)	1,20
Стеклофаза (шлак)	3,69
Алюмосиликаты калия, кальция, железа и магния (биотит, мусковит, анортит)	1,15
Периклаз	0,31
Силумарганец	0,45
Сумма	100,00

Гранулометрический состав представлен преимущественно тонкими фракциями: 65,9 % фракции – 0,20-3,30 мкм; 30,3 % фракции 13,4-600 мкм.

Исследование выполнено с применением полного факторного эксперимента. Параметр оптимизации: Y – извлечение цинка в раствор, %. Факторы: x_1 – расход серной кислоты ($1,35 \pm 0,45$ кг/кг пыли), x_2 – продолжительность процесса (3 ± 1 ч), x_3 – расход аммиака ($5,45 \pm 1,85$ кг/кг пыли).

Рассчитано уравнение регрессии, на основании которого построены поверхности отклика извлечения цинка в раствор от расхода реагентов (серной кислоты и аммиака) и продолжительности процесса (рис. 1).

Результаты исследования показали, что наибольшее влияние на извлечение цинка, оказывает расход аммиака; затем факторное взаимодействие сочетание расходов кислоты и аммиака. Так извлечение цинка более 90 % достигается при расходе серной кислоты не менее 1,1 кг/кг пыли, аммиака – не менее 7,0 кг/кг пыли при продолжительности процесса не менее 2 часов.

Универсальность технологического решения требует апробации на образцах пыли ДСП других предприятий.

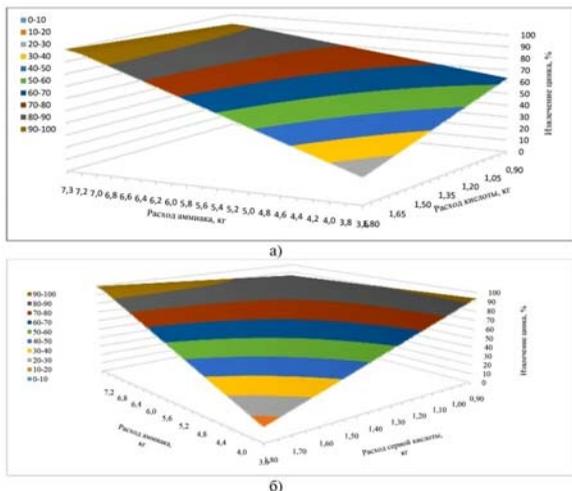


Рис. 1. Поверхности отклика извлечения цинка в зависимости от расхода реагентов: а) 2 часа; б) 4 часа

СНИЖЕНИЕ УПОРНОСТИ ФЛОТАЦИОННЫХ СУЛЬФИДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЧ-ОБРАБОТКИ

Афанасова А.В., Абурова В.А.

Санкт-Петербургский горный университет

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в разработке технологий переработки упорного золотосодержащего сырья, эксплуатация месторождений данного типа характеризуется потерями ценных компонентов как на стадии металлургического, так и обогатительного переделов. Основными причинами потери ценных благороднометаллических включений являются их тонкая вкрапленность не только в минералы-концентраты, но также в пустую породу, физическая и химическая депрессии при цианировании и присутствие сорбционно-активных по

отношению к растворенному золоту веществ, которые также значительно усложняют технологию обогащения данного типа руд [1-3]. Современным направлением повышения эффективности переработки упорных руд является применение различных физико-энергетических воздействий, в том числе СВЧ-, электрохимическая, ультразвуковая обработки, МЭМИ и др [4-5]. Применение которых позволяет направленно изменять физические и химические свойства как исходного сырья, так и продуктов переработки, что позволит повысить эффективность переработки. Целью представленной работы было обоснование возможности применения СВЧ-обработки флотационных сульфидных концентратов для повышения извлечения золота за счет снижения их упорности.

Объектом исследования в работе были выбраны дважды упорные золотосодержащие руды, упорность которых обусловлена тонкой вкрапленностью золота в минералы-концентраты (пирит и арсенопирит) и присутствием сорбционно-активного по отношению к растворенному золоту углеродистого вещества. Для исследования применения СВЧ-обработки из исследуемой руды были получены сульфидные флотационные концентраты. Измельчение руды проводилось до 80 % класса -71 мкм, после чего руда поступала на стадию сульфидной флотации. Для сульфидной флотации были использованы следующие флотационные реагенты: кукурузный декстрин (депрессор органической составляющей), медный купорос (активатор сульфидных минералов), бутиловый ксантогенат калия и натриево-бутиловый аэрофлот (собиратели для сульфидных минералов) и вспениватель. Для полученных сульфидных концентратов характерно содержание золота $85,3 \pm 3,1$ г/т, серы (общей) $21,1 \pm 0,9$ %, мышьяка $8,81 \pm 0,44$ %, содержание органического углерода $2,50 \pm 0,13$ %. На рисунке 1 представлен общий вид сульфидного флотационного концентрата.

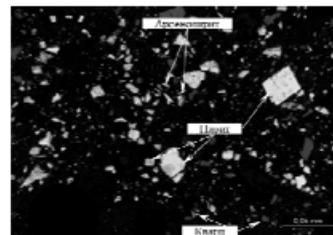


Рис. 1. Сульфидный флотационный концентрат

Извлечение золота при выщелачивании из полученных сульфидных концентратов (рис. 1) составляет $46,4 \pm 1,2$ %.

Обработка полученных флотационных сульфидных концентратов проводилась с применением СВЧ-печи, мощность обработки составляла 0,6 кВт. На рисунке 2 представлен график зависимости извлечения золота из обработанных флотационных концентратов после выщелачивания при различном времени обработки.

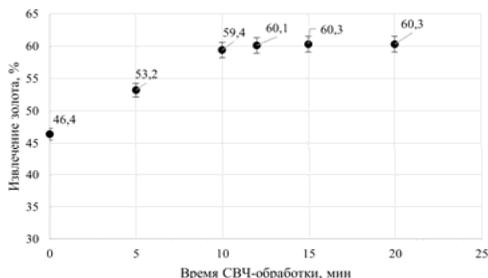


Рис. 2. Зависимость извлечения золота из обработанных флотационных концентратов после выщелачивания при различном времени обработки

Анализ данных представленных на рисунке 2 показывает, что с применением СВЧ-обработки возможно повышение извлечения золота при выщелачивании с 46,4 % до 60,3 %. Повышение извлечения золота при этом достигается за счет снижения упорности флотационных концентратов, а именно термической деструкции сорбционно-активной составляющей – битума, температура термической деструкции которого составляет порядка 300–350 °С.

На основании проведенных исследований обоснована возможность повышения эффективности переработки упорных золотосодержащих руд за счет термической деструкции сорбционно-активной органической составляющей путем СВЧ-обработки. Получено повышение извлечения золота на 15 % после обработки флотационных концентратов при мощности СВЧ-печи 0,6 кВт в течение 15 минут.

Научный руководитель – зав. кафедрой обогащения полезных ископаемых, д.т.н., профессор, Александрова Т.Н.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-17-00096).

Список литературы

1. Лодейщиков В. В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд //Иркутск: Иргиредмет. – 1999. – С. 342.
2. Захаров Б. А., Меретуков М. А. Золото: упорные руды //М.: Руда и металлы. – 2013. – С. 452.
3. Александрова Т. Н. (2016). Ключевые направления переработки углеродистых пород. Записки Горного Института, Т. 220, с. 568–572. <https://doi.org/10.18454/pmi.2016.4.568>
4. Чангурия В. А., Бунин И. Ж. Нетрадиционные высокоэнергетические методы дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2007. – №. 3. – С. 107-128.
5. Александрова Т. Н., Хайде Г., & Афанасова А. В. (2019). Оценка упорности золотосодержащих руд на основе интерпретации данных термического анализа. Записки Горного Института, Т.235, С.30-37. <https://doi.org/10.31897/pmi.2019.1.30>.

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА МНОГОКОМПОНЕНТНОГО СОБИРАТЕЛЯ ДЛЯ ФЛОТАЦИИ АЛМАЗОВ

Пестряк И.В., Лезова С.П.

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

При пенной сепарации алмазов на обогатительных фабриках АК «АЛРОСА» в качестве собирателей обычно используются различные нефтепродукты, включая мазут флотский Ф5 и смеси на его основе [1].

Для выбора наиболее эффективных составов компаундных собирателей необходимо применить новый подход, рассматривающий смесь нефтепродуктов переменного состава как смесь фракций с постоянными свойствами. При изучении влияния состава компаундных собирателей на их эффективность ставилась задача определить оптимальные соотношения выбранных основных нефтепродуктов, которые обеспечивают необходимое соотношение в собирателе базовых фракций и максимальную собирательную способность получаемых композиций [2].

При исследовании эффективности компаундных собирателей были подготовлены композиции мазута с легкими нефтяными фракциями в различных соотношениях с физико-химическими характеристиками (табл.1).

Таблица 1 – Состав и характеристика собирателей, приготовленных на основе мазута прямогонного и дизельного топлива

Состав композиций		Плотность, г/см ³	Динамическая вязкость при 50°С, мПа·с	Т _{заст.} , °С
Мазут прямогонный	Дизельное топливо			
100	0	1,053	135,6	+12
90	10	0,981	128,3	+5,3
80	20	0,956	71,7	-1,0
70*	30	0,945	36,7	-5,2
60	40	0,935	23,6	-10,1
50	50	0,931	19,2	-17,2
40	60	0,914	14,2	-24,4

* Композиция приблизительно соответствует мазуту флотскому Ф-5.

Близкое к оптимальному соотношение нефтяных фракций в компаундном собирателе может быть достигнуто при смешивании мазутов прямой перегонки (атмосферных) и дизельного топлива ДТ. Флотационными исследованиями было показано, что наибольшее извлечение алмазов достигается при доле МП в собирателе около 70% (рис. 1).

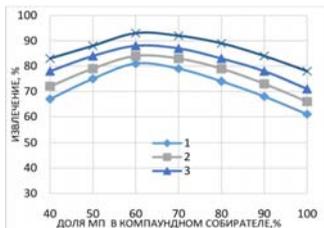


Рис. 1. Зависимости извлечения алмазов в концентрат (%) от доли мазута прямогонного (МП) в смеси с дизельным топливом при расходах реагентов: 1 – 600 г/т; 2 – 750 г/т; 3 – 900 г/т; 4 – 1050 г/т

Результаты проведенных экспериментов показывают, что максимальное извлечение алмазов в концентрат наблюдается при определенной массовой доле низкомолекулярных фракций (легких дистиллятов, ЛД – 35-48%), средномолекулярных (нефтяных масел, НМ – 32-40%) и высокомолекулярных (смолы и асфальтены, СА – 17-24%) фракций нефтепродуктов. Такие соотношения фракций достигаются смешиванием прямогонного мазута и дизельного топлива.

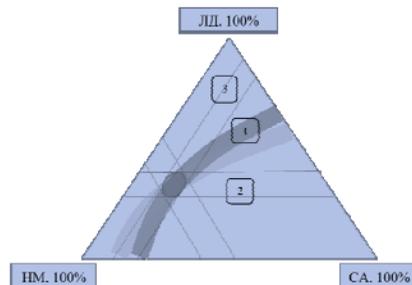


Рис. 2. Диаграмма фракционного состава смесей мазута прямогонного и дизельной фракции: 1 – коллоидный раствор СА в ЛД и НМ; 2 – дисперсия СА в ЛД и НМ; 3 – истинный раствор СА в ЛД и НМ

Анализ распределения собирателя по твердой и жидкой фазам показал, что при использовании компаундного собирателя выбранного состава достигается его максимальное закрепление на алмазах.

Сопоставление координат области наилучшей флотации и области устойчивости коллоидной формы присутствия смол и асфальтенов (рис.2) позволяет сделать заключение, что именно такое строение собирателя является условием его высокой эффективности. Анализ спектральных исследований показал, что при выбранном соотношении фракций компаундного собирателя наблюдается максимальное закрепление смол и асфальтенов на поверхности алмазов. Полученные результаты исследования закрепления собирателя на поверхности алмазов подтверждают вывод, что в области выбранных соотношений фракций вероятно проявление синергетических явлений, которые заключаются в специфической организации коллоидно-дисперсной структуры компаундного собирателя, обеспечивающей проявления его наилучших технологических свойств.

Таким образом, установлено, что эффективные компаундные собиратели для пенной сепарации алмазов могут быть получены смешиванием различных нефтепродуктов и водонефтяных эмульсий при выдерживании заданных соотношений между базовыми фракциями легких дистиллятов, нефтяных масел, смол и асфальтенов. Наибольшее извлечение алмазов в концентрат пенной сепарации наблюдается при массовой доле легких дистиллятов 35-48%, нефтяных масел – 32-40% и смолы

и асфальтенов – 17-24%. При использовании компаундных собирателей полученным смешиванием различных нефтепродуктов при выдерживании заданных соотношений между базовыми фракциями легких дистиллятов, нефтяных масел, смол и асфальтенов, достигнуто повышение извлечения алмазов. Выбранные композиции собирателей и скорректированный реагентный режим рекомендованы для применения в схемах пенной сепарации алмазосодержащих кимберлитов.

При использовании компаундных собирателей оптимального фракционного состава достигнуто повышение извлечения алмазов на 1,7-2,5%, что позволяет рекомендовать разработанные составы собирателя для эффективного извлечения мелких классов алмазов методом пенной сепарации.

Список литературы

1. Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Островская Г.Х., Махрачев А.Ф., Ковальчук О.Е. Модифицирование свойств и экспериментальная апробация водонефтяных эмульсий в качестве реагентов-собирателей для процесса пенной сепарации алмазосодержащего сырья // Руда и металлы, 2013, №5. – С.58-64.
2. Морозов В.В., Лезова С.П. Применение комбинированных собирателей на основе нефтепродуктов для пенной сепарации алмазосодержащих кимберлитов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 12. С. 137-146.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ КАРБОНАТА НЕОДИМА

Мельник Ф., Богатырева Е.В.

Национальный исследовательский технологический университет
"МИСИС"

Технология получения карбоната неодима, реализованная в СССР на предприятии NPM Silmet — эстонский завод по производству редких и редкоземельных металлов, имела основной недостаток – получение труднофильтруемых пульп. Для повышения скорости фильтрования пульп осадки подвергались перекристаллизации в течение нескольких суток. С учетом этого и необходимости возрождения полного цикла производства РЗМ и их соединений в России уже на качественно новом уровне представляло интерес исследовать влияние параметров процесса осаждения карбоната неодима (концентрации раствора нитрат неодима, состава раствора осадителя – карбоната аммония и скорости ввода реагента) на удельную скорость фильтрования пульпы. Исследо-

вания выполнены с применением метода математического планирования эксперимента – полного факторного эксперимента:

1) Параметр оптимизации (Y) – удельная скорость фильтрования пульпы (W), м²/м²·ч.

2) Факторы: X1 – концентрация Nd₂O₃ (C_{Nd2O3}), г/л; X2 – избыток осадителя – карбоната аммония (θ), % от СНК; X3 – скорость введения реагентов (ω), кг Nd₂O₃/(кг осадителя·ч).

3) Выбор основных уровней и интервалов варьирования факторов учитывал особенности действующей на предприятии России технологии экстракционного разделения группового концентрата РЗМ: X1 – 120 ± 80 г/л; X2 – 90 ± 5 %; X3 – 0,95±0,25, кг Nd₂O₃/(кг осадителя·ч).

Расчитано уравнение регрессии в формальном виде и натуральном виде. Поверхности отклика изменения удельной скорости фильтрования пульпы карбоната неодима от избытка осадителя (θ, % от СНК), скорости введения реагентов (ω, кг Nd₂O₃/(кг осадителя·ч) и концентрации Nd₂O₃ при температуре осаждения 39-42 °С приведены на рисунке. Установлено, что правильный подбор режимов осаждения обеспечивает получение легкофильтруемых пульп карбоната неодима даже без предварительной перекристаллизации. При этом объем сточных вод может быть снижен в 1,5–2 раза по сравнению с показателями действующего производства, а производительность по карбонату неодима увеличен в 2–5 раз вследствие возможности применения более концентрированных исходных растворов по Nd₂O₃.

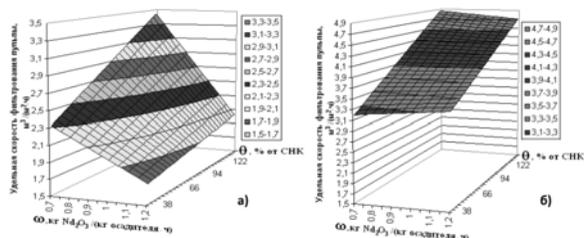


Рис. Поверхности отклика изменения удельной скорости фильтрования пульпы карбоната неодима от избытка осадителя (θ, % от СНК), скорости введения реагентов (ω, кг Nd₂O₃/(кг осадителя·ч) и концентрации Nd₂O₃: 40 г/л (а); 200 г/л (б). Температура осаждения 40 °С

МЕТОД ОЦЕНКИ ИЗОМЕТРИЧНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Тимофеев А.С.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В.Мельникова РАН*

В настоящее время металлические порошки широко применяются в разных областях промышленности:

- при производстве композитных материалов, то есть, в электро-технике и приборостроении;
- при обогащении руд;
- машиностроении и металлургии;
- в нанотехнологиях;
- в 3D-печати
- в авиации;
- в химической промышленности;
- космической и атомной промышленности.

Важными характеристиками для успешного применения металлических порошков и продуктов на их основе являются размер и изометричность, определяющие площадь поверхности частиц.

В соответствии с вышеизложенным необходим простой метод для оценки изометричности частиц порошковых материалов.

Форму частиц сыпучих материалов на практике оценивают с использованием различных коэффициентов, определяющих степень отклонения от правильных геометрических фигур. Коэффициент изометричности частиц определяется следующим образом [1, 2]:

$$K_i = \lg\left(\frac{l}{b}\right) \quad (1)$$

где, l – длина частицы; b – ширина частицы.

Из теории плотнейших шаровых упаковок известно, что на максимальную плотность упаковки монодисперсных систем помимо способа упаковки влияет также форма частиц. В таблице 1 приведены значения максимальной плотности упаковки для различного соотношения частиц одинакового размера.

Таблица 1 – Максимальная плотность упаковок частиц одинакового размера в зависимости от соотношения длины (l) к ширине (b)

Соотношение длины к ширине частицы (l/b)	2	4	6	10
Максимальная плотность упаковки (φ_{max})	0,68	0,60	0,53	0,42

В свою очередь плотность упаковки определяется как:

$$\varphi_{max} = \frac{V_m}{V_c} = \frac{\rho_{нас}}{\rho_{ист}} \quad (2)$$

где, V_m – суммарный объем занятый твердыми частицами в ячейке; V_c – объем ячейки; $\rho_{нас}$ – насыпная плотность твердых частиц в ячейке; $\rho_{ист}$ – истинная плотность твердых частиц в ячейке.

Исходя из выражения (2) можно сделать вывод, что изометричность частиц будет зависеть от насыпной и истинной плотности порошкового материала.

Материалами исследования в настоящей работе являлись образцы ферросилиция различных производителей. В качестве эталонных образцов с высоким и низким коэффициентом изометричности был взят гранулированный гематит и измельченный воластонит.

Насыпную плотность образцов ферросилиция различных производителей определяли измерением массы порошка, который в свободном насыпанном состоянии полностью заполняет ячейку известного объема (ГОСТ 19440-94).

Истинную плотность образцов ферросилиция различных производителей определяли пикнометрическим методом (ГОСТ 22662-77) [3].

Геометрические параметры частиц, необходимые для расчета коэффициентов форм, измеряли в «Аналитическом центре изучения природного вещества» ИПКОН РАН на конфокальном лазерном сканирующем микроскопе (KEYENCE VK 9700). Для измерения длины и ширины из каждого образца ферросилиция методом квартования отбирали пробу, в которой измерялись геометрические параметры 500–700 частиц.

В результате была получена корреляционная зависимость плотности упаковки (коэффициента заполнения) от коэффициента изометричности порошкового материала на примере образцов ферросилиция (Рисунок 1).

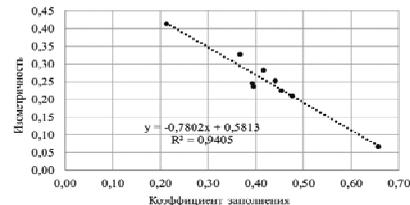


Рис. 1. Выявленная корреляционная зависимость коэффициента изометричности частиц от коэффициента заполнения образцов ферросилиция

Список литературы

1. Белов, В.В. Компьютерная реализация решения научно-технических и образовательных задач: учебное пособие / В.В. Белов, И.В. Образцов, В.К. Иванов, Е.Н. Коноплев // Тверь: ТвГУ, 2015. 108 с.
2. Носенко В.А., Александров А.А., Авиллов А.В. Коэффициент формы зерен фракций шлифовальных порошков карбида кремния черного // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 2 – С. 53-57.
3. Московская Т.Э. Определение плотности тел методом пикнометра // Методические рекомендации Иркутск: Гос. ун-т, 2003. – 14 с.

ОСОБЕННОСТИ АНОДНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЗОЛОТОСЕРЕБРЯНОГО СПЛАВА В РАСТВОРЕ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ

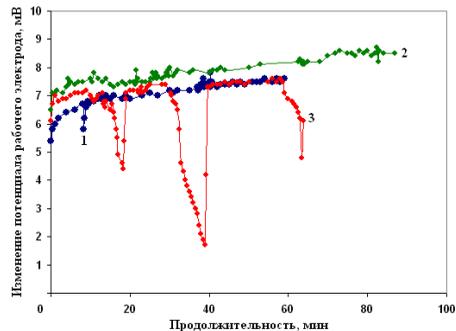
Богатырева Е.В., Выдыш С.О.

*Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС»*

Существующая электролитическая технология аффинажа золота ограничена жесткими требованиями по примесным элементам, таким как: медь и серебро, являющимися основными сопутствующими металлами в золотосодержащем сырье. Сплавы, содержащие более 25 % серебра, не могут быть переработаны электролизом ввиду образования пассивирующей пленки хлорида серебра (AgCl). Однако согласно термодинамическим исследованиям образование AgCl невозможно в отсутствие окислителя, поэтому интерес представляют исследования по электрохимическому способу переработки золотосеребряных сплавов в чистом солянокислом электролите (с концентрацией HCl 2:1).

Исследования показали, что при температуре электролита 60 °С и напряжениях 0,8, 1,2 и 1,4 В при различных плотностях тока образование пленки AgCl не обнаружено. При напряжении 0,8 В электролиз не идет – отсутствует образование катодного золота. При увеличении силы тока наблюдается выделение золота на катоде. Самое интенсивное растворение золотосеребряного анода наблюдается при напряжении 1,4 В и плотности тока 2000 А/м² при этом скорость растворения анодного сплава составила 3,24·10⁻⁶ г/(м²·мин). Характер зависимости поляризационных кривых при U=1,4 В представлен на рисунке.

Характер кривой анодной поляризации при анодной плотности тока 4745 А/м² объясняется выделением хлора. Данное явление усложняет эксплуатацию электролизера, однако может улучшить показатели электролитического растворения золотосеребряного анода путем увеличения скорости растворения анода.



1 – U=1,4 В, $j_a=1000 \text{ А/м}^2$; 2 – U=1,4 В, $j_a=2000 \text{ А/м}^2$; 3 – U=1,4 В, $j_a=4745 \text{ А/м}^2$

Рис. 1. Исследования изменения анодной поляризации от продолжительности анодного растворения исследуемого золотосеребряного сплава при различных режимах электролиза: U=1,4 В, $j_a=1000, 2000$ и 4745 А/м^2

БОГАТИМОСТЬ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «БЫСТРИНСКОЕ»

Матвеева Т.Н., Лихачева С.В.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

При выполнении исследований на богатимость руды текущей добычи ООО «ГРК «Быстринский» проведен минералогический анализ крупных классов крупности, выполнен гранулометрический и рентгено-спектральный анализ исходной пробы руды, рентгенофазовый анализ продуктов флотационного опыта по базовой схеме.

Быстринское месторождение медь-железо-золотосодержащей руды приурочено к Быстринскому интрузивному массиву диоритов и гранодиорит-порфиров юрского возраста. Промышленное золото-халькопирит магнетитовое оруденение в скарнах установлено на четырех участках: Верхне-Ильдианском, Быстринском-2, Малом Медном Чайнике и Южно-Родственном, которые располагаются в экзоконтактовой зоне массива.

ва. пирротин, халькантит, халькопирит, шеелит. Минеральных видов девять: борнит, золото, магнетит, молибденит, пирит, пирротин, халькантит, халькопирит, шеелит. Основными рудными минералами являются халькопирит, магнетит и пирит [https://webmineral.ru/deposits/item.phpid=2119].

По данным ОАО «ГМК «Норильский никель» на 01.10.2006, содержание основных металлов по карьерам различно, изменяется в широких диапазонах и находится в пределах: Cu – 0,20-0,93%; Fe – 21,28-23,99%; Au – 0,41-1,01 г/т; Ag – 1,57-5,34 г/т. Всего запасов по месторождению: Cu – 2,03 млн.т, Fe – 66,9 млн.т, Au – 234,1 т, Ag – 1047,3 т.

Морфология и элементный состав минеральных зерен изучены в Центре изучения природного вещества ИПКОН РАН на аналитическом сканирующем электронном микроскопе (РЭМ) LEO 1420VP, оснащенном рентгеновским энергодисперсионным микроанализатором INCA 350.

Проба руды текущей добычи была предоставлена ООО «ГРК «Быстринский». Исходная руда, поступающая на обогатительную фабрику ООО «ГРК «Быстринский», имеет сложный морфологический состав, представленный включениями джемсонита в пирите с включениями нерудных минералов и в халькопирите, характеризуется тонкой вкрапленностью (рис. 1) и микротрещиноватостью (рис. 2).

Исследования руды текущей добычи ООО «ГРК «Быстринский» на обогатимость проводились в ИПКОН РАН на мелкодробленной пробе руды с содержанием Cu=0,53%, Fe=20,9%, Au=0,55 г/т, Ag=2,6 г/т, Pb=0,0035%.

Для определения условий измельчения в лабораторной мельнице валкового типа был выполнен ситовой рассев исходной руды. Исходная проба руды представлена неоднородным по крупности материалом. Крупные классы +0,071 мм составляют 75,9%, выход тонких шламовых классов -0,044 мм составил 16,1 %.

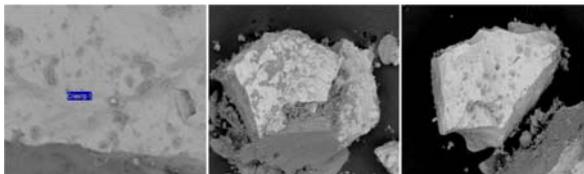


Рис. 1. Включения джемсонита в пирите. Вкрапленная структура

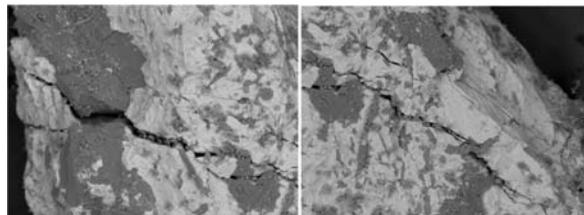


Рис. 2. Микротрещиноватость исходной руды

Исследования на измельчаемость проводились тремя сериями: с изменением времени измельчения, скорости вращения мельницы, шаровой загрузки и соотношения Ж:Т. Увеличение скорости вращения мельницы (в 2,5 раза с 20 до 50 об/мин) позволило получить 69,9 % содержания класса -0,071 мм. Увеличение шаровой загрузки и снижение количества воды в мельнице оказывает незначительное влияние на выход классов -0,071 мм. Таким образом, были определены оптимальные режимные параметры измельчения с увеличением шаровой загрузки и скорости вращения мельницы для лабораторных условий в ИПКОН РАН.

Полученные классы крупности были проанализированы рентгеноспектральным методом рентгеноспектрального анализа (далее – РСА) в Центре изучения природного вещества ИПКОН РАН. По результатам ситового анализа и результатов РСА, выполнен расчет содержания основных элементов и оксидов в пробе исходной руды и их распределение по классам крупности (таблица 1). Продукты флотационных опытов анализировались рентгенофазовым анализом (далее – РФА) в Лаборатории экологического сбалансированного освоения недр ЭКОН ИПКОН РАН.

Флотационные исследования выполнялись по схеме проведения лабораторных тестовых опытов на обогатимость в исследовательской лаборатории ООО «ГРК «Быстринский».

Схема позволяет получить медный и железорудный концентрат (далее – ЖРК) и включает в себя: измельчение; две основных флотации, две перечистных операции и контрольную перечистку. ЖРК выделяют мокрой магнитной сепарацией с индукцией 0,07Тл (1,7А) и последующей перечисткой магнитного продукта при 0,04Тл (1,2А). Медный концентрат получают флотационным методом, состоящим из двух перечистных операций концентратов основной флотации и контрольной

Таблица – 1 – распределение основных элементов и оксидов в пробе исходной руды

Классы крупности, мм	Выход класса, %	Распределение, %										
		Fe _{общ}	Cu	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂		
+0,1	17,09	17,75	9,69	15,53	20,59	20,62	19,31	23,12	20,60	22,94		
-0,1+0,071	13,01	20,32	15,12	18,19	20,03	19,72	19,47	21,12	18,87	20,53		
-0,071+0,063	6,55	19,41	17,78	18,19	20,14	20,06	21,09	19,83	20,75	18,86		
-0,063+0,044	6,91	21,40	22,24	24,44	19,90	19,72	19,51	18,11	21,38	17,52		
-0,044	56,43	21,12	35,17	23,65	19,34	19,88	20,63	17,82	18,40	20,15		
итого:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		

перечисткой промпродукта. Основная флотация проводится в щелочной среде при pH=9,5-9,8, а перечистные – в сильно щелочной при pH= 11,7 и 12,5 соответственно.

Реагентный режим включает в себя следующие реагенты: регулятор среды – кальцинированная сода; собиратель – бутиловый ксантогенат калия; собиратель DSP017; вспениватель – DSF004 и депрессор пустой породы – Акремон D13. Схема флотационного опыта и полученные результаты приведены на рис. 3.

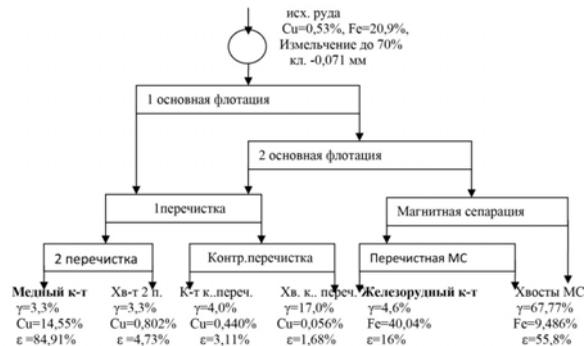


Рис. 3. Схема проведения и результаты лабораторных исследований

В результате выполненных флотационных исследований получен медный концентрат с содержанием меди 14,55% (извлечение меди составило 84,91%) и железородный концентрат с содержанием железа 40,04% (извлечение железа составило 16%). Для улучшения качества медного концентрата и повышения извлечения меди предлагается провести флотационные исследования с применением более селективных реагентов-собирателей с различной структурной группой на медь и золото.

Список литературы

1. Заернюк В.Л., Черникова Л.И., Забайкин Ю.В. Тенденции, проблемы и перспективы развития золотодобывающей отрасли России // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2017. – Т.10. № 9. – С.972–986.
2. Чантурия В. А., Иванова Т. А., Копорулина Е. В. Методика оценки эффективности взаимодействия флотационных реагентов с золотосодержащим пиритом // Цв. металлы. — 2010. — № 8.
3. Т. А. Иванова, В. А. Чантурия, И. Г. Зимбовский. Новые способы экспериментальной оценки селективности реагентов-собираателей для флотации золота и платины из тонковкрапленных руд благородных металлов. Обогащение руд. 2013, № 5, с. 127-137.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР

ОСВОЕНИЕ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА: СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ – ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Тучолобова Д.А.

Санкт-Петербургский горный университет

Россия – страна с крупнейшей территорией в мире, имеющая выход к нескольким морям, принадлежащим трём океанам, преимущественно простирающимся вдоль северного и восточного побережий. Такое географическое положение открыло России возможность получить доступ к значительным запасам полезных ископаемых арктического шельфа, а также к уникальной и перспективной магистрали судоходства – Северному морскому пути.

Согласно данным, размещённым на инвестиционном портале Арктической зоны России «Arctic Russia», разведанные запасы углеводородов на шельфе Северного Ледовитого океана составляют 25% от общемировых: 90 млрд баррелей нефти; 48,3 трлн кубометров природного газа; 44 млрд баррелей газового конденсата. Приблизительно 60% данных запасов находятся на шельфовой территории России.

Относительно российских ресурсов, арктический шельф содержит примерно половину запасов газа и четверть запасов нефти. Баренцево, Карское и Охотское моря сосредоточили в себе 99% шельфовых запасов углеводородов. По прогнозам, к 2030 году Россия будет добывать 55% всех углеводородов Арктики. Шельфовая нефтедобыча, которую будут вести российские компании, возрастет к этому времени в 3,6 раза – до 2,2 млн баррелей в сутки.¹ Кроме углеводородов в арктическом регионе находятся крупные залежи руд, в том числе редкоземельные металлы и сосредоточены крупные биоресурсы планеты.

Разработка Арктических месторождений может открыть для России новые экономические горизонты. Однако, не смотря на всю перспек-

¹ «Arctic Russia» [Электронный ресурс]: инвестиционный портал Арктической зоны России: сайт. – 2016. - URL: <https://arctic-russia.ru/> (дата обращения 19.07.2021).

тивность, шельфовые проекты влекут за собой множество сложностей, в основном связанных с удалённостью территорий, суровыми условиями добычи, сложностью и уникальностью требуемых для освоения технологий. Остро стоит проблема низкого уровня развития инфраструктуры региона. За полярным кругом практически нет населённых пунктов с развитыми коммуникациями.

При разработке и реализации шельфовых проектов возникает вопрос транспортного сообщения. Разведку и освоение шельфа ведут крупные российские корпорации, тем не менее, даже обладая комплексом технологий и техники для добычи промышленных объемов полезных ископаемых на Севере, компании вынуждены решать сложнейшую задачу – как доставить оборудование и людей к месторождению, а добытое сырьё – покупателю.

Развитие инфраструктуры Северного морского пути является залогом успешного освоения богатств арктического региона. В последние годы правительство совместно с промышленными гигантами направляет значительные усилия на решение данной стратегической задачи. В 2019 году был утвержден план развития инфраструктуры Северного морского пути до 2035 года. Глобальная цель – превратить магистраль в привлекательное для частных компаний России и зарубежных стран направление.

Северный морской путь необходим для развития международных связей России со странами Азии, со стороны которых в последние годы возрастает интерес к северным перевозкам в том числе за счёт растущего спроса на углеводороды. Магистраль протяжённостью 10 500 км, что в 2,25 раза меньше протяжённости Южного морского пути, позволяет на 20–40% сократить время в пути от Западной Европы до стран Азии.² Использование более короткой транспортной артерии позволяет собственникам груза сократить его себестоимость за счёт снижения расходов на топливо и фрахт судна, кроме того, северные перевозки позволяют практически полностью исключить риск пиратских нападений.

В России СМП объединяет в единую транспортную сеть сухоходные реки, охватывающие 70% территории страны. По данным каналам перевозится лес, продукция машиностроения, уголь, строительные материалы, продукты питания, пушнина. Для многих северных регионов морские перевозки являются единственной альтернативой дорогостоящим авиaperвозкам. Северный морской путь привлекает к себе инте-

рес и как объект для морских круизов и северных экспедиций. От успешности освоения СМП зависит развитие не только Арктики, но и Архангельской области, Сибири. Контроль над арктическим шельфом предоставляет возможность продвигать и отстаивать национальные интересы на Севере.

Среди основных проблем, сопровождающих развитие СМП, можно выделить низкий уровень развития инфраструктуры в арктическом регионе в целом. Освоение Северного морского пути требует возведения портов международного класса, в том числе капитальный ремонт, реконструкция, дноуглубление действующих портов, развитие портовой спасательной системы и ремонтной базы для судов. Последний порт по пролеганию маршрута был открыт в 2013 году в рамках проекта «Ямал СПГ» и предназначен для транспортировки сжиженного природного газа и обеспечения круглогодичной навигации по Северному морскому пути.

На данный момент невозможно обеспечить круглогодичную проводку судов по всей протяжённости СМП вследствие сложной ледовой обстановки. Для бесперебойного функционирования морской магистрали требуется мощный ледокольный флот. Ведется работа над продлением ресурса действующих ледоколов до смены их новыми судами. В активной разработке находится проект «Лидер», который подразумевает строительство трёх атомных ледоколов, способных прокладывать канал шириной до 50 метров при толщине льда до 2 метров, что обеспечит возможность экономически эффективной круглогодичной навигации крупнотоннажных транспортных судов, в том числе судов ледового класса Arc 7. Тем не менее, невозможно игнорировать факт, что сроки строительства постоянно отодвигаются, а бюджет сокращается. Будет ли реализован столь дорогостоящий проект в полном объеме сказать невозможно.

Создание новых объектов инфраструктуры обеспечит дополнительные рабочие места, в том числе для сотрудников структуры МЧС России, и повысит привлекательность региона для граждан. Например, Д.А. Медведев на церемонии запуска проекта «Ямал СПГ» на полную мощность отметил, для проекта было задействовано свыше 60 тысяч человек и порядка 700 предприятий из 55 субъектов Российской Федерации.

Кроме неразвитой инфраструктуры, движению судов по СМП препятствуют сложные и долгие административные процессы. Для плавания в акватории пути необходимо подать заявку, указав подробную информацию о судне, грузе и экипаже. Капитан любого судна, пересекающего границу, обязан один раз в сутки докладывать ключевые сведения в Администрацию СМП, если судно не имеет достаточного ледового класса, необходимо также согласовать его передвижение с Администрацией.

² Тимофеев, А. Ю. Северо-Восточная Азия на подступах к северному морскому пути / А. Ю. Тимофеев // Информационное агентство REX: [сайт], 2009 – URL: <https://iarex.ru/articles/52564.html> (дата обращения: 21.7.2021)

Не смотря на множество сложностей, развитие магистрали является приоритетной стратегической задачей для России. От успеха в её реализации зависит развитие северных регионов страны, а также укрепление нашей позиции на международной арене. Президент Русско-Азиатского союза промышленников и предпринимателей Виталий Манкевич отметил, что в перспективе ближайших двух десятилетий невозможно говорить о СМП как о конкуренте Суэцкому каналу. По планам к 2030 году грузооборот СМП может составить 115 млн т., но грузооборот Суэцкого канала – 2 млрд т. в год.³ Тем не менее, для бизнеса СМП будет являться привлекательной альтернативой транспортировке груза. Эксперт считает, что транзитные перевозки имеют хороший потенциал, но, чтобы его реализовать, нужны значительные инвестиции.

БЕЗОПАСНЫЙ СПОСОБ ДЕМОНТАЖА СТРОЕНИЙ В ПЕРИОД ЛИКВИДАЦИИ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Добрынин А.А., Васильев Т.В., Заико А.А.

Общество с ограниченной ответственностью «Промстройэрызв»

Горные предприятия, рано или поздно, по разным причинам, заканчивают своё существование, в связи с чем необходима не только рекултивация нарушенных земель, но и демонтаж различных строений, попадающих в разряд заброшенных, нередко встречающихся как на территориях горных предприятий, так и в горняцких поселениях.

Никем не охраняемые или охраняемые формально заброшенные объекты горного производства, расположенные недалеко от жилых районов создают социальные проблемы, т.к. являются местом «паломничества» молодежи, ищущей приключений и адреналина: сталкеры, ругеры, блогеры, начинающие фотографы, любители экстремальных селфи и др. Вследствие свободного доступа они становятся местом игр детей, прибежищем для асоциальных элементов, местами суицида, убийств, несчастных случаев, что подтверждает очередная трагедия, которая случилась 02.02.2020 г. в Кривом Роге, где двое блогеров сломали решетку на входе в заброшенное надшахтное сооружение, сорвались в вентиляционный ствол и погибли.

³ Кормаков, А. А. Проблемы Суэцкого канала возбудили энтузиастов Севморпути / А. А. Кормаков // Электронная газета: Независимая газета: [сайт], 1990 – URL: https://www.ng.ru/economics/2021-03-30/1_8115_economics1.html (дата обращения: 21.7.2021)

Одной из наиболее безопасных, эффективных и оперативных технологий избавления от подобных заброшенных строений, как и в XX в., по-прежнему остается взрывная технология, что подтверждается практическим опытом разных стран мира: Англия, Германия, Китай, США и др., где ненужные высокие, массивные и др. строения оперативно демонтируются взрывным способом.

«Практически все строители отмечают, что на Западе взрывные работы применяются чаще, чем в России» [1]. Также на основании опыта отмечается, что снос здания взрывным методом может быть недорогим и значительно более комфортным для жильцов окружающих домов, так как шум во время подрыва и обрушения не слишком велик, а бурение шпуров под заряды взрывчатых веществ по звуку мало чем отличается от обычных ремонтных работ с помощью электроинструмента. При машинном сносе шум и пыль воздействуют на окружающий район длительное время, при этом статистика говорит о многих авариях и несчастных случаях, которые происходят при подобном демонтаже. Так, согласно данным, взятым авторами из открытых источников, в результате проведения демонтажа строений не взрывным способом за период с 2000 по 2021 гг. произошло около сотни аварий с пострадавшими, в которых погибло около 200 чел. и примерно столько же получили травмы и увечья. Аварии с пострадавшими при демонтаже зданий, сооружений, оборудования на территории закрытых и действующих горных предприятий и поселений горняков с 2007 по 2019 г. случались при демонтаже обогащательных фабрик: г. Междурье, Башкортостан; Корпорация «Каззахмыс», Карагандинская обл.; г. Донецк, Ростовской обл.; пос. Рудничный, Кировская обл.; шахта «Алмазная», г. Гуково, Ростовской обл., а также при демонтаже различных зданий и сооружений: пос. шахты «Ягуновская», Кемеровской обл.; ОАО «Асбест», Свердловская обл.; Высокогорский ГОК, г. Нижний Тагил; ООО «Красноярский цемент»; Комбинат «Магнезит», г. Сатка, Челябинской обл. и др.

Несмотря на печальную статистику, мало что меняется в лучшую сторону, т.к. по-прежнему демонтажем, в т.ч. ручным способом, в основном, продолжают заниматься случайные, неподготовленные люди. Как пример, сразу вспоминается резонансный случай 19.08.2018 г. в городе Поронайске, где во время демонтажа здания фабрики ж/б плита упала на десятерых гастарбайтеров из Кыргызстана. Трое из них погибли сразу, пятерых увезли в больницу, а ещё двоим просто повезло — они отделались шоком. Складывается впечатление, что народ постепенно стал свыкаться с подобной ситуацией, как с какой-то безысходностью и неотвратимостью, и в условиях безработицы готов браться за всё лишь бы платили. И, увы, так случилось, что в области демонтажа ока-

зались владельцы экскаваторов, кранов и др. техники, которые пытаются «руководить» теми процессами, о которых имеют весьма поверхностное представление. Данная ситуация напоминает эффект Дэннинга — Крюгера, т.е. люди, имеющие низкий уровень квалификации, делают ошибочные выводы, принимают неудачные решения и при этом неспособны осознавать свои ошибки в силу низкого уровня своей квалификации, что приводит к возникновению у них завышенных представлений о собственных способностях [2].

Взрывной способ демонтажа строений, если им занимаются специалисты один из самых безопасных и эффективных и видимо поэтому он в России иногда ещё востребован. Так, например, специалистами компании ООО «Промстройвзрыв» в условиях городов и др. поселений были проведены обрушения различных по сложности железобетонных, кирпичных и металлических строений высотой до 100 м и более, в т.ч.: здания, башни, градирни, реакторы, трубы, галереи и др. здания и сооружения.

Анализ выполненных работ показал, что высотные, массивные строения можно эффективно и безопасно демонтировать не только на своём основании, но, как и высокие трубы, в заданном направлении валки. Или, если это необходимо, разделять строения на отдельные части, обрушая их сразу в нескольких направлениях, в том числе и в противоположных, что позволяет работать в стеснённых условиях действующих производств и в населённых пунктах.

На взгляд авторов успех выполненных демонтажных работ взрывным способом с точки зрения обеспечения безопасности был обеспечен благодаря новым подходам к оценке энергии, которая преобразуется в сейсмическую волну при обрушении массивных строений, что было учтено в проектах взрывных работ. Методики инженерных расчётов, которым более полвека, представленные в нормативной и научно-технической литературе [3-6], устарели и не совсем корректно отражают реальную картину физических процессов, происходящих при обрушении строений, поэтому исследования в данной области продолжают, в т.ч. авторами, в непростых реальных условиях.

Выводы

1. После ликвидации, закрытия, банкротства горных предприятий на местах нередко возникают социальные проблемы по причине оставления предприятиями после себя опасных заброшенных объектов, которые вследствие своей доступности привлекают различные слои населения, в результате чего травмируются и гибнут люди, в т.ч. дети.

2. Как показывает мировая практика наиболее безопасным и оперативным способом демонтажа различных высоких, массивных строений является взрывной способ, который в России изучается и используется явно недостаточно, при этом известные методики инженерных расчётов, которым более полвека, устарели и не удовлетворяют современным запросам.

Список литературы

1. Ваннах М. Почему в России перестали взрывать дома? // Бизнес-журнал. 2013. — № 5. — С. 84-89.
2. Kruger, Justin; David Dunning. Unskilled and Unaware of It: How Difficulties in Recognizing One's Own Incompetence Lead to Inflated Self-Assessments // Journal of Personality and Social Psychology: journal. — 1999. — Vol. 77, no. 6. — P. 1121—1134.
3. Добрынин А.А. Критический анализ некоторых положений федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах» // Взрывное дело № 117/74, 2017, с. 265-287.
4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» Утв. приказом Ростехнадзора 03.12.2020 г. № 494.
5. Цейтлин Я.И., Смолий Н.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. М., Недра, 1981, 192 с.
6. Руководство по проектированию и производству взрывных работ при реконструкции промышленных предприятий и гражданских сооружений. РТМ 36.9-88. – М.: ЦБНТИ ММСС СССР, 1988. – 37 с.

НЕФТЕГАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Бабенко М.А., Ромашева Н.В.

Санкт-Петербургский горный университет

Нефтегазовый комплекс является одним из основообразующих для российского бюджета, однако в 2020 году объем нефтегазовых доходов России снизился на 2,3 трлн рублей, составив 28% в общем объеме ВВП государства [1]. Такое снижение связано с пандемией COVID-19, что вызвало общемировое падение спроса на углеводороды [2]. Тем не менее, для России данный сектор является стратегически значимым, что закреплено в Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года [3] и других государственных документах. Одной из

проблем развития нефтегазового комплекса является высокая волатильность цен на нефть, и от этого, в свою очередь, зависят доходы от нефтегазового комплекса, что не всегда влечет за собой положительный результат. Динамика цен на марку нефти Brent (от этой цены зависит цена на российскую марку нефти Urals) продемонстрирована на рисунке 1.

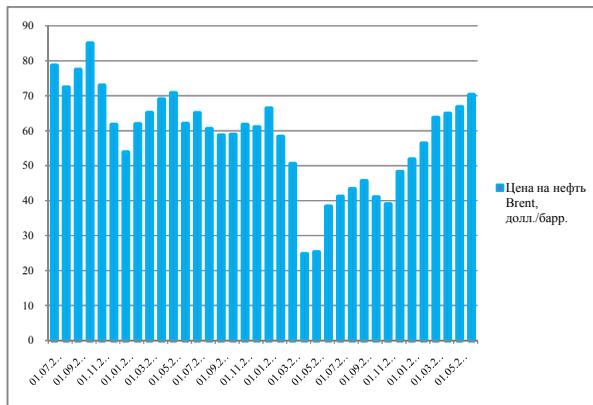


Рис. 1. Динамика цен на нефть Brent, долл./барр. [4]

Для определения перспектив дальнейшего развития нефтегазового комплекса России проведем SWOT-анализ, чтобы оценить потенциальные возможности и угрозы, сильные и слабые стороны (таблица 1).

По данным SWOT-анализа можно предложить множество альтернативных вариантов по дальнейшему развитию нефтегазового комплекса России: увеличение глубины переработки нефти за счет внедрения инновационных технологий с повышением объемов добычи тяжелой нефти; привлечение иностранных компаний к сотрудничеству по промышленному освоению уже разведанных запасов; диверсификация нефтегазового производства; развитие альтернативных источников энергии и т.д. Несмотря на множество рассмотренных вариантов, авторы выделяют следующее: наиболее перспективным и стабильным сектором в нефтяной отрасли является нефтехимия, которая продемонстрировала рост в 2020 году, в то время как остальные секторы упали [8]. Причем 312

Таблица 1 – SWOT-анализ нефтегазового комплекса России [3, 5-7]

Сильные стороны	Слабые стороны
<p>Получение большого объема энергии из небольшого объема нефти; Легкодоступность ввиду множества способов транспортировки углеводородов; Универсальность применения нефти; Практически отсутствует потеря энергетического потенциала при транспортировке; Большие объемы запасов традиционных и нетрадиционных источников нефти и газа; Большая площадь для геологического изучения, разведки и добычи нефти; Заинтересованность иностранных инвесторов в проектах развития нефтегазового комплекса различных регионов страны; Наличие льготного периода и налоговых льгот по НДС в некоторых регионах страны.</p>	<p>Большие выбросы парниковых газов; Выделение токсичных веществ в процессе очистки углеводородов; Необходимость постоянного обслуживания нефтяной инфраструктуры; Зависимость российской экономики от нефтегазового сектора; Ежегодное усложнение условий добычи, рост капиталоемкости производства; Направленность на производство сырой нефти или светлых продуктов нефтепереработки; Отсутствие развитой инфраструктуры в новых регионах добычи (например, Арктика); Низкая геологическая изученность лицензионных участков, приобретаемых компаниями на аукционах.</p>
Возможности	Угрозы
<p>Возрастание полезности использования нефти в связи с открытием новых способов ее использования; Расширение сфер применения благодаря легкому разведению на углеводород и водород; Применение нефти в процессе создания альтернативных источников энергии; Привлечение инвесторов в высокорискованные геолого-разведочные проекты с целью снижения финансовых рисков; Сотрудничество нефтедобывающих компаний с целью снижения различных издержек.</p>	<p>Ужесточение требований к защите окружающей среды в связи с большими объемами выбросов парниковых газов; Высокая волатильность цен на нефть; Стагнация и ухудшение экономической ситуации в стране;</p>

необходимо развивать добычу трудноизвлекаемых углеводородов (в особенности тяжелую нефть), запасы которых составляют 65% от всех доказанных углеводородных запасов на территории России, однако на данный момент их добыча составляет всего 7,2 % от общей добычи [9]. Также стоит развивать добычу СПГ, поскольку он является чистым продуктом с низкой себестоимостью и удобным использованием.

Нефтегазохимическая продукция будет обладать высокой стоимостью, что обусловлено множеством этапов обработки углеводородного сырья, поэтому развитие нефтехимического сектора позволит выйти на международный рынок с конечным продуктом с высокой стоимостью вместо торговли дешевым сырьем, что поспособствует развитию российской экономики.

Список литературы

1. Оперативный доклад об исполнении федерального бюджета и бюджетов государственных внебюджетных фондов // Счетная палата Российской Федерации, 2021;
2. International Energy Agency. Oil 2021 – Analysis and forecast to 2026 [Электронный ресурс]: Режим доступа – https://iea.blob.core.windows.net/as-sets/1fa45234-bac5-4d89-a532-768960f99d07/Oil_2021-PDF.pdf;
3. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года // Министерство Энергетики Российской Федерации, 2020;
4. Online Brent oil price chart [Электронный ресурс]: Режим доступа – <https://investfunds.ru/indexes/624/>;
5. Advantages and Disadvantages of Using Oil Energy // 4 Gas [Электронный ресурс]: Режим доступа – <https://www.4gas.com/advantages-disadvantages-using-oil-energy/>;
6. Miller K. 21 Advantages and Disadvantages of Petroleum [Электронный ресурс]: Режим доступа – <https://futureofworking.com/6-advantages-and-disadvantages-of-petroleum/>;
7. Официальный сайт Минприроды Российской Федерации [Электронный ресурс]: Режим доступа – <https://www.mnr.gov.ru/#>;
8. Global Petrochemical Market Growth 2021–2026 With Top Countries Data Industry Price Trend, Size Estimation, Industry Outlook, Business Growth, Report Latest Research, Business Analysis and Forecast Analysis Research With COVID-19 Analysis // Market Watch, 2021;
9. Шмелев П., Удалова Т. ТРИЗ как объективная реальность. Особности квалификации и разработки трудноизвлекаемых запасов.

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИЙСОДЕРЖАЩИХ ПРИРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Стефунько М.С., Орехова Н.Н.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Проблемы, связанные с очисткой сточных вод не носят ярко выраженный региональный характер и являются общими для всех изученных регионов.

Основными проблемами являются:

1. Использование практически одного и того же метода очистки – известкования.
2. Использование извести, для нейтрализации вод непосредственно в водотоках, что приводит к образованию техногенных отложений по руслам рек.
3. Использование малых рек в качестве приемников загрязненных сточных вод.
4. Отсутствие очистных сооружений в период активной эксплуатации месторождений и после отработки.
5. Отсутствие систем перехвата загрязнений по типу геохимических барьеров.
6. Отсутствие сооружений долгосрочной аккумуляции изливов.

В сточных водах горных предприятий обычно содержатся катионы нескольких металлов, применение для удаления каждого из них специфического осадителя невозможно. Поэтому сточную воду обрабатывают обычно гидроксидом кальция (известковым молоком), приготовляемым из извести Ш сорта; при этом происходит одновременное осаждение катионов тяжелых металлов в виде гидрокселей, гидроксидов и карбонатов. Характеристики магнийсодержащих материалов позволяют сделать вывод о возможности частичной замены ими извести и известняка в технологиях очистки рудничных вод, без снижения эффективности очистки. Просматривается перспективность использования магнийсодержащих материалов в пассивных методах очистки, в которых возможно использование достаточно крупных фракций. Предположительно замена даже части известняка на магнийсодержащие материалы

в геохимическом барьере интенсифицирует процесс очистки и увеличивает накопление металлов в материале геохимического барьера, что позволяет утилизировать его с извлечением металлов.

Для подтверждения этого предположения требуется проведение дополнительного комплекса испытаний на натуральных образцах сточных вод.

К магнийсодержащим природным минералам следует отнести магнезит, доломит, брусит, периклаз.

Анализ литературных данных [1-10] говорит о следующем:

– магнийсодержащие минералы в воде частично подвергаются гидратации, образуя ассоциацию сложных молекул, содержащих в своем составе наряду с MgO также и Mg(OH). Основным механизмом очистки является образование малорастворимых гидроксидов металлов. Работают так же механизмы адсорбции, соосаждения, сокристаллизации примесей с продуктами гидратации и гидролиза магнийсодержащих минералов;

– все природные материалы, имеющие в своем составе карбонат, оксид или гидроксид магния эффективно нейтрализуют кислые воды, и связывают тяжелые металлы;

– установлена высокая эффективность удаления из растворов магнийсодержащими сорбентами железа, селена, кадмия, цинка, никеля, марганца, свинца, меди, ионов соединений кремния, аммония, фторидов и в динамическом и в статическом режимах очистки вод.

Заслуживает внимание утверждение о том, что для эффективной очистки оксидом магния концентрация металла в потоке не может быть слишком высокой, а pH отработанного потока слишком низким. Широкомасштабная практика технологии очистки воды с применением оксида магния, вероятно, будет ограничиваться водой, содержащей 50 мг/л или меньше растворенных металлов. При использовании магнезита большая часть редких и щелочноземельных металлов остается в растворе.

Расход брусита в исследованиях не превышал 7 кг/м^3 , использовался нативный и термически модифицированный брусит. Наиболее высокие показатели очистки получены при использовании термически модифицированного брусита (переклаза), нативного периклаза и химически полученного оксида магния.

Исследовательские работы в России, Китае, США, ЮАР, связанные с изучением закономерностей, эффективности и возможности очистки сточных вод с применением магнийсодержащих природных, модифицированных природных и искусственных материалов периодически проводятся. Всеми исследователями отмечается более высокая

степень очистки вод от тяжелых металлов. Ограничениями применения оксида и гидроксида магния в промышленных масштабах называется только его более высокая стоимость.

Эффективность применения химически чистых оксида и гидроксида магния для целей нейтрализации и очистки от тяжелых металлов кислых металлоносных вод является абсолютно доказанной в лабораторных условиях. Однако достигнутые остаточные концентрации металлов выше ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения, принятых в РФ, что затрудняет продвижение реагента как нейтрализатора и осадителя сточных вод горных предприятий в нашей стране.

Области успешного применения природных сорбентов могут быть существенно расширены путем активирования, позволяющего придать им дополнительные свойства. Под активацией понимаю обработку природного минерала, способную увеличить такие его показатели, как сорбционная емкость, пористость, удельная поверхность, селективность. Брусит, обладающий слоистой структурой является удобной основой для получения сорбентов. Изоморфное замещение части ионов магния в структуре брусита ионами других металлов может привести к резкому возрастанию сорбционных свойств. Нагрев природного брусита до $t = 400-600^\circ\text{C}$ приводит к образованию новой кристаллической структуры – периклаза (MgO). Сорбционная емкость брусита за счет обжига может быть повышена на порядок.

Для интенсификации работы магнийсодержащих сорбентов используют ультразвук, обработку гумусом, комбинацию с другими материалами, обработку кислотами и солями с целью насыщения сорбента катионами или анионами для увеличения числа и механизмов реакций на сорбирующей поверхности.

Список литературы

1. Милушкин В. М. Физико-химические процессы в кипящем слое доломита под действием ультразвука и разработка установки для доочистки питьевой воды : дис. – 2009.
2. Мамченко А. В. и др. Исследование влияния способов модификации природного доломита на деманганацию воды //Химия и технология воды. – 2008. – №. 30, № 4. – С. 347-357.
3. Calugaru L. et al. Performance of thermally activated dolomite for the treatment of Ni and Zn in contaminated neutral drainage //Journal of hazardous materials. – 2016. – Т. 310. – С. 48-55
4. Tangviroon P. et al. Immobilization of lead and zinc leached from mining residual materials in Kabwe, Zambia: Possibility of Chemical Immobilization by Dolomite, Calcined Dolomite, and Magnesium Oxide //Minerals. – 2020. – Т. 10. – №. 9. – С. 763.

5. Коваленко К.А. Природные минералы в решении экологических проблем горно-перерабатывающих предприятий, Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 10. С. 348-368.

6. Huang H. M. et al. Removal of ammonium from rare-earth wastewater using natural brucite as a magnesium source of struvite precipitation //Water science and technology. – 2011. – Т. 63. – №. 3. – С. 468-474.

7. Белевцев А.Н. и соавт. Эффективность молотого бруситааквамаг в процессах очистки воды // Металлург. - 2007. - Т. 51. - №. 5-6. - С. 295-297.

8. Пушкарева Г. И. Влияние температурной обработки брусита на его сорбционные свойства //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2000. – №. 6. – С. 90-93.

9. Masindi V. Remediation of acid mine drainage using magnesite and its bentonite clay composite : дис. – University of Venda, 2015.

10. Schiller J. E., Khalafalla S. E. Magnesium oxide for improved heavy metals removal //Trans. Soc. Min. Eng. AIME;(United States). – 1984. – Т. 276.

ПАССИВНЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГОРНО-ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Гулиева А.Ш., Орехова Н.Н., Стефунько М.С.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Метод нейтрализации кислых вод известковым молоком (или известковым раствором) как у нас в стране, так и за рубежом является наиболее распространенным методом очистки больших объемов сточных вод. Для уменьшения концентраций загрязняющих веществ, поступающих в поверхностные водотоки на отработанных горнодобывающих объектах, целесообразно дополнить активные методы очистки пассивными.

Целью данной работы является изучение систем пассивной очистки сточных вод горно-перерабатывающих предприятий, а также определить преимущества и недостатки этих методов.

Система пассивной очистки включает несколько последовательных этапов: аэрация, отстаивание, биологическая очистка – биолато (в пределах аэробных водно-болотных угодий, в том числе искусственных) и окончательная фильтрация перед сбросом путем фильтрации через барьер, заполненный щелочным материалом [1].

Пассивные методы очистки основаны на процессах самоочистки, они значительно дешевле и активно развиваются в последние год.

Существует несколько основных способов проведения пассивной очистки рудничных вод. Эти методы схематично представлены на рис 1.

Зарубежные исследования [2-8] показывают, что в основном используются следующие основные технологии с применением известии или известняка:

- анокисичные (бескислородные) известняковые стоки (ALD);
- системы последовательного получения щелочности (SAPS).

Анокисичные (бескислородные) известняковые стоки (ALD) включают размещение известняка в обедненных кислородом траншеях. В эти траншеи транспортируются сточные воды. ALD генерируют щелочность и включают в себя каскад аэрации, пруд или аэробное болото, которое окисляет и удаляет осадочные металлы.

Системы последовательного повышения щелочности (SAPS) сочетают в себе ALD и проницаемые органические субстраты в одной системе, которая создает анаэробные условия перед контактом воды с известняком [6]. Технология SAPS содержит в себе комбинацию известняка и компоста.

К недостаткам технологии следует отнести недолговечность. Системы могут быть подвержены засорению без регулярного обслуживания.



Рис. 1. Пассивные системы очистки кислотных шахтных дренажей [1]

Исследования [1-8] проведенные как за рубежом, так и в России, показывают, что для нейтрализации и очистки кислых рудничных вод от тяжелых металлов используют системы пассивной очистки и системы активной очистки.

Под пассивной обработкой понимается любая профилактическая или вообще не требующая обслуживания обработка кислотного шахтного дренажа, которая не требует постоянного добавления химических веществ и мониторинга [9]. Известняковые барьеры, водостоки из известняка, водно-болотные угодья или их комбинация являются наиболее часто используемыми пассивными системами очистки кислых рудничных вод. Пассивная обработка проводится в аэробных и анаэробных условиях.

В пассивных методах, используемые фильтрационные барьеры могут содержать в своем «теле» как один, так и несколько материалов, имеющих определенную функцию. В сочетании с минеральными материалами, обладающими эффектом подщелачивания среды используют нуль-валентное железо.

К преимуществам систем пассивной очистки следует отнести то, что они не требуют затрат электроэнергии; не требуют опасных химикатов, механического оборудования, сложных сооружений; ежедневно ухода; имеют более естественный и эстетичный вид, и менее дороги, чем активные альтернативы.

Недостатки систем пассивной очистки состоят в том, что материалы барьеров накапливают загрязнения и должны периодически меняться. Зарубежные исследования показывают, что можно ожидать бесценной работы правильно организованных сооружений в течение 20 лет. Пассивные системы требуют регулярного мониторинга, осмотра и технического обслуживания, хотя и в гораздо меньшей степени, чем в случае активных систем очистки воды. Вода после прохождения барьера может не соответствовать строгим стандартам качества воды для сточных вод. Пассивная система может выйти из строя из-за плохой конструкции или суровых зимних условий. Пассивные технологии являются относительно новой технологией и областью активных исследований.

Несмотря на недостатки, метод нейтрализации кислых вод известковым молоком (или известковым раствором) как у нас в стране, так и за рубежом, является наиболее распространенным методом очистки больших объемов сточных вод. Для уменьшения концентраций загрязняющих веществ, поступающих в поверхностные водооток на действующих и отработанных горнодобывающих объектах, активные методы дополняют методами пассивной очистки.

Список литературы

1. Masindi V. Remediation of acid mine drainage using magnesite and its bentonite clay composite: PhD diss. University of Venda, 2015. 210 p.
2. Drainage Treatment. Intelligent Network Application Part (INAP). [Electronic resource]. – URL: http://gardguide.com/index.php?title=Chapter_7 (date of treatment 25.06.2021).
3. Skousen, J. Anoxic limestone drains for acid mine drainage treatment // Green Lands. 1991. P. 30 – 35.
4. The Passive Treatment of Coal Mine Drainage / Watzlaf G.R., Schroeder K.T., Kleinmann R.L.P., Kairies C.L., Nairn R.W. // DOE/NETL. 2004. 72 p.
5. Watzlaf, G.R., Schroeder K.T., Kairies C.L. Long-Term Performance of Anoxic Limestone Drains // Mine Water and the Environment. 2000. V. 19. P. 98 – 110.
6. Skousen J., Sextone A., Ziemkiewicz F. Acid mine drainage control and treatment // Reclamation of Drastically Disturbed Lands. American Society of Agronomy and American Society for Surface Mining and Reclamation. 2000. V. 6 (41). P. 1 – 42.
7. Kepler D., McCleary E. Successive alkalinity-producing systems (SAPS) for the treatment of acidic mine drainage // Proceedings of the International Land Reclamation and Mine Drainage Conference, April 24–29, 1994. Bureau of Mines SP 06A-94, Pittsburgh, PA. P. 195 – 204.
8. Permeable Reactive Barriers: Lessons Learned/New Directions. Interstate Technology & Regulatory Council, Permeable Reactive Barriers Team. [Electronic resource] URL: www.itrcweb.org (date of treatment 25.06.2021).
9. Interstate Technology Regulatory Council. 2010. Mining Waste Treatment Technology Selection Website. [Electronic resource] URL: <http://www.itrcweb.org/miningwaste-guidance/> (date of treatment 1.07.2021).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОРОДЫ ШАХТНЫХ ОТВАЛОВ ДЛЯ ЗАСЫПКИ ЗАТОПЛЕННЫХ УЧАСТКОВ ЛИКВИДИРУЕМЫХ ШАХТНЫХ СТВолоВ

Хохлов Б. В., Дрибан В. А., Филатов В. Ф.

*Республиканский академический научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт горной геологии,
геомеханики, геофизики и маршведерского дела (РАНИМИ)
Министерство образования и науки ДНР*

В комплексе работ по закрытию шахт наиболее ответственным этапом является ликвидация вертикальных стволов, поскольку в результате выполнения ликвидационных работ должна быть исключена возможность появления ряда негативных последствий таких, как:

- опасные деформации земной поверхности в виде прогибов, опусканий и провалов;
- изменение уровня подземных вод вызывающее подтопление земной поверхности, и их проникновение в соседние шахты.

Негативные последствия ликвидации стволов могут проявиться как сразу, так и через десятки лет, и вызываться самыми различными факторами такими, как активизация геомеханических процессов, изменение гидрогеологического режима, недостаточная прочность перекрывающих ствол конструкций, некачественная засыпка и не соответствующий условиям применения засыпочный материал [1, 2].

В качестве засыпочного материала в соответствии с требованиями КД-12.12.005-2001, п. 6.6.2 должен использоваться сыпучий, кусковатый (до 250мм), негорючий, неразмозаемый, непросадочный материал (негорючая порода отвалов, щебнеподобный материал, бой штучных строительных материалов). Для засыпки затопленных шахтных стволов не рекомендуется использование перегоревшей породы, поскольку в ней присутствуют пористые шлаковые фракции. Обусловлено это требованием тем, что шлаковые фракции породы в стволе будут плавать на поверхности воды, а это в сочетании с элементами неизвлеченного ободования (армировка, канаты, трубопроводы и т.п.) может привести к формированию и зависанию «пробок» в его протяженной части. Подобные зависания в непрогнозируемом будущем чреваты обрушением засыпочного материала, которое может сопровождаться мощными динамическими и газодинамическими проявлениями, вплоть до сейсмических.

Объектом наших исследований являлись затопленные вертикальные стволы шахт им. А. И. Гаевого (г. Горловка) и «Красный Профинтерн» (г. Енакиеве), ликвидируемых в рамках программы реструктуризации. Ликвидация этих стволов предполагается методом засыпки. В качестве засыпочного материала планируется использовать породу шахтных отвалов (терриконов).

Из общего количества представленных в этих регионах терриконов нами, по результатам предварительной оценки их литологического состава, приняты к рассмотрению два террикона, характеристики которых позволяют их использовать для засыпки затопленных стволов.

Породный отвал "Железняк" шахты № 2-"бис", г. Горловка.

Породную массу террикона предполагается использовать для засыпки ликвидируемых стволов шахты им. А.И. Гаевого. Террикон не действующий, не горящий. Форма отвала плоская, высота 26 м, площадь основания 11 тыс. м², объем 151 тыс. м³. Отвал "Железняк" был образован в процессе работы шахты № 2-"бис".



Рис. 1. Породный отвал "Железняк" западный склон

В результате обследования террикона (рис 1) и детального изучения сохранившейся маршейдерской документации установлено, что в составе пород данного отвала фракции песчаников и алевролитов составляют 85-88% от общего объема отвала.

Породы отвала "Железняк" постоянно подвергаются размоканию и выветриванию, поэтому данные о фактических физико-механических свойствах горных пород слагающих отвал, требовали уточнения.

Для определения фактических физико-механических характеристик пород отвала, с его поверхности произведен отбор проб по схеме, которая позволяет наиболее достоверно определить свойства характерных фракций. Были отобраны образцы с вершины и у подножия отвала. Определение прочностных характеристик производилось при помощи механического прибора-пробника БУ-39, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов горных пород отвала "Железняк"

Место отбора проб	Кол-во испытаний	Предел прочности на растяжение $\sigma_p^{sp}, \text{ кгс/см}^2$	Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}^{sp}, \text{ кгс/см}^2$	СКО Δ , кгс/см^2	Коэффициент вариации v , %
Песчаный сланец	8	32,71	645	58	9
Песчаник	6	47	845	116	13

По результатам испытаний отобранных проб минимальная прочность пород в сухом состоянии составила 65 МПа.

Породный отвал № 8 шахты "Булавинская", г. Енакиево.

Для засыпки затопленной части ствола № 2 шахты "Красный Профинтерн" был выбран и обследован плоский породный отвал № 8 шахты "Булавинская" (рис. 2).



Рис. 2. Плоский породный отвал № 8 шахты "Булавинская"

Отвал сформирован в процессе проходки скипового ствола шахты "Булавинская", в мощности вмещающих пород которого песчаники, песчаные сланцы и известняки составляют соответственно 49,4, 42,9 и 0,79 %.

Для определения прочностных характеристик пород террикона были отобраны образцы с вершины и у подножия отвала. Прочностные характеристики пород отвала № 8 шахты "Булавинская", результаты испытаний образцов, представлены в таблице 2.

Таблица 2
Результаты испытаний образцов горных пород отвала "Булавинская"

Место отбора проб	Кол-во испытаний	Предел прочности на растяжение $\sigma_{\text{р}}^{\text{сп}}, \text{ кгс/см}^2$	Предел прочности на сжатие $\sigma_{\text{сж}}^{\text{сп}}, \text{ кгс/см}^2$	СКО $\Delta, \text{ кгс/см}^2$	Коэффициент вариации $v, \%$
Песчаный сланец	8	35,7	614	148	24
Песчаник	7	45	900	150	13

По результатам испытаний отобранных проб установлено, что прочность пород в сухом состоянии составила более 70 МПа.

Проведенный анализ материала обследованных породных отвалов показал, что песчаники и песчаные сланцы в их составе превышают 85-88%. Фактическая прочность пород отвалов превышает значение

15-20 МПа, регламентируемое требованиями КД-12.12.005-2001, п. 6.6.3 [3]. Это дает основание считать их подходящими для использования в качестве материала засыпки затопленных стволов.

Список литературы

1. Дрибан В. А. Алгоритм принятия решений при использовании вертикальных шахтных стволов в водоотливных комплексах с погружными насосами [Текст] / В.А. Дрибан, Б. В. Хохлов, А.М. Терлецкий, С.В. Голдин, М.Д. Рожко // Труды РАНИМИ: сб. научн. трудов. – Донецк, 2019. – № 8 (23). – С. 255-272.

МИГРАЦИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕННЫХ ВОДАХ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ ВАЛДАЙСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ)

Баранов Д.Ю.

Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции
Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского
Российской академии наук (ГЕОХИ РАН)

Введение

Актуальной задачей современности является определение химического состава почвенного раствора и его изменения в почвенном профиле [3]. Исследования многих специалистов показали, что почвенные растворы играют важную роль в почвообразовании и транспорте элементов, поскольку все процессы химического и биологического преобразования органических и минеральных соединений протекают непосредственно в жидкой фазе почвы. Твердая фаза почвы является ионообменником и каркасом миграционной среды [4]. Территории, не подверженные интенсивному антропогенному воздействию могут отражать механизмы естественной миграции элементов в почвенных растворах и быть индикатором трансграничных аэротехногенных загрязнений. Исследуемый район Валдайской возвышенности расположен вдали от крупных промышленных центров. Основной принос поллютантов в почвенные растворы происходит за счет пылевого атмосферного осаждения и вместе с атмосферными осадками.

Для исследования форм элементов в изучаемых почвах была выбрана следующая группа: Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Co (по классификации Гольдшмидта, выбранные элементы являются сидерофильными [Ni, Co] и халькофильными [Cu, Zn, Pb, Cd] микроэлементами). Выбранная группа элементов представлена в Программе глобального мониторинга

окружающей среды ООН, как наиболее опасная (ЮНЕП)[1]. Нахождение элементов в почвенных растворах может рассматриваться как тяжелые металлы, загрязняющие окружающую среду, или как незаменимые, биологически значимые элементы. Отнесение микроэлементов к той или иной группе будет зависеть от их концентрации и подвижности в почвенном растворе [Ni, Co, Cu, Zn].

Объекты и методы

Исследуемый участок располагался в лесной зоне, северо-западнее г. Валдай рядом с о. Гусиное, согласно иерархии мировой реферативной базы почвенных ресурсов IUSS WRB (2015) был представлен подзолистыми почвами (PZ). В исследуемом профиле почвы выделено 3 слоя:

№1 – Follic horizon. Органический горизонт, мощностью до 7 см, представлен темной лесной подстилкой с грубым гумусом.

№2 – Albic horizon. Элювиальный горизонт, мощностью до 12 см, сложен светло-серым и светло-коричневым песком.

№3 – Spodic horizon. Иллювиальный горизонт, мощностью более 10 см, сложен буро-коричневым песком с включениями железо-марганцевых конкреций.

Шесть лизиметрических установок были заложены в почву с ненарушенным строением на глубине 20 и 30 см попарно. Выбранные мощности характеризуют переход органически преобразованной части почвенного профиля в минерализованную (рис. 1).

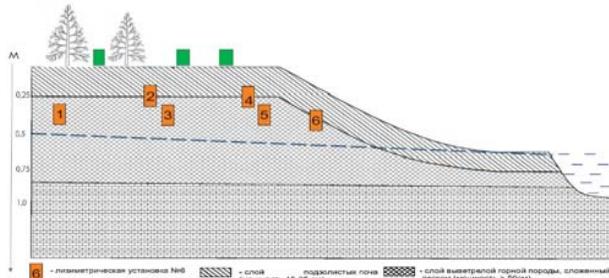


Рис. 1. Схема расположения лизиметрических установок

Результаты

По данным химического и минералогического анализа почвенных горизонтов наблюдается повышенное валовое содержание Ni, Zn в верхнем горизонте, по сравнению с нижними. Т.к. рассматриваемые микроэлементы входят в состав кристаллической решетки смектита (содержание которого также более высокое в верхнем горизонте), то можно предположить, что преобладание никеля и цинка связано с более высоким содержанием глинистого минерала. Pb является типичной примесью кальцита и микроклина, однако самое высокое содержание свинца наблюдается в слое, где суммарное количество кальцита и микроклина не является преобладающим.

Динамика изменения Zn в почвенных растворах зависит от биопотребления/биоразложения и выщелачивания из минералов. Концентрация Zn увеличивается с возрастанием глубины вследствие более интенсивного выщелачивания и снижающегося биопотребления. Содержание Cu снижается с возрастанием глубины, что обусловлено более низкой подвижностью элемента.

Среднее содержание Co в почвенных водах уменьшается с глубиной и незначительно меняется в зависимости от сезона. По сравнению с литературными данными, можно предположить, что элемент в дефиците у растений. Самые низкие средние концентрации Ni в почвенных растворах всех лизиметров отмечаются летом. Возрастание содержания Ni в почвенных водах с глубиной можно объяснить снижением количества тяжелой фракции и увеличением интенсивности выщелачивания.

Средние концентрации Pb и Cd в почвенных растворах сезонно снижаются с глубиной, самые низкие значения отмечаются летом. Pb и Cd активно мигрируют в почвенных горизонтах в составе органических комплексов, которые могут задерживаться в верхних слоях почв. Уменьшение концентрации металлов в лизиметрических водах с глубиной, обусловлено снижением количества органического вещества.

Список литературы

1. Российский национальный комитет содействия Программе ООН по окружающей среде [электронный ресурс: <http://www.unepcom.ru/index.php>]. Дата обращения: 10.03.2021.
2. Eaton A., Arnold E., Archie A. E., Rice E. W., Clesceri L. S. (1992) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 17th ed. American Public Health Association (APHA); Washington, DC.
3. Panova E.G., Oleinikova G.A., Matinyan N.N., Bakhmatova K.A. (2016) Chemical Composition of water-soluble fraction in soils on glaciolacustrine deposits of the Russian Plain *Soil Chemistry*. 49(6), p. 622-631.
4. Seta A.K., Karathanasis A.D. (1997) Stability and transportability of water-dispersible soil colloids. *Soil Science Society of America Journal*. 61 (2), p. 604-611.

ОЧИСТКА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В КАТАЛИТИЧЕСКОМ КЕРАМИЧЕСКОМ ФИЛЬТРЕ

Красный Б.И., Серебрянский Д.А., Сластилов А.А.

Общество с ограниченной ответственностью

Научно-технический центр «Бакор» (ООО «НТЦ «Бакор»)

Предприятия, сжигающие опасные отходы, сталкиваются с проблемой превышения содержания оксидов азота, серы, углерода, а также диоксинов, бензапирена и других веществ в газовых выбросах. Комплексную очистку дымовых газов от выбросов маркерных веществ при термической утилизации отходов в соответствии с требованиями ИТС 9-2020 [1] предлагается проводить в керамическом высокотемпературном фильтре с каталитически активными фильтрующими элементами. В данном аппарате можно одновременно проводить улавливание химически активным сорбентом SO_2 , HCl , HF , каталитическое окисление кислородом воздуха CO , углеводородов и диоксинов и каталитическое восстановление оксидов азота аммиаком.

Установки для очистки высокотемпературных газов на основе керамических фильтрующих элементов разрабатываются в ООО «НТЦ «Бакор» с 2003 года [2-6]. В настоящее время налажено производство волокнистых, а также зернистых керамических фильтрующих элементов на основе оксида алюминия или карбида кремния. Фильтрующий элемент представляет собой вертикальный цилиндр, с закрытым эллиптическим днищем и открытым фланцем на вершине. Типоразмерный ряд таких фильтрующих элементов достаточно широк: диаметром – от 60, до 150 мм; длиной – от 1000 мм, до 6000 мм.

Комплексная очистка газов в керамических каталитических фильтрах рассмотрена в [7-8] и в 7-ми справочниках НДТ. На рис. 1 показан общий вид установки фильтрации с указанием компонентов, подлежащих очистке.



Рис. 1. Общий вид фильтрующей установки с указанием удаляемых компонентов из газового потока

В НТЦ Бакор разработана и изготовлена пилотная установка керамического фильтра ФКИ 9,8 с площадью фильтрации 9,8 м².

Принцип работы установки: высокотемпературный газопылевой поток поступает через входной патрубок (Вх1), на котором установлены датчики температуры, давления и узел подачи сорбента. Каталитические яды, такие как: SO_2 , HCl , HF , нейтрализуются, контактируя с мелкодисперсным сорбентом (NaHCO_3 или $\text{Ca}(\text{OH})_2$) перед каталитическим фильтром. Далее поток поступает в фильтровальную установку ФКИ-9,8 (2), где происходит очистка от твердых частиц пыли, зола и сорбента, путём их осаждения на поверхности фильтрующих элементов. Контактная с активным компонентом катализатора, при температуре фильтрации 350-450 °С углеводороды, ЛОС, CO , диоксины и т.п. окисляются кислородом воздуха, а оксиды азота могут быть восстановлены до N_2 при добавлении аммиака или мочевины. Образующийся в процессе очистки газа слой твердых частиц на фильтрующих элементах регенерируется воздушным импульсом из системы импульсной регенерации, после чего пыль оседает в нижней пирамидальной части установки и далее через камеру шлюзования (2) поступает в пылесборную ёмкость (3). После очистки от твердых примесей поток поступает в теплорекуператор (4), где принудительно охлаждается контуром стенда (4, 8, Вх2, Вых2). Остыв, поток поступает в высоконапорный вентилятор (5), который и создаёт требуемый напор. После, через диафрагменный расходомер (6) и лазерный пылемер (7) поток выбрасывается в атмосферу (Вых1).

Общий вид пилотной установки ФКИ-9,8 приведен на рис. 2. Технологическая схема установки на рис.3.

Реакции на поверхности твердого сорбента, можно отнести к классу топохимических реакций первого порядка. Они сопровождаются расходом твердого тела (исходника) и накоплением твердых или газообразных продуктов по мере протекания реакции. Модель сферических частиц удовлетворительно описывает процесс химического взаимодействия на поверхности гранул сорбента, т.к. частицы неправильной формы быстро принимают форму, близкую к сферической. По мере протекания реакции, сокращается реакционная поверхность в связи с уменьшением размеров частиц, поэтому снижается и скорость процесса. Математическая модель процесса во внешнедиффузионной и кинетической областях протекания имеет вид:

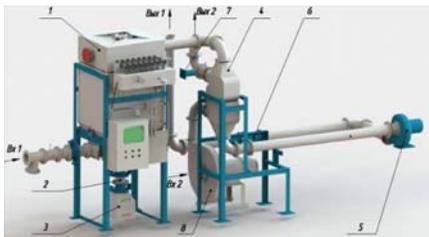


Рис. 3. Цепь аппаратов экспериментальной фильтрующей установки ФКИ-9.8, где: 1 – установка ФКИ-9.8, 2 – патрубок шлюзования пыли, 3 – пылесборная ёмкость, 4 – теплообменник, 5 – вентилятор прокачки газов, 6 – диафрагменный расходомер, 7 – лазерный пылемер, 8 – вентилятор прокачки хладагента, Вх1 – вход запылённого потока, Вх2 – вход хладагента для теплообменника, Вых1 – выход отфильтрованного потока, Вых2 – выход хладагента после теплообменника

Таблица 4 – Конверсия твердой частицы X_A и время ее полного превращения в зависимости от области протекания процесса

Область протекания	Сжимающаяся сфера	Сжимающееся ядро
Внешне-диффузионная	$X_A = 1 - \left(1 - \frac{\tau}{\tau_n}\right)^3, \tau_n = \frac{c_{A0}R_0}{\beta_Y c_Y^{x=0}}$	$X_A = \frac{\tau}{\tau_n}, \tau_n = \frac{c_{A0}R_0}{3\beta_Y c_Y^{x=0}}$
Кинетическая	$X_A = 1 - \left(1 - \frac{\tau}{\tau_n}\right)^3, \tau_n = \frac{c_{A0}R_0}{k c_Y^{x=0}}$	

где X_A – степень превращения твердофазного реагента, τ – время пребывания реагентов в реакционной зоне, с; τ_n – время полного превращения реагентов, с; c_{A0} – начальная концентрация твердого реагента, моль/л; $c_Y^{x=0}$ – концентрация газообразного реагента (Y) в ядре потока газа, моль/л; R_0 – начальный радиус частицы A, м, β_Y – коэффициент массоотдачи реагента Y от ядра потока газа к поверхности твердой частицы через пограничный газовый слой, м/с, k – константа скорости химической реакции, с⁻¹.

В кинетической области протекания процесса образование золы не влияет на его скорость, т.к. образование твердой фазы изменяет только условия диффузии, а не кинетическое уравнение реакции.

Согласно оценочному расчету, проведенному по материальному балансу, при двукратном избытке сорбента для обеих моделей время полного превращения крайне мало и не превышает $6 \cdot 10^{-3}$ с.

Время пребывания реагентов можно рассчитать, зная объемный расход подаваемого сырья и объем (геометрические размеры) реакционной зоны:

$$\tau_k = \frac{V_k + V_r}{Q/3600} = \frac{0,7452 \text{ м}^3 + 0,0573 \text{ м}^3}{1000 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} / 3600 \text{ с}} = 2,889 \text{ с},$$

где V_k – объём камеры грязного газа ФКИ-9.8, м³; Q – объемный расход очищаемого газа, м³/ч; V_r – объём газохода, м³.

Таким образом, время пребывания сорбентов в фильтровальной установке составит 2,9 с при заданном расходе газа – 1000 м³/ч (при р.у.) что вполне достаточно для проведения быстрой реакции нейтрализации кислых газов в аппарате.

Выводы:

Керамический фильтр может обеспечить остаточную концентрацию маркерных веществ в очищенных газах в соответствии с требованиями ИТС 9-2020 [1] и санитарно-гигиенических норм [2] в отличие от уже устаревших существующих систем газоочистки.

Керамические фильтры включены в 7 Европейских справочников по наилучшим доступным технологиям и два Российских. Они способны обеспечить остаточную концентрацию твердых частиц на выходе из аппарата менее 2 мг/м³, очистку кислых газов HF, HCl, SO₂, а также обеспечивать каталитическое дожигание СО, ЛОС, ПХДД/ПХДФ.

Пilotная установка фильтра керамического импульсного ФКИ-9.8 рассчитана на очистку 1000 м³/час газового потока температурой до 600 °С. Установка подключается к действующей системе газоочистки с передачей данных датчиков и сенсоров онлайн через сеть Интернет. Наличие лазерного пылемера позволяет в режиме реального времени отслеживать остаточную концентрацию твердых частиц на выходе из установки.

Список литературы

1. ИТС 9-2020. Информационный справочник по наилучшим доступным технологиям. Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами. – М. Бюро НДТ, 2020. – 236 с.

2. Кофман Д. И., Востриков М. М. Термическое уничтожение и обезвреживание отходов – СПб.: НПО «Профессионал», 2013. – 340 с., цв. вкл.

3. Вальдберг А.Ю., Казначеева Т.О. Красный Б.Л., Тарасовский В.П. Исследование фильтровальных свойств керамических материалов // Хим. и нефтегазовое машиностроение. 2005 №1.

4. Красный Б.Л. Вальдберг А.Ю. Керамический фильтр – пилеуловитель будущего. Экология Производства. 2005 № 2

5. Красный Б.Л., Тарасовский В.П., Красный А.Б., Вальдберг А.Ю. и др. Высокотемпературная очистка горячих дымовых газов промышленных печей от пыли фильтрующими элементами из пористой проницаемой керамики. Новые огнеупоры № 11 – 2006 С. 43-48.

6. Устройство для изготовления изделий с волокнистой структурой. Красный Б.Л., Киселев В.Г. и др. Патент №2307702. 10.10.2007 Бюл. №28.

7. Способ изготовления керамического фильтрующего элемента с волонкнистой структурой. Красный Б.Л., Красный А.Б. и др. Патент №2371423. 27.10.2009 Бюл. №30.

8. ИТС 22-2016 «Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров) а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях».

ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ АПАТИТА ПРИ ВОДОПОДГОТОВКЕ

Артемьев А.В.

Горный институт Кольского научного центра РАН,
г. Апатиты

Основным минералом, представляющим твердую фазу технологических стоков обогатительных фабрик, перерабатывающих апатит-нефелиновые руды, является апатит. Как показали проведенные исследования, твердая фаза самого загрязненного стока (слив сгустителя апатитового концентрата) на 90% представлена этим минералом, в твердой фазе оборотной воды содержится до 13,5% апатита [1], поэтому изучение поверхностных характеристик этого минерала имеет большое значение для подбора оптимального реагентного режима водоподготовки. Известно, что состав и структура поверхностного слоя у дисперсных частиц может меняться в зависимости от вещественного состава окружающей среды. В работе с помощью различных методов проведен анализ изменения свойств поверхности апатита под влиянием компонентов, присутствующих в технологическом процессе.

Методом оценки суспензионного эффекта было показано [1] преобладание на поверхности апатита основных центров, что создает предпосылки для взаимодействия с поверхностью положительно заряженных ионов. Под действием применяемых реагентов меняется ионный состав жидкой фазы, происходит изменение поверхностных свойств дисперсной фазы, что создает условия для эффективного применения анионного полиакриламидного флокулянта.

Проведена оценка величины дзета-потенциала апатита и его изменения при взаимодействии с различными органическими и неорганическими реагентами, ионами, содержащимися в загрязненной воде. Анализ результатов измерения дзета-потенциала методом лазерного доплеровского электрофореза подтвердил, что потенциалобразующий слой на поверхности апатита образован анионами. Согласно составу и строению апатита анионы представлены двумя видами групп – фосфатной и гидроксильной [3]. Оценка электро-поверхностных свойств апатита в присутствии солей кальция и железа в равной концентрации (рисунок 1) показала большее влияние трехвалентного катиона. Адсорбция катионов кальция из раствора с концентрацией 40 мг/л Ca^{2+} уменьшает отрицательное значение дзета-потенциала и смещает точку нулевого заряда в более высокую область pH. Дальнейшее увеличение концентрации ионов кальция может привести к полной перезарядке поверхности и поменять на положительный знак поверхности апатита [3,4]. Катионы железа, имеющие больший положительный заряд, эффективней нейтрализуют отрицательно заряженные группы на поверхности апатита и уже при концентрации ионов железа 40 мг/л происходит перезарядка поверхности.

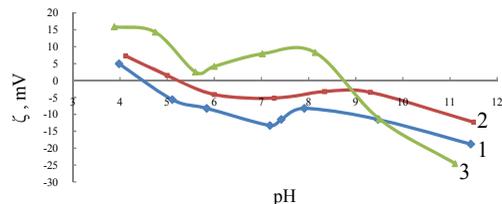


Рис. 1. Величина дзета-потенциала апатита (1) в присутствии ионов 40 мг/л Ca^{2+} (2) и 40 мг/л Fe^{3+} (3)

Таким образом, показано, что в загрязненной солями поливалентных металлов оборотной воде, на поверхности апатита закрепляются положительные ионы и более эффективным будет применение при водоподготовке флокулянтов анионного типа. Эти результаты согласуются с данными, полученными при измерении суспензионного эффекта [2].

Методом ИК-спектроскопии также было показано влияние катионов кальция на закрепление на поверхности апатита анионных соединений (на примере олеиновой кислоты). Наличие полос на соответствующих частотах ИК-спектров апатита, обработанного растворами хлорида кальция, олеата натрия по отдельности и последовательно (рис. 2) показывает адсорбцию этих реагентов на поверхности минерала. Сдвиг полос, характеризующих соли органических кислот (рис. 2г) в области 1420-1580 см^{-1} показывает закрепление олеат-аниона на атомах кальция, предварительно адсорбированного на поверхности апатита. Уменьшение интенсивности полосы на частоте 1630 см^{-1} на спектре (рис. 2г) по сравнению со спектром (рис. 2в) говорит об уменьшении количества кристаллизационной воды, связанной с ионами кальция, при образовании олеата кальция на поверхности обработанного апатита.

Таким образом, анализируя полученные различными способами данные, можно предположить алгоритм изменения свойств поверхности апатита: в загрязненной солями поливалентных металлов оборотной воде, на основной поверхности апатита закрепляются положительные ионы и создаются предпосылки для более эффективного действия анионного флокулянта.

В случае, когда флокулянт используется для очистки от взвешенных частиц апатита, уже обработанных коагулянтом железным купоросом, можно предположить следующий механизм взаимодействия: на частицах апатита с адсорбированным на нем олеат-ионом под действием железного купороса закрепляются ионы железа (или его гидроксокомплексы), придавая поверхности частицы положительный заряд. Имеющиеся в растворе ионы кальция также способствуют усилению флокулирующего эффекта за счет образования сложных мостиков типа «частица – макроион – Ca^{2+} – макроион – частица», тем самым увеличивая эффективный размер молекулы флокулянта.

Результаты, полученные тремя различными способами изучения изменения поверхностных свойств хорошо коррелируют между собой. Учитывая сложность и дороговизну методов элетрофореза и ИК-спектроскопии можно рассматривать простой и доступный метод оценки СЭ как способ прогнозирования эффективности действия флокулянтов.

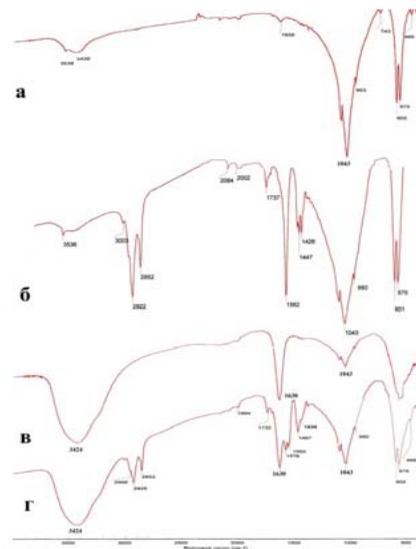


Рис. 2. ИК-спектр апатита (а), апатита, обработанного олеатом натрия (б), хлоридом кальция (в), последовательно хлоридом кальция и олеатом натрия (г)

Список литература

1. Артемьев А.В., Митрофанова Г.В. / Оценка суспензионного эффекта в процессах флокуляции / Материалы Международного совещания "Инновационные процессы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья" (Плаксинские чтения – 2020) 21-26 сентября 2020 г., г. Апатиты, – С.207-208.
2. Артемьев А.В., Митрофанова Г.В. / Использование анионного флокулянта в процессе подготовки оборотной воды для флотации апатит-нефелиновых руд / Вестник ИГТУ. 2020, Т. 23, № 2, 150-159 с.
3. YaoyangRuan, Zeqiang Zhang, HuihuaLuo, Chunqiao Xiao, Fang Zhou and Ru-an Chi / Effects of Metal Ions on the Flotation of Apatite, Dolomite and Quartz / Minerals 2018, 8(4), 141; <https://doi.org/10.3390/min8040141>

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОФАЗНОЙ СТРУИ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Кильдибаева С.Р., Кильдибаева Г.Р., Харисов Э.И.

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета

Исследование течения многофазных затопленных струй тесно связано с увеличением масштабов добычи нефтепродуктов из глубоководных залежей на дне Мирового океана. По оценкам исследователей на сегодняшний момент в пределах Мирового океана установлено около 70 нефтегазоносных или потенциально нефтегазоносных бассейнов или провинций [1]. Согласно источнику [2] запасы Мирового океана составляют 251 млрд т условного топлива (т у. т.). Они распределены неравномерно. В Северном Ледовитом океане сконцентрировано 52 % топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), в Индийском — 23 %, в Атлантическом — 19 %, в Тихом — 6 %.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью выявления особенностей распространения и моделирования многофазных затопленных струй. Природа течения струй, распространяющихся в толще воды, может быть как естественной, так и техногенной. Особый интерес к глубоководной добыче углеводородов создало потенциальную угрозу возникновения техногенных утечек. Яркими примерами таких утечек являются разливы на нефтедобывающих платформах Ixtoc-1, Deepwater Horizon [3]. Разлив нефти в водоем негативно сказывается на экологическую систему региона, флору и фауну, а также несет экономические издержки для нефтедобывающей компании и региона в целом. Для ликвидации утечек углеводородов в водоеме в первую очередь применяются методы по локализации разлива.

Для быстрого реагирования в случаях техногенной утечки необходимо прогнозировать поведение струи, которое теоретически может зависеть от ряда факторов: состав и теплофизические характеристики струи, теплофизические характеристики окружающей среды, наличие течения и примесей в струе, соответствие условий окружающей среды образованию и разложению газовых гидратов.

На рисунке 1 показана схема глубоководного разлива углеводородов (нефти и газа), поступающих из некоторого источника истечения. Первоначально смесь нефти и газа поднимается, как струя, затем постепенно она может терять свою динамику и плавучесть под действием течения окружающей жидкости в стратифицированной среде океана. Газ, поднимаясь, расширяется из-за перепада давлений и, следовательно, увеличивает плавучесть струи. Согласно экспериментальным исследованиям при достижении нейтрального уровня плавучести (плотность струи равна плотности окружающей воды) нефть и газ движутся, как отдельные капли и пузырьки [4-5]. Достижение струи нейтрального уровня плавучести зависит от ряда факторов, таких как стратификация окружающей среды, плотность нефти, глубина и начальная скорость струи.

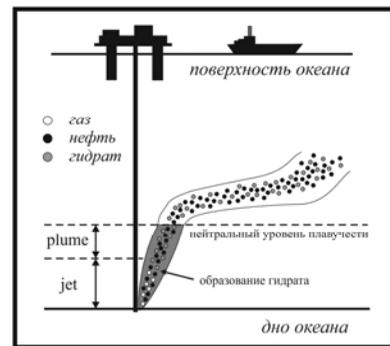


Рис. 1. Схема многофазной затопленной струи

В данной работе будет рассматриваться только начальный этап течения углеводородов – струя. Для этого этапа построена математическая модель, описывающая динамику распространения углеводородов, особенности их взаимодействия.

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

Список литературы

1. Fleegeer J.W. Recovery of saltmarsh meiofauna six years after the Deepwater Horizon oil spill / J.W.Fleegeer, M.R.Riggio, I.A. Mendelssohn, Q. Lin, A. Houc, D.R. Deis // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology V. 502, 2018, P. 182-190.
2. Chen F. H. A model for simulating deepwater oil and gas blowouts part ii: comparison of numerical simulations with deepspill field experiments/ F. H.Chen, P. D. Yapa // Journal of Hydraulic Research. – 2003. – Vol. 41, № 4. – P.353-365.
3. Zheng L. A model for simulating deepwater oil and gas blowouts – part I: theory and model formulation / L. Zheng P. D. Yapa, F. Chen // Journal of hydraulic research. – 2002. – Vol. 41, № 4. – P. 339-351.
4. Rye, H. Subsurface oil release field experiment-observations and modeling of subsurface plume behavior / H. Rye, P.J. Brandvik, M. Reed //Proceedings, 19th arctic and marine oil spill program (AMOP), technical seminar. – 1996. – № 2. – P.1417–1435.
5. Yapa, P. D. Modeling of underwater oil/gas jets and plumes / P. D. Yapa, Zheng L., Nakata K. // Journal of hydraulic engineering. – 1999. – Vol. 125, № 5. – P. 481-491.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ГЛУБОКОВОДНЫХ УТЕЧЕК

Кильдибаева С.Р.

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета

В современных исследованиях большое внимание уделяется особенностям добычи углеводородов из глубоководных залежей и соответственно проблемам ликвидации глубоководных техногенных разливов. Запасы углеводородов в недрах Мирового океана практически не тронуты. Это положительный момент, однако, в случае аварии возрастает риск разлива нефти в водоем. Как показали случаи таких разливов в Мексиканском заливе в 1979 и 2010 годах[1], доступные на сегодняшний момент технологии имеют ряд негативных аспектов: длительное время реагирования на разливы, невозможность полного сбора поступивших в воду углеводородов, отсутствие метода ликвидации, при использовании которого процесс образования гидратов не вызывал бы дополнительных трудностей. В связи с этим возрастает интерес исследователей к инновационным способам устранения утечек и сбора углеводородов во время их разлива.

Одним из наиболее ярких примеров рассматриваемой проблемы является разлив нефти в Мексиканском заливе на платформе Deepwater Horizon, который произошел в 2010 году. Было предпринято несколько попыток устранить утечку в Мексиканском заливе. Особенностью разлива на платформе было образование гидратов на поверхности газовых пузырьков, сопровождающих поток нефти. Некоторые из предложенных методов устранения утечки оказались неудачными из-за образования гидратов. Более подробно об образовании гидратов на поверхности пузырьков рассмотрено в работах [2].

В данной работе рассматривается один из способов устранения утечки – установка устройства в виде купола, которое может быть установлено над местом утечки. Схема расположения купола показана на рисунке 1. Использование данного устройства имеет ряд преимуществ: быстрая транспортировка к месту разлива и его установка, защита от всплытия устройства вследствие накопления гидратов внутри купола, возможность дальнейшего использования месторождения для добычи углеводородов с возможностью эвакуации. Материалом устройства является полиуретан, в результате чего его транспортировка и установка не занимает много времени. Купол крепится непосредственно над местом разлива.

Возможность использования устройства тесно связано с начальными параметрами углеводородов, составом поступающих углеводородов, их начальными характеристиками и характеристиками окружающей среды. Также немаловажную роль играет соответствие параметров окружающей среды условиям образования гидратов.

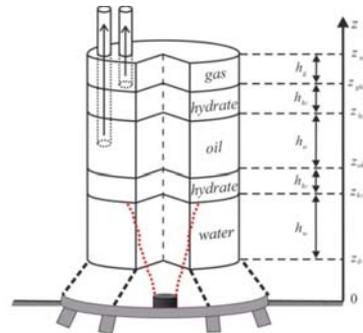


Рис. 1. Схема купола для ликвидации глубоководных утечек

Первым этапом моделирования купола является изучение механизма распространения многофазной струи. Для описания этого процесса рассматривается распространение струйных потоков, распределение которых зависит от состава струи, условий течения, начальной скорости углеводородов, скорости окружающей среды, а также температуры углеводородов и термобарических параметров окружающей воды. Процесс течения струи углеводородов для рассматриваемой установки рассмотрен в [2-3], включая значения температуры, которые используются при расчете накопления углеводородов в куполе в рамках этой работы.

Список литературы

1. Fleeger J.W. Recovery of saltmarsh meiofauna six years after the Deepwater Horizon oil spill / J.W.Fleeger, M.R.Riggio, I.A. Mendelssohn, Q. Lin, A. Houc, D.R. Deis // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology V. 502, 2018, P. 182-190.
2. Гималтдинов И. К. Модель затопленной струи с учетом двух предельных схем гидратообразования/ И.К. Гималтдинов, С.Р. Кильдибаева // Теплофизика и аэромеханика. 2018. Т. 25, № 1. С. 79-88.
3. Кильдибаева С.Р. Математическая модель затопленной струи с учетом влияния 3D течения окружающей воды / С.Р. Кильдибаева, И.К. Гималтдинов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2019. – Т. 12, № 1. – С. 137-143.

МОНИТОРИНГ СМЕЩЕНИЙ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Сайлыгараева М.А.*

Казахский Национальный Исследовательский Технический
Университет им. К.И.Сатпаева

Во всем мире, где производится строительство высотных и уникальных зданий и сооружений, уделяется огромное значение вопросам надежности и безопасности их эксплуатации на длительный период существования. В этой связи разработка эффективных методов выявления и прогнозирования деформаций инженерных сооружений является актуальным инструментом по успешному решению и развитию вопросов обеспечения надежности, долговечности и безопасности эксплуатации сооружений. Решение данного вопроса способствует повышению эффективности использования высотных и уникальных зданий и соору-

жений, помогает рационально планировать различные регламентные работы, в том числе, геодезические наблюдения за деформацией сооружений и приносит определенный социальный эффект.

К примеру, для исследования деформационных процессов зданий в строящемся микрорайоне был использован комплексный метод, включающий в себя высокоточные спутниковые GPS-измерения, геодезические наземные измерения, георадиолокационное зондирование и радарную интерферометрию. В результате наблюдений был проведен сбор высокоточных спутниковых данных с городских сетей GPS-пунктов и построены карты-схемы пространственно-временного распределения скорости движения земной коры. Также были произведено нивелирование по контрольным маркам жилого дома микрорайона. Для анализа грунта было проведено георадиолокационное зондирование локальных участков городских территорий, в результате чего были получены георадарные профили.



Рис. 1. Смещение отдельных жилых зданий

В результате обработки данных радарной интерферометрии для оценки смещений земной поверхности и состояния высотных зданий и сооружений на примере строящегося микрорайона были получены значения смещения практически на каждое здание. На рисунке 1 изображены векторы смещения зданий. Максимальная вертикальная скорость смещения точек составила 300 мм/г. Причиной развития деформаций домов стало увлажнение грунтов оснований, которое произошло за счет усилившихся осадков и постепенного накопления влаги в грунте из-за инфильтрации поверхностных вод.

* Сайлыгараева М.А., докторант (руководитель Милетенко Н.А.)

Таким образом, комплексное изучение с использованием наземно-космических данных даёт нам возможность своевременно оценить активно протекающие деформационные процессы, выявить возможные причины развития деформации земной поверхности и зданий-сооружений, а также предложить эффективные методы решения задач по обеспечению их устойчивого состояния и минимизации деформаций.

Список литературы:

1. Михелев Д.Ш., Рунов И.В., Голубцов А.И. Геодезические измерения при изучении деформаций крупных инженерных сооружений. М. Недра 1977 г. 152 с.
2. Zhantayev Zh., Junisbekova V., Nurakynov S. Assessing the suitability of Sentinel-1 data for subsidence monitoring // GIS IN CENTRAL ASIA CONFERENCE – GISCA'18 Geoinformatics for Regional Development, – Almaty, – June 14-17, 2018.
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)

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Пыталев И.А., Якишина В.В.</i> Взаимовязка процессов селективной выемки пород вскрыши и отвалообразования при формировании ограждающих дамб техногенной емкости	3
<i>Матвеева Т.Н., Гетман В.В., Каркешкина А.Ю.</i> Применение реагента дитиопирииметана для повышения извлечения золота из труднообогатимых золотосодержащих руд	7
<i>Дрибан В.А., Хламов Д.М.</i> Численное моделирование упрочнения приконтурного горного массива	10
<i>Подкаменный Ю.А.</i> Экспериментальное обоснование состава люминофоров для индикации алмазов в условиях рентгенолюминесцентной сепарации кимберлитовых руд	13
<i>Добрынин А.А., Добрынин И.А.</i> К вопросу о роботизации взрывных работ в горной промышленности	17
<i>Федотенко В.С.</i> Защита интеллектуальной собственности, как необходимое условие преодоления глобальных вызовов на современном этапе развития горнодобывающего комплекса	19
<i>Ахметжанов А., Жалгасбеков Е., Касымканова Х.М., Милетенко Н.А.</i> Наземное лазерное сканирование	21
<i>Абдрахманова З.Т., Кан А.Н., Юн Р.В., Ефименко С.А., Макаров Д.В.</i> Рентгенофлуоресцентный мониторинг геологических проб на балансовые компоненты	24

ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ, РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

<i>Кочанов С.А., Кочанов А.Н.</i> Ультразвуковая диагностика и оценка прочности горных пород	30
<i>Трофимов В.А., Филитов Ю.А., Белоусов Ф.С., Пашичев Б.Н.</i> Волновое поле точечного источника в массиве горных пород с учетом диссипации энергии	33
<i>Стариков Г.П., Мельник Т.Н., Подрухин А.А.</i> Накопление и массоперенос метана в геодинамически активных зонах	36
<i>Шалованов О.Л., Бородин Д.С., Салий С.Г.</i> Радонометрия как один из методов изучения современной геодинамической активности и мест скопления углеводородов	40

<i>Стариков Г.П., Мельник Т.Н., Нескреба Д.А.</i> Методические основы определения прочности угля способом одноосного сжатия гранулированных образцов.....	44
<i>Стариков Г.П., Мельник Т.Н., Хацеваатская Н.В., Шажко Я.В., Кравченко А.В.</i> Прогноз очагов геологических нарушений по соотношению диффузионной и фильтрационной составляющей потока метана из угля.....	47
<i>Косырева М.А., Еременко В.А., Сухорукова М.А., Шерматова С.С.</i> Разработка метода количественной оценки устойчивости техногенно измененного массива.....	50
<i>Стариков Г.П., Шатохин С.В., Корвякова Н.П.</i> Структурно-фазовые изменения в кварцсодержащих горных породах при деформациях в наковальне Бриджмена.....	54
<i>Кулибаба С.Б., Федоров Е.В.</i> Анализ недостатков действующих правил охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок.....	60
<i>Блохин Д.И., Лаптева А.</i> Экспериментальное выявление пространственных периодов обрушения кровли при отработке угольных пластов длинными лавами.....	63
<i>Радченко А.Г., Киселев Н.Н., Гетманец Л.В., Радченко А.А.</i> Геомехано-газотермодинамическая модель формирования выбросоопасности угольных пластов на текущем уровне.....	66
<i>Закорименный И.М., Федянин О.С.</i> Оценка влияния строительства тоннеля метрополитена с применением ТПМК на существующие объекты инфраструктуры.....	69
<i>Иванов П.Н.</i> Исследование упругих свойств каменных углей методом лазерно-ультразвуковой томографии.....	73
<i>Рыбалкин Л.А., Сердюк И.М., Ефремов Р.А.</i> Разработка метода исследования нарушения структуры угля при воздействии на него жидким азотом.....	76
<i>Бут Е.Н.</i> Источники выделений углекислого газа воздействующего на физико-механические свойства горных пород.....	79
<i>Панов А.В., Мирошниченко Н.А.</i> Оценка степени дегазации при отработке угольных пластов.....	82
<i>Гусева И.П.</i> О необходимости учета сорбционно-кинетических параметров при прогнозе газовыделения.....	86

<i>Докучаева А.И., Палкин А.Б., Малинникова О.Н.</i> Методологические аспекты оценки склонности ископаемых углей к самовозгоранию.....	88
<i>Закорименный А.И., Сутупов П.В.</i> Проблемы устранения водопроявлений в тоннелях с высокоточной железобетонной обделкой.....	93
<i>Нгуен Ван Минь, Еременко В.А., Аксенов З.В., Умаров А.Р.</i> Прогнозирование потенциальных зон растягивающих деформаций при проходке подготовительных выработок на глубине более 1 км.....	96
<i>Умаров А.Р., Янбеков А.М., Хажыгылай Ч.В.</i> Исследование процесса формирования вторичного поля напряжений для условий применения «каркасной» горной конструкции на основе численного моделирования.....	99
<i>Хажыгылай Ч.В., Умаров А. Р., Янбеков А.М.</i> Расчет свойств эквивалентного материала для физического моделирования «каркасной» горной конструкции.....	102
<i>Новиков Ю.В., Бурдонов А.Е.</i> Изменение физических характеристик магматических пород при различных температурах.....	106
<i>Радченко А.Г., Киселев Н.Н., Новикова О.А., Радченко А.А.</i> Изменение напряженно-деформированного состояния угольного массива при бурении горизонтальных скважин.....	110
<i>Мингазов Р.Я., Шиповский И.Е., Закалинский В.М.</i> Компьютерное моделирование волнового поля разновременного взрыва рядов сближенных скважинных зарядов.....	114
<i>Чепур М.Д., Николенко П.В.</i> Изучение особенностей распространения ультразвуковых колебаний в образцах осадочных горных пород в условиях термобарического нагружения.....	117
<i>Рева В.Н., Васютина В.В.</i> Исследование эффективной поверхностной энергии применительно к трещиностойкости горных пород.....	120
<i>Кубрин С.С., Аверин А.П., Белоусов Ф.С., Терёшкин А.И.</i> Автоматизация аэрогазового контроля горных выработок с использованием распределённых систем мониторинга запылённости.....	123
<i>Николенко П.В., Зайцев М.Г.</i> Перспективы развития ультразвукового метода контроля структуры и состояния массива на основе комплексирования акустических и оптических измерений.....	128

<i>Ануфренкова П.С.</i> Перспективные методы оценки криодезинтеграции углей на основе анализа параметров ультразвуковых сигналов	131	<i>Силин С.А.</i> Опыт и условия применения технологий разработки россыпных месторождений Якутии.....	166
<i>Канин В.А., Васютина В.В., Пивень Ю.А.</i> Особенности распределения стабильных изотопов углерода в угле, метане и углекислородом газе в Донецком каменноугольном бассейне	134	<i>Янникова С.А., Янников А.М.</i> Гидрогеологическая характеристика юргинской свиты в пределах шахтных полей трубок «Мир» и «Интернациональная»	170
<i>Уткина А.В., Набатов В.В.</i> Особенности сигналов-идентификаторов при георадиолокационном выявлении разуплотнений в заобделочном пространстве.....	137	<i>Плохих В.В., Чецин Д.О.</i> Обоснование принципиальной схемы и исследование динамических параметров пневмоударной машины с изменяемой структурой ударной мощности	173
<i>Федоров Е.В., Харченко А.В., Чалдин И.В.</i> Оценка доли метано-выделения из отбитого угля в газовом балансе участка шахты.....	141	<i>Тарасов В.М., Фомин А.И., Тарасов Д.В.</i> Повышение уровня безопасности работников при совершенствовании технологии эксплуатации грузоподъемных устройств в шахте.....	177
<i>Нурбаев Н., Касымканова Х.М., Милетенко Н.А.</i> Анализ технологий, реализованных в ГНСС, увеличивающие точность инструментального контроля за состоянием устойчивости карьерных откосов.....	144	<i>Тарасов В.М., Фомин А.И., Тарасов Д.В.</i> Совершенствование техники и технологии освоения месторождений полезных ископаемых с применением новых технологий при добыче твердого полезного ископаемого подземным способом	183
<i>Ибех Н.У.</i> Особенности геодинамического мониторинга при разработке нефтяных месторождений Нигерии	147	<i>Першин А.И., Городилов Л.В., Чецин Д.О., Данилов Б.Б., Плохих В.В.</i> Моделирование рабочих циклов реверсивного гидроударного устройства для преодоления заклинивания бурового оборудования в скважинах.....	187
<i>Есина Е.Н., Кирков А.Е., Доскалов А.И.</i> Анализ геомеханической ситуации на месторождении медно-порфириновых руд «Кальмакыр» (Узбекистан).....	150	<i>Чецин Д.О., Данилов Б.Б., Плохих В.В.</i> Пневмоударная машина с механическим накопителем энергии	190
<i>Красюкова Е.В.</i> Моделирование напряженно-деформированного состояния приконтурного массива подземной выработки с учетом влияния параметров крепи и стадийности проходки	153	<i>Хайрутдинов А.</i> Планетная технология. Оборудование для освоения минерально-сырьевой базы небесных тел	194
<i>Старишинов А.В., Ж.Жамьян, Михайлов А.В.</i> Эффективность и безопасность применения смесевых вв в реальных условиях современности	157	<i>Некоз К.С.</i> Анализ методов определения расходов жидкости конструкциями переменного перепада давления с сужающим устройством.....	198
<i>Меженев М.М., Кабанова А.В., Зайцев Д.В., Панфилов П.Е.</i> Особенности роста трещин в горных породах и биоминералах.....	159	<i>Пашко П.Б.</i> Управление процессом кавитации в диспергаторах нового технического уровня	201
<i>Скулкин А.А.</i> Экспериментальное определение поля напряжений на Шерегешском руднике	160	<i>Конгар-Сюрюн Ч.Б.</i> Бесцементные закладочные смеси на основе техногенных отходов.....	203
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ		<i>Радченко Д.Н., Гаджиева Л.А., Гавриленко В.В.</i> Сравнительный анализ свойств закладочных массивов на цементной и геополлимерной основе в свете перспектив формирования камер для шахтного подземного выщелачивания	207
<i>Павлов С.А.</i> Снижение аэродинамического сопротивления сверхдлинных угольных лав при использовании струйных вентиляторов, установленных на очистном комбайне	163	<i>Радченко Д.Н., Залевская К.Н.</i> Оценка влияния физико-механических свойств лежалых отходов обогащения золоторудного сырья на выбор параметров геотехнологии освоения техногенных объектов	210

<i>Князькин Е.А.</i> Экспериментальное исследование технологии рекуперации энергии гидротоков подземного рудника.....	212
<i>Митишова Н.А.</i> Исследование структуры руд и пород медноцинкового месторождения в свете оценки риска взрыва сульфидной пыли.....	215
<i>Бондаренко А.А.</i> ESG факторы, определяющие устойчивое функционирование горнотехнических систем.....	217
<i>Цупкина М.В.</i> Развитие научно-методической базы вовлечения в промышленную эксплуатацию хранилищ отходов переработки многокомпонентных руд.....	219

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<i>Чурсин И.Н.</i> Деформационный мониторинг подработанных территорий Кузбасса с использованием радиолокационных спутниковых снимков Sentinel-1.....	222
<i>Кутепов Д.В., Ребенюк Е.В.</i> Автоматизация сбора геологических данных в планах горных работ с помощью средств программного пакета AutoCAD.....	224

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ

<i>Кубрин С.С., Решетняк С.Н., Корзун О.А.</i> Smart Grid в электроэнергетике, постановка задач исследования.....	228
---	-----

ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

<i>Кожешников Г.А.</i> Перспективные методы интенсификации процесса выщелачивания редкоземельного сырья.....	232
<i>Суримбаев Б.Н., Ражан Е.Б., Кандалы Е.С.</i> Влияние концентрации цианида натрия и перекиси бария на показатели цианирования гравитационного концентрата.....	235
<i>Матвеева Т.Н., Ланцова Л.Б., Гладышева О.И.</i> Исследование флотуемости халькопирита и арсенопирита реагентом S-цианэтилN-диэтилдитиокарбаматом.....	237
<i>Соложенкин П.М.</i> Компьютерное моделирование минералов золота в процессе их флотации.....	242
<i>Янгитлавова Б.Н., Агибаева Д.Н., Имекешова М.А., Тусбаев Б.Н.</i> Разработка флотационной технологии доизвлечения хрома из лежалых хвостов.....	246

<i>Будина Т.С., Курбанов Н.Х.</i> Золошлаковые отвалы – источник сырьевой базы России. Проблемы переработки.....	249
<i>Лавриненко А.А., Кунилова И.В., Гольбергер Г.Ю., Резчикова П.С., Комарова С.Г.</i> Теоретическое обоснование способа измерения концентрации флокулянтов в технологических водах обогатительных фабрик.....	252
<i>Лаврик А.В., Лаврик Н.А., Рассказова А.В.</i> Благороднометалльная минерализация вмещающих пород железомарганцевого месторождения Поперечное.....	255
<i>Копылова А.Е., Прохоров К.В.</i> Исследование возможности переработки техногенного минерального сырья электрофлотационным методом.....	259
<i>Гетман В.В., Каркешикина А.Ю.</i> Исследование композитного реагента при флотации основных минералов медно-молибденовых руд.....	263
<i>Зверева Н.В.</i> Технологическая оценка получения пиритного продукта из гравитационного концентрата при обогащении руд Ново-Широкинского месторождения.....	265
<i>Емельянова К.К., Прокопьев С.А., Прокопьев Е.С., Манучарянц А.Б., Петкевич-Сочнов Д.Г., Пономарёва А.М., Турецкая Н.Ю., Чикишева Т.А.</i> Комплексное использование лежалых хвостов Акшаутского вольфрам-молибденового месторождения.....	269
<i>Турецкая Н.Ю., Емельянова К.К., Прокопьев С.А., Прокопьев Е.С., Чикишева Т.А.</i> Получение высококачественного железорудного концентрата.....	272
<i>Базарова Е.А.</i> Моноамиды дикарбоновых кислот как собиратели для флотации медно-никелевых руд.....	274
<i>Салахов И.Н.</i> Анализ способов формирования штабелей минерального сырья для кучного выщелачивания.....	277
<i>Богатырева Е.В., Карташова А.И.</i> Исследование влияния состава раствора осадителя на свойства получаемых из нитратных растворов соединений церия.....	281
<i>Соколова Е.С.</i> Новые технические решения по применению технологии кучного выщелачивания золота в условиях криолитозоны Забайкалья.....	283
<i>Богатырева Е.В., Архипова Л.В.</i> Извлечение цинка из пылей дуговых сталеплавильных печей.....	286

<i>Афанасова А.В., Абурова В.А.</i> Снижение упорности флотационных сульфидных концентратов с применением СВЧ-обработки ...	288
<i>Пестряк И.В., Лезова С.П.</i> Выбор и обоснование фракционного состава многокомпонентного собирателя для флотации алмазов ...	291
<i>Мельник Ф., Богатырева Е.В.</i> Оптимизация процесса осаждения карбоната неодима	294
<i>Тимофеев А.С.</i> Метод оценки изометричности металлических порошков	296
<i>Богатырева Е.В., Выдьши С.О.</i> Особенности анодной поляризации золотосеребряного сплава в растворе соляной кислоты	298
<i>Матвеева Т.Н., Лихачева С.В.</i> Обогащаемость руды месторождения «Быстринское»	299

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР

<i>Тучнолובהва Д.А.</i> Освоение Арктического региона: Северный морской путь – проблемы и перспективы	305
<i>Добрынин А.А., Васильев Т.В., Зашко А.А.</i> Безопасный способ демонтажа строений в период ликвидации горных предприятий	308
<i>Бабенко М.А., Ромашева Н.В.</i> Нефтегазовый комплекс России: проблемы и перспективы развития	311

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ

<i>Стефунько М.С., Орехова Н.Н.</i> Использование магнезио-содержащих природных материалов для очистки сточных вод	315
<i>Гулиева А.Ш., Орехова Н.Н., Стефунько М.С.</i> Пассивные методы очистки сточных вод горно-перерабатывающих предприятий	318
<i>Хохлов Б.В., Дрибан В.А., Филатов В.Ф.</i> Использование породы шахтных отвалов для засыпки затопленных участков ликвидируемых шахтных стволов	321
<i>Баранов Д.Ю.</i> Миграция микроэлементов в почвенных водах подзолистых почв (на примере Валдайской возвышенности)	325
<i>Красный Б.Л., Серебрянский Д.А., Сластиков А.А.</i> Очистка дымовых газов в каталитическом керамическом фильтре	328

<i>Артемьев А.В.</i> Изменение поверхностных свойств апатита при водоподготовке	332
<i>Кильдибаева С.Р., Кильдибаева Г.Р., Харисов Э.И.</i> Математическая модель многофазной струи техногенного происхождения	336
<i>Кильдибаева С.Р.</i> Использование технологий для ликвидации глубоководных утечек	338
<i>Сайлыгараева М.А.</i> Мониторинг смещений высотных зданий на урбанизированных территориях	340

Лицензия ЛР №21037. Подписано в печать с оригинал-макета 18.10.2021 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага «Mega Copy Office». Печать офсетная. Набор
компьютерный. Объем 22 п.л. Тираж 150 экз. Заказ № 262.

Институт проблем комплексного освоения недр РАН
111020, Москва, Крюковский тупик, 4.
Издание ИПКОН РАН, 111020, Москва, Крюковский тупик, 4.