



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР
ИМ. АКАДЕМИКА Н.В. МЕЛЬНИКОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР В XXI ВЕКЕ ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ

Сборник материалов

**16 МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ
ШКОЛЫ МОЛОДЫХ
УЧЁНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ**

23-27 октября 2023 г.

Москва

2023

**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 РАН
Совет молодых ученых и специалистов**

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

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

23-27 октября 2023 г.

**Москва
2023**

Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 16 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 23-27 октября 2023 г. – М: ИПКОН РАН, 2023 – 424 с.

В сборнике опубликованы материалы 16 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: академик РАН *В.Н. Захаров* (председатель), академик РАН *К.Н. Трубецкой*, академик РАН *В.А. Чантурия*, член-корреспондент РАН *Д.Р. Каплунов*, *И.И. Айнбиндер*, *А.И. Докучаева*, *С.С. Кубрин*, *С.Б. Кулибаба*, *Т.Н. Матвеева*, *О.Н. Малинникова*, *Н.А. Милетенко*, *П.Г. Пацкевич*, *Б.Н. Пашичев*, *М.В. Рыльникова*, *А.Л. Самусев*, *В.С. Федотенко*, *Т.В. Чекушина*, *И.В. Шадрюнова*, *А.В. Шляпин*.

*Спонсор проведения 16 Международной научной школы
молодых ученых и специалистов*



ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 622.272

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ НА БАЗЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОНСОЛИДИРОВАННЫХ ЗАКЛАДОЧНЫХ МАССИВОВ

Радченко Д.Н.

ИПКОН РАН, г. Москва

Разработка месторождений калийно-магниевого солей России сопряжена с группой факторов риска, среди которых склонность к газодинамическим явлениям, опасность взрыва газов, а также риск затопления рудника или его части в результате прорыва воды при нарушении сплошности водозащитной толщи и развитии водопроводящих трещин. Во всем мире разработка соляных месторождений под водозащитной толщей рано или поздно приводит к затоплению рудника [1, 2]. В настоящее время имеется объективная тенденция перехода на разработку месторождений калийных солей на больших глубинах, условия разработки которых характеризуются сложной морфологией продуктивных пластов и их невыдержанной мощностью, высокими потерями полезного ископаемого в целиках, что обуславливает актуальность поиска таких технологий подземной разработки, которые обеспечат безопасные условия ведения горных работ и высокую полноту выемки. Данная тенденция подтверждается сравнительным анализом условий разработки Верхнекамского месторождения, где глубина залегания промышленного горизонта составляет, в среднем, 301 м (от 82 до 467 м) с условиями эксплуатации вновь вводимых и перспективных месторождений [3]. Так, например, Гремячинское месторождение характеризуется средней глубиной залегания промышленного пласта 1165 м, Ново-Гремячинское – 1220 м, Непское – 850 м, Западно-Петриковское – 738 м [3]. Значительные глубины залегания определяют принципиально иную динамику деформирования подрабатываемых массивов горных пород, необходимость оставления большей части запасов в виде целиков различного назначения.

Принятые в проектировании и применяемые на практике системы разработки месторождений солей с последующим заложением выработанного пространства подземных камер солеотходами (сухими, либо доставляемыми в виде гидросмеси) не позволяют рассматривать данную технологию в классическом понимании «системы разработки с закладкой выработанного пространства» по ряду причин, главная из которых – продолжительный срок отставания закладочных работ от очистных, исчисляемый годами, а также невысокая степень заполнения выработанного пространства солеотходами, их последующее оседание и отсутствие условий для принятия закладочным массивом нагрузки от налегающей толщи пород. Очевидно, что развитие теоретических основ проектирования и совершенствование технологий разработки месторождений рассматриваемого вида сырья должно состоять в поиске условий для возведения в отработанных камерах с отсутствием недозаклада монолитных закладочных массивов, характеризующихся минимальной усадкой.

Для изыскания вариантов систем разработки с закладкой выработанного пространства проведен комплекс лабораторных исследований, направленных на изучение технологических свойств солеотходов, имеющих среднюю влажность 7,6%. В основном, солеотходы представлены галитом. Массовая доля хлорида калия достигает 9%, магния – 0,94%. Нерастворимый осадок и CaSO_4 составляют 8,95% по массе. Массовая доля ангидрита составила в среднем 6%. Насыпная плотность солеотходов, в естественном состоянии, составила 1,14 т/м³, среднее значение измеренной истинной плотности солеотходов – 2,08 т/м³.

Установлено, что сухие солеотходы имеют предел водонасыщения – около 300 кг воды или рассола на 1 м³ смеси в зависимости от состава. При изготовлении образцов и добавлении такого количества воды методом разбрызгивания, образцы не отдают воду и характеризуются наибольшей прочностью. Оценено поведение увлажненных смесей при воздействии на них механической нагрузки – вибрацией, либо механическим уплотнением. Установлено, что сухие солеотходы при придании им вибрационной нагрузки уплотняются на 20% от первоначального объема, а при штыковании – до 17%. С увеличением влажности степень уплотнения повышается вплоть до границы водоотдачи, соответствующей 280 кг/м³ затворителя. Степень уплотнения при таком увлажнении в 2,1-2,2 раза выше по сравнению с уплотнением сухих солеотходов при любом методе механического

воздействия. В целом установлено, что смесь солеотходов, равномерно увлажненная методом разбрызгивания рассола при механическом воздействии уплотняется более, чем на 40% от первоначального объема. Разработанная технология обеспечивает минимальную последующую усадку как закладочного массива, так и оседания всей налегающей толщи пород. Установлено, что образцы закладочных смесей, приготовленные по технологии увлажнения разбрызгиванием в количестве 280 кг/м³ рассола или воды и уплотненные в момент формирования вибрационным или иным механическим воздействием, уже на 60 сутки до полной потери влаги массивом достигают прочности на сжатие до 4 МПа и выше, что весьма перспективно. Такие значения сопоставимы с гидравлической закладкой на поздних сроках консолидации, измеряемых годами.

Предложены и разработаны варианты технологических схем транспортирования сухих закладочных смесей и формирования в камерах закладочных массивов на основе условно сухих солеотходов. Рассмотрены варианты циклично-поточной и поточной технологий перемещения закладочных материалов с поверхности в подземный рудник и далее – в выработанное пространство очистных камер. При модернизации уже используемых на производстве ленточных конвейеров в комбинации с пневмотранспортом, обеспечивается поточность технологии. При переходе на предложенную поточную технологию следует ожидать наименьших капитальных и эксплуатационных затрат, что требует отдельной детализации и технико-экономического обоснования.

В результате разработки предварительных рекомендаций по выбору параметров технологии ведения закладочных работ в выработанном пространстве подземных камер и обоснования вариантов технологических схем закладки выработанного пространства, определена реальная возможность и действительные геотехнологические способы заполнения камер под кровлю очистных заходов в различных горно-геологических условиях рудника. Очевидно, что для оперативного производства закладочных смесей с разными технологическими свойствами необходима разработка нового (или адекватный подбор) технологического оборудования, способного смешивать, транспортировать и укладывать увлажненные солеотходы, в пространстве отработанных камер.

Ведение закладочных работ в кратчайшие сроки после очистных позволит с минимальным риском проводить все виды закладочных

работ в камере. Срок отставания закладочных работ от очистных, исчисляем, как отмечено выше, годами, в случае перехода к технологии формирования консолидированных закладочных массивов для повышения полноты извлечения сильвинита является неприемлемым и должен быть пересмотрен в проектных решениях. Своевременная закладка выработанного пространства непосредственно вслед за очистными работами высокоплотными закладочными смесями, обеспечивающими формирование закладочных массивов под кровлю с учетом конкретных горно-геологических условий будет способствовать безопасной разработке месторождений солей на протяжении всего срока работы рудника, а также повышению уровня извлечения запасов и утилизации всех солеотходов в выработанном пространстве недр.

Список литературы

1. Шиман М.И. Предотвращение затопления калийных рудников. — М.: Недра, 1992. — 176 с.
2. Барях, А.А. Теоретическое обоснование условий образования провалов на земной поверхности после аварийного затопления калийных рудников / А.А. Барях, С.Ю. Девятков, Н.А. Самоделькина // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2016. — № 1. — С. 50-61. — EDN VOUCBL.
3. Калийная промышленность России: проблемы рационального и безопасного недропользования / А.А. Барях, Э.В. Смирнов, С.Ю. Квиткин, Л.О. Тенисон // Горная промышленность. — 2022. — № 1. — С. 41-50. — DOI 10.30686/1609-9192-2022-1-41-50. — EDN DVLATE.

УДК 622.2, 622.622.4, 622.8

РИСКИ ОСТАНОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ УГЛЯ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Кубрин С.С.

ИПКОН РАН, г. Москва

Значительный шаг в повышении уровня промышленной безопасности был сделан в прошлом столетии. С середины 50-х годов на шахтах стали внедряться автоматические системы мониторинга и контроля параметров рудничной атмосферы. Вместо периодического и в основном качественного контроля стал использоваться постоянный, инструментальный контроль. Были выработаны критерии, пороговые значения, определены места установки датчиков, введен

автоматизированный контроль и автоматическая система блокировки электроэнергии на производственном участке. Однако, такой действенный механизм по обеспечению безопасности горных работ отрицательно сказывается на работе технологического оборудования. Как известно, наибольшее число отказов происходит при включении или выключении машин и механизмов. Если, при включении возможна реализация процедур плавного пуска, то при мгновенном снятии напряжения с обязательным условием мгновенного отключения оборудования, такая задача на сегодняшний день не решена.

Развитие информационных технологий позволило в значительной степени автоматизировать процессы контроля и мониторинга параметров рудничной атмосферы. В перспективе развитие информационных технологий обеспечения промышленной безопасности ведения горных работ при подземной угледобыче должно обеспечить не только отключение электроэнергии, но и на основе непрерывного мониторинга заблаговременно выявлять возможность возникновения инцидентов, аварийных происшествий и аварий. Это позволит заблаговременно обеспечить выработку управляющих воздействий на режимы выполнения технологических процессов производственного участка.

Одним из основных механизмов повышения уровня промышленной безопасности стали многофункциональные системы безопасности (МФСБ) горного предприятия, которые предназначены для обеспечения эффективного управления производством при заданном уровне безопасности (допустимом уровне риска). Основным производственным звеном шахты является выемочный участок. От устойчивости и эффективности его работы зависят экономические показатели всей шахты. Для выбора и последующей регулировки режимов работы технологического оборудования выемочного участка, обеспечивающих предотвращение остановки очистного комплекса с учетом расположения комбайна, скорости его движения, концентрации метана, скорость воздуха, объема угля на скребковом конвейере, и т.д. необходимо определить риск загазованности выработки.

Особое внимание следует обратить на термин «допустимый риск», приведенный в нормативной документации. Согласно государственным стандартам Российской Федерации [1], риск определяется как сочетание вероятности события и его последствий. Анализ нормативной документации [2, 3] и научных публикаций показал,

что на сегодняшний день отсутствуют формализованное описание процедуры определения «допустимого риска», рисков аварий, аварийных происшествий [4-10]. Вопросы влияния предыстории развития ситуации изменения параметров рудничной атмосферы, неоднородности горногеологического строения массива, процессов перераспределения напряжений в массиве горных пород, вызванных горными работами, и определяющих состав и параметры рудничной атмосферы не рассматривались.

Последствия остановки процесса добычи угля, по причине превышения допустимых значений параметров рудничной атмосферы, определяются сочетанием вероятности наступления указанного события и его последствий (убытков). На сегодняшний день формализованные процедуры определения вероятности происшествия и убытков отсутствуют.

Одним из первых уровней событий, приводящих к остановке технологического процесса добычи угля является повышенная концентрация метана. При возникновении такого события необходимо произвести защитное мероприятие (проветривание), приводящее в должное состояние параметры рудничной атмосферы. Оценить возможные убытки от простоя технологического процесса при добыче угля можно по стоимости угля и времени простоя. Тогда упущенная выгода определится по формуле:

$$Q=q*t*s;$$

где: q – средняя производительность участка;

t – время простоя;

s - стоимость одной тонны угля.

Таким образом, соотношение вероятности наступления события, влекущего остановку технологического процесса, является произведением вероятности наступления события p_i на возможные убытки - $p_i * Q$.

Основную сложность представляет определение вероятности наступления события превышения допустимых значений параметров рудничной атмосферы. Для его определения необходимо знать закон распределения вероятности. Такой закон распределения вероятности возможно получить на основе экспериментальных наблюдений, которые были проведены на шахте им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс» на двух выемочных участках (№ 24-59 пласта Болдыревский и № 25-96 пласта Поленовский) в течении трех месяцев. При проведении наблюдений фиксировалось количество остановок

технологического процесса, причина остановки, продолжительность остановки.

На основе вида полученных гистограмм распределения числа остановок по причине проветривания выемочных участков № 24-59 и № 25-96 шахты им С. М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс» определялись теоретические приближения законов распределения случайных событий из следующих видов – экспоненциального, распределения Пуассона и гамма распределения. Экспоненциальное распределение, описывает распределение случайной величины, представляемой промежутком времени между наступлениями двух последовательных реализаций одного и того же вида событий (в рассматриваемом случае остановки технологического процесса по причине, связанной с необходимостью проветрить выработку для приведения параметров рудничной атмосферы в номинальное состояние) со средней интенсивностью λ . В этом варианте время (Т) ожидания наступления следующей остановки технологического процесса добычи угля по причине проветривания являются случайной величиной, плотность распределения вероятности, которой имеет вид: $f_T(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t}, t \geq 0 \\ 0, t < 0 \end{cases}$. Дискретное распределение Пуассона описывает распределение вероятности наступления определенного количества событий (остановок технологического процесса добычи угля по причине проветривания) за выбранный промежуток времени (за смену, за сутки) в виде $f_T(k) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}$ и определяет вероятность наступления k остановок технологического процесса за время t. Обобщением экспоненциального распределения является гамма распределение, с параметрами k (число степеней свободы) и Θ (масштабного коэффициента) с функцией распределения $f_T(k, \Theta) = t^{k-1} \frac{e^{-\frac{t}{\Theta}}}{\Gamma(k)\Theta^k}$.

Параметры определенных распределений искались на основе принципа максимума правдоподобия, заключающегося в максимизации выражения

$$L = \prod_{i=1}^n f(k_i) \rightarrow \max$$

Для распределения Пуассона, когда вероятность события определяется выражением $p(k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$, максимум функции правдоподобия достигается в экстремуме, определяемом выражением

$$\frac{\partial L(\lambda)}{\partial \lambda} = \frac{\partial}{\partial \lambda} \left[\prod_{i=1}^n \frac{\lambda^{k_i}}{(k_i)!} e^{-\lambda} \right] = \frac{e^{-n\lambda} \lambda^{\sum_{i=1}^n k_i - 1}}{\prod_{i=1}^n (k_i)!} \left(\sum_{i=1}^n k_i - n\lambda \right) = 0$$

откуда

$$\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i$$

Соответственно, для экспоненциального распределения:

$$\frac{\partial L(\lambda)}{\partial \lambda} = \frac{\partial}{\partial \lambda} \left[\prod_{i=1}^n \lambda e^{-\lambda k_i} \right] = e^{-\lambda \sum_{i=1}^n k_i} \lambda^{n-1} \left(n - \lambda \sum_{i=1}^n k_i \right) = 0$$

и

$$\lambda = \frac{n}{n \sum_{i=1}^n k_i}$$

В результате вычислений определены параметры искоемых функций плотности распределения (табл. 1). Проверка правильности выбора распределения вероятности числа остановок технологического процесса добычи угля выполнялась по критерию согласия Колмогорова (модуль разности) и по критерию согласия Пирсона (квадрат разности). Жирным шрифтом в табл. 1 отмечены лучшие приближения функций распределения вероятности к эмпирическим данным.

Таблица 1

Эмпирически определенные параметры выбранных распределений вероятности количества остановок технологического процесса добычи угля на выемочном участке

| Выемочной участок | Непрерывные распределения | | Дискретное распределение |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| | Экспоненциальное распределение | Гамма распределение | Распределение Пуассона |
| 24-59 | $\lambda = \mathbf{2,849}$ | $k=0,534$ $\Theta = 5,336$ | $\lambda = \mathbf{2,849}$ |
| 25-96 | $\lambda = \mathbf{0,627}$ | $k=0,189$ $\Theta = 3,310$ | $\lambda = \mathbf{0,627}$ |

Список литературы

- ГОСТ Р 51901.1-2002 Менеджмент риска. Анализ технологических систем.
- Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах. Приказ Ростехнадзора от 01.12.2011 N 678 (зарегистрирован Минюстом России 29.12.2011, рег. N 22812).

3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Приказ Ростехнадзора от 19.11.2013 № 550 (зарегистрирован Минюстом России 31 декабря 2013 г., рег. № 30961).

4. Скопинцева О.В., Баловце С.В., Интегральная оценка аэрологического риска аварий для выемочных участков угольных шахт. ГИАБ №4. 2013 г. С. 193-195.

5. Скопинцева О.В., Баловцев С.В., Михайлова В.Н., Показатели аэрологического риска аварий на выемочных участках угольных шахт. ГИАБ №5. 2014 г. С. 30-36.

6. Лисовский В.В., Выявление и устранение опасных производственных ситуаций как метод управления рисками травмирования на угольных шахтах. ГИАБ №6. 2014 г. С. 193-195.

7. Малышев А.В., Практические аспекты анализа, проектирования и разработки базы данных для автоматизированной системы анализа рисков. ГИАБ №1.1 2014 г. С. 403-412.

8. Баловцев С.В., Воробьева О.В. Управление производственными рисками на угольных шахтах на основе ранжирования требований безопасности. ГИАБ №12. 2016 г. С. 15-20.

9. Виктор Кубиньски, Ева Кубиньска-Ябзон, Александр Петров, Дариуш Сала, Савон Д.Ю. Анализ рисков в горнодобывающей промышленности, связанных с безопасностью работы. ГИАБ №11. 2017 г. С. 168-176.

10. Савон Д.Ю. Современные подходы к системе промышленной безопасности на угольных предприятиях. ГИАБ №11. 2018 г. С. 227-235.

УДК 622.834:622.268

ЭВОЛЮЦИЯ НДС ОБВОДНЕННЫХ МАССИВОВ

Дрибан В.А.

ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк

Угольные регионы характеризуются чрезвычайно высокой насыщенностью промышленными объектами: горнодобывающими и перерабатывающими, металлургическими, энергетическими, химическими, машиностроительными и многими другими.

Добыча угля в течение длительного времени вызвала значительные изменения состояния массива горных пород и земной поверхности, а именно: увеличилась трещиноватость и уменьшилась прочность горных пород; в массиве остались пустоты от очистных, капитальных и подготовительных выработок; произошли кардинальные изменения гидро и газовой проводимости, а также гидродинамической структуры подземных вод, образовались локальные и общие депрессионные

воронки; произошли значительные оседания земной поверхности; здания и сооружения подверглись многократным подработкам, что во многих случаях резко ухудшило их техническое состояние.

Вышесказанное свидетельствует, что вопрос формирования и трансформирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород при обводнении является ключевым при решении задач, как непосредственно геомеханики (управлению горным давлением в очистных забоях, охране и поддержанию горных выработок и шахтных стволов, находящихся в сложных горно-геологических условиях, ударе и выбросоопасности), так и экологических задач для предотвращения негативных последствий ликвидации угольных предприятий.

В настоящее время рентабельные угледобывающие предприятия, расположенные в окрестности ликвидированных шахт, подвержены существенным трансформациям напряженно-деформированного состояния под влиянием обводнения массива горных пород.

Заметим, что формирование представлений о поведении обводненных массивов и приповерхностной зоны является исключительно важным для эффективного восстановления добычи угля и управлении горным давлением в выработках рентабельных шахт.

В предыдущих исследованиях была разработана следующая аналитическая модель формирования НДС подработанного массива.

Массив горных пород с очистной выработкой рассматривается как тяжелая полуплоскость с горизонтальным разрезом длиной $2a$ и высотой m , пройденным на глубине H от поверхности. При этом учитывается тот факт, что при достаточно большой величине выемочного пространства происходит смыкание кровли и почвы очистной выработки и, как следствие восстановление напряжений на почве. Кроме того, принимается к учету ослабление подработанного массива за счет образования зоны полных сдвижений.

Отметим, что столь детальная постановка задачи необходима потому, что охраняемые и поддерживаемые объекты пересекают весь массив горных пород (например, стволы и выработки на значительном удалении по вертикали от выработанного пространства) и как непосредственно лава, так и земная поверхность оказывают существенное влияние на напряженно-деформированное состояние массива.

Опуская объемные преобразования, выражение, описывающее сформированные в массиве горных пород от очистной выработки принимают вид

$$\sigma_{ij} = \gamma H \operatorname{Re} \left[\left(\delta_{ij} \pm A \right) \sqrt{\frac{z^2 - b^2}{z^2 - a^2}} - \delta_{ij} \right] \quad (1)$$

где δ_{ij} – символ Кронекера, A определяется из выражения:

$$A = \frac{z(a^2 - b^2)(z - \bar{z})}{2(z^2 - a^2)(z^2 - b^2)} \int_{\alpha}^1 \left(\sqrt{\frac{z^2 - \alpha^2}{1 - z^2}} - 1 \right) dz = \frac{EmK_m}{4a\gamma HK_0(1 - \nu^2)}, \quad (2)$$

где α - отношение b к a ; K_m и K_0 определяются формулами:

$$K_m = 1 - a(3H)^{-1}; \quad K_0 = 6Hq_0(a + 3H)^{-1} \quad (3)$$

Построенная аналитическая модель дает эффективную возможность анализа трансформации НДС подработанного массива при его обводнении, что в первую очередь связано с тем обстоятельством, что указанная модель впервые увязывает деформационные характеристики массива и мощность разрабатываемого пласта, которые оказывают существенное влияние на распределение напряжений. И, как следствие, на принципиальные решения по вопросам охраны горных выработок и шахтных стволов как в подрабатываемом, так и в надрабатываемом массиве

При этом следует иметь ввиду следующие обстоятельства: 1) обводненный массив существенным образом (до 60% и более) теряет свои прочностные и деформационные характеристики; 2) повышение влажности горных пород приводит к активизации реологических процессов.

Итак, напряжения в обводненном массиве определяются соотношениями (1)–(3) с той лишь разницей, что уравнение (2) будет учтено изменение физико-механических массива при обводнении.

В данном случае нас интересует изменение НДС массива, то есть дополнительные напряжения будут определяться следующими соотношениями:

Проведенные расчеты (рисунки 1, 2) показывают принципиальное изменение картины распределения НДС, что требует существенной корректировки технических решений по вопросам крепления, охраны и поддержания всего комплекса горных выработок, расположенных в обводненных массивах.

определяющих условий развития и модернизации высокотехнологичных отраслей промышленности. Создание современных электронных приборов, интеллектуальных систем управления, новых и возобновляемых источников энергии не представляется возможным без использования редкоземельных металлов.

Одним из перспективных направлений интенсификации процессов переработки труднообогатимого минерального сырья является использование энергетических воздействий на минеральные суспензии, повышающих эффективность вскрытия, дезинтеграции тонкодисперсных минеральных комплексов и извлечение микро- и наночастиц цветных и благородных металлов в последующих процессах переработки рудного сырья.

Применение акустических колебаний ультразвукового и звукового диапазона частот в обогащении полезных ископаемых весьма перспективно, во многих случаях позволяет интенсифицировать технологические процессы и дает значительный экономический эффект. С помощью ультразвука можно очищать поверхность минеральных частиц от различного рода загрязнений и окисленных пленок. Широкий круг работ посвящен исследованию диспергирующего воздействия ультразвука при измельчении и дезинтеграции минералов.

В ходе проведенных в ИПКОН исследований был выявлен механизм влияния ультразвуковых воздействий на процессы выщелачивания эвдиалитового концентрата, золошлаковых отходов и апатитового концентрата, обеспечивающий максимальные концентрации РЗЭ в продуктивном растворе.

В качестве материала исследований использовали: эвдиалитовый концентрат Ловозерского ГОКа с содержанием суммы редкоземельных элементов – 2,5%, золошлаковые отходы ТЭЦ-9 г. Иркутск (605 г/т – РЗЭ), апатитовый концентрат с содержанием РЗЭ – 0,88%.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что растворение эвдиалитового концентрата при взаимодействии с азотной кислотой и ультразвуковой обработке суспензии обусловлено изменением структурно-химических и морфометрических свойств минеральных компонентов с «выносом» из структуры эвдиалита и породных минералов Al, Na и Mn, разрушением силикатного каркаса и переходом кремния в гелеобразные фазы типа силикагеля (рис. 1).

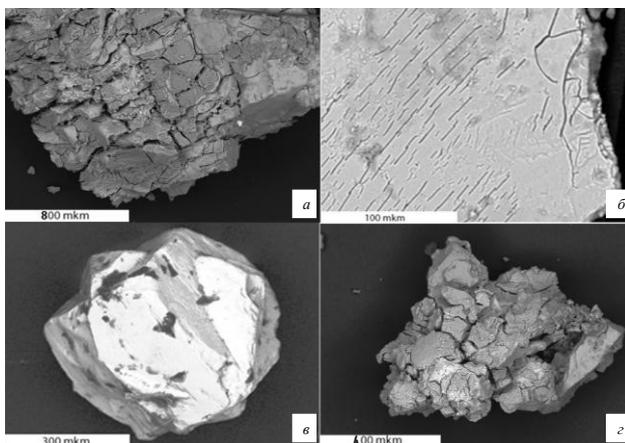


Рис. 1. Микрофотографии поверхности эвдиалита (а), лампрофиллита (б), лопарита (в) и силикатного геля (г) после кислотной и ультразвуковой обработки

Увеличение продолжительности ультразвуковой обработки суспензии за счет разрушения минеральных компонентов и диспергации силикатного геля, активно сорбирующего ценные компоненты из раствора, приводит к интенсификации выщелачивания эвдиалитового концентрата. Разработанный трехстадийный процесс выщелачивания эвдиалитового концентрата с ультразвуковой обработки суспензии на первой стадии является оптимальным и обеспечивает извлечение РЗЭ до 94,5%.

В результате исследования процесса выщелачивания редкоземельных элементов из золошлаковых отходов выявлены рациональные параметры (температура – 130°C, концентрация азотной кислоты – 7,2 М, продолжительность – 180 минут) выщелачивания, обеспечивающие извлечение РЗЭ на уровне 50,4%. Установлен механизм кинетики выщелачивания РЗЭ, соответствующий внутридиффузионной модели усадки ядра, что подтверждается рассчитанной энергией активации E_a реакции, равной – 19,4 кДж/моль

Вскрыт механизм интенсификации процесса выщелачивания РЗЭ за счет предварительной обработки ЗШО ультразвуком, вследствие разрушения алюмосиликатных микросфер, обеспечивающее более эффективное взаимодействие выщелачивающего агента с поверхностью и объемом частиц, и как следствие, повышение извлечения РЗЭ на 3,8-18,2%, при этом максимальное извлечение РЗЭ составляет 68,6%.

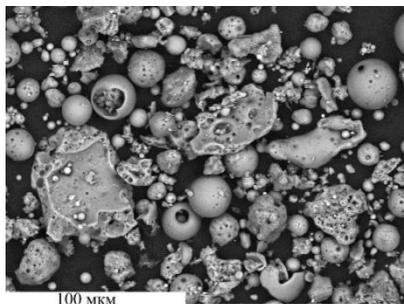
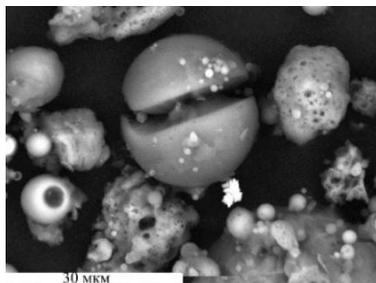


Рис. 2. Изображения золошлаковых отходов после предварительных воздействий ультразвука

С использованием методов факторного анализа определены оптимальные параметры процесса выщелачивания апатитового концентрата (концентрация HNO_3 – 26,7%; Т:Ж – 10,8; продолжительность – 35 мин), обеспечивающие извлечение редкоземельных элементов на уровне 89,1%. Установлена возможность повышения извлечения РЗЭ при предварительной обработке ультразвуком на 5,4% до 94,5%, за счет образования микропор и микротрещин, разрушения и удаления поверхностных пленок в процессе химического травления и растворения минеральных частиц в зонах структурной деструкции их поверхности при выщелачивании.

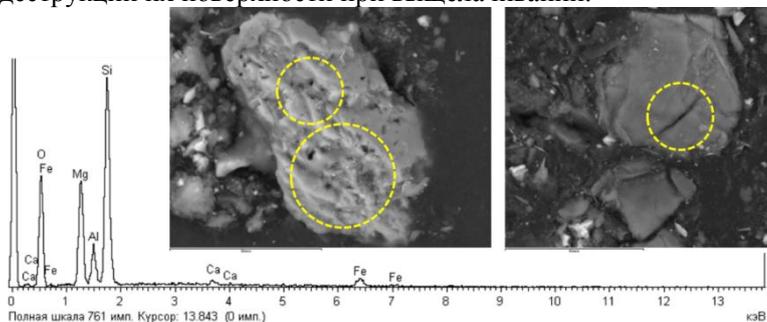


Рис. 3. Характерный вид пробы апатитового концентрата после обработки ультразвуком

Таким образом, с использованием комплекса современных методов физико-химического анализа научно и экспериментально обоснованы энергетические методы интенсификации процесса комплексного извлечения редкоземельных элементов из нетрадиционного минерального сырья.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ОТХОДОВ СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ

Кунилова И.В., Лавриненко А.А.

ИПКОН РАН, г. Москва

Отходы сжигания углей образуются в результате сжигания угля на предприятиях теплоэлектроэнергетики. Минеральные компоненты углей в топках преобразуются в золу и шлак, которые вследствие совместной транспортировки объединяются и образуют золошлаковые отходы (ЗШО). Количество накопленных золошлаковых отходов в России приближается к 2 млрд. т [1]. Несмотря на постепенный перевод российских теплоэлектростанций на газовое топливо, в Сибирском, Дальневосточном и Уральском округах уголь остается важным энергетическим ресурсом благодаря близости крупных угольных месторождений.

Ежегодный прирост золошлаковых отходов составляет, по разным оценкам, около 22 млн.т. Утилизации золошлаковых отходов в России находится на уровне 10-15%, хотя развитых странах (Дании, Польше, Германии, Китае, Великобритании) степень утилизации достигает 70-100% [2]. Технологически высокая степень утилизации ЗШО за рубежом достигается во многом благодаря сухому способу раздельного удаления и хранения золы и шлака, а также близостью потребителей.

В России на теплоэлектростанциях практикуется в основном мокрое золошлакоудаление в золошлакохранилища, а не сухое раздельное складирование. Экологические проблемы во многом являются следствием гидрозолоудаления и хранения механической смеси золы и шлака в наливных отвалах. Пыление пересыхающих золоотвалов и последующее выпадение осадков приводит к выщелачиванию тяжелых металлов в почву, грунтовые и поверхностные воды. Загрязнение воды и почв представляет также угрозу для флоры и фауны из-за повышенной концентрации тяжелых металлов.

Поскольку главными компонентами золошлаковых отходов являются термоизмененные оксиды кремния и алюминия, основными сферами вторичного использования ЗШО являются строительные отрасли и сельское хозяйство. Следует отметить неоднородность золошлаковых отходов по химическому и минеральному составам

и размеру частиц, причиной которой является вариабельность состава углей разных месторождений и технологий сжигания. Это является серьезной проблемой для выбора и разработки технологий их использования или переработки. Также непосредственное использование золошлаковых отходов ограничивается требованиями промышленности, прежде всего, к лимитированным содержаниям серы и углерода, оксидов железа, кальция, магния (например, для производства пористых заполнителей), оксидов кальция, серы, алюминия (для производства кирпича) [3]. При этом ценные микроэлементы, концентрирующиеся при сжигании в золошлаковых отходах, безвозвратно теряются. Они также являются причиной снижения качества получаемых золошлаковых материалов и угрозой вторичного загрязнения окружающей среды [2].

В связи с полидисперсностью золошлаковых отходов первой стадией утилизации либо подготовки к последующей переработке должна быть классификация по крупности. Для дальнейшей переработки целесообразно выделить классы крупности с наибольшим содержанием целевых компонентов.

Летучая зола имеет высокую дисперсность частиц (1-100 мкм) по сравнению с золошлаком. По гранулометрическому составу зола практически подготовлена к процессам выщелачивания алюминия, редких и редкоземельных металлов, а также использованию сырья в строительных отраслях. На современных теплоэлектростанциях производится сухой отбор и хранение золы, что делает перспективным выделение ценных примесей, часто являющихся одновременно и токсичными компонентами, до использования золы в строительстве и пр.

Проблема глубокой комплексной переработки золы связана с нахождением ценных микроэлементов в рассеянном состоянии, с низкими содержаниями (в среднем порядка 0,01-1г/т), преимущественно в виде кислородсодержащих соединений; а также со сложностями аналитического определения форм ценных элементов. Ценные микроэлементы могут находиться как в органической части, так и в минеральной (в виде фосфатов, карбонатов и сульфатов). Так, галлий и скандий являются одними из ценных элементов, которые при сжигании углей могут концентрироваться в золах уноса, улавливаемых в батарейных циклонах и фильтрах [2,3].

В зависимости от состава и поставленных задач, переработка ЗШО может осуществляться по комбинированным схемам и включать следующие процессы в различной последовательности:

- сбор алюмосиликатных микросфер, всплывших в водной среде;
- выделение органической массы несгоревшего угля флотацией классифицированной золы (для сухой золы может применяться сепарация в воздушном потоке или электростатическом поле);
- магнитное обогащение (сухая сепарация материала крупностью более 50-60 мкм и мокрая для более тонких классов) для получения железосодержащего концентрата;
- гравитационное обогащение (винтовой сепаратор, концентрационный стол и др.) с выделением в тяжелую фракцию РЭ и в легкую - алюмосиликатного продукта для производства глинозема с применением химической обработки;
- гидротермохимическая переработка для получения редких, рассеянных элементов и благородных металлов (Ge, Ga, Sc, Y, Au и др.).

Извлечение ценных компонентов, в т.ч. алюминия, редкоземельных элементов и других, возможно методом выщелачивания с применением кислот или щелочей [4]. Извлечение алюминия и редких элементов в раствор при выщелачивании из золошлаковых отходов растворами относительно недорогих минеральных кислот (соляной, серной) составляет 20-40 %. Для повышения эффективности извлечения этих компонентов в раствор целесообразно осуществить предварительный обжиг материала с добавлением реагентов для разупрочнения структуры упорных к выщелачиванию минеральных фаз, таких как кварц, муллит и другие. Эффективность выщелачивания повышается с увеличением температуры, давления, а также с применением ультразвука. Однако, по предварительным расчетам, при использовании автоклавного выщелачивания, имеющего высокую эффективность, требуются высокие капитальные затраты. В связи с этим в ИПКОН РАН исследуются различные схемы глубокой переработки золы с выделением недожога и магнитного продукта, обжигом алюмосиликатной части с применением щелочных и кислотных реагентов для активации (щелочей и карбонатов щелочных металлов, сульфата аммония, пиросульфата калия и др.) и выщелачиванием ценных компонентов. При этом степень извлечения алюминия из золы составляет более 90%.

Таким образом, перспективными направлениями комплексного извлечения ценных компонентов ЗШО являются научно обоснованные комбинированные схемы переработки ЗШО в зависимости от их состава и потребностей в товарных продуктах, включающие предварительные обогатительные процессы концентрирования в различные

фракции (классификация, гравитационное, магнитное разделение и т.п.), обжиг алюмосиликатной части материала с добавлением реагентов и последующее выщелачивание ценных компонентов в продуктивные растворы с применением физических воздействий и гидрометаллургическую доводку известными методами.

Список литературы

1. Пичугин Е.А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов тепловых электростанций // Проблемы региональной экологии. 2019. №4. С. 77-87.
2. Шпирт М.Я., Артемьев А.Б., Силютин С.А. Использование твердых отходов добычи и переработки углей. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2013. – 432 с.
3. Кизильштейн Л.Я. Экогеохимия элементов-примесей в углях. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. – 296 с.
4. Jinhe Pan a.o. Recovery of rare earth elements from coal fly ash through sequential chemical roasting, water leaching, and acid leaching processes // Journal of Cleaner Production. – 2021, V. 284. - № 124725.

УДК 528.88

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

**Минаев В.А.^{1,2}, Нафигин И.О.¹, Ишмухаметова В.Т.¹,
Устинов С.А.¹, Петров В.А.¹**

¹ИГЕМ, ²ИПКОН РАН, г. Москва

На современном этапе развития минерально-сырьевой базы (МСБ) страны возникает острая необходимость постановки задач оценочных и поисково-разведочных работ, а также формулирования геологического обоснования с целью обнаружения новых месторождений, особенно, стратегических металлов. Важнейшим источником информации, учитывая значительную площадь поисков и проводимых исследований, могут стать данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Интерес к применению многоспектральных данных ДЗЗ в области геолого-минералогического картирования и разведки полезных ископаемых ежегодно растёт.

В работе рассмотрена целесообразность использования данных мультиспектрального спутникового дистанционного зондирования Земли Landsat-8 и WorldView-2 для проведения регионального

геолого-минералогического картографирования территории юго-восточного Забайкалья (Россия) на основе статистических методов обработки данных дистанционного зондирования Земли в условиях средне-предгорного рельефа и континентального климата. Для территории юго-восточного Забайкалья применялись статистические методы обработки данных дистанционного зондирования, на примере VNIR и SWIR диапазонов спектральных каналов Landsat-8 с целью оценки пригодности территории для проведения более детального геолого-минералогического картирования в пределах рудных узлов, лицензионных площадей и известных месторождений. Анализ матриц собственных векторов и двухмерных корреляционных графиков позволил установить взаимосвязь между результатами статистической обработки данных Landsat-8 и спектральными характеристиками, связанными с оксидами/гидроксидами железа (Fe^{3+} и $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$), глинистыми (Al-OH , Fe , Mg-OH) и карбонатными (CO_3^{2-}) группами гидротермально измененных минералов, являющихся индикаторами гидротермального рудообразования. На основе полученных тематических слоев, с использованием модели нечеткой логики, была сгенерирована схема перспективности на обнаружение полезных ископаемых. Интенсивность градиента (от синего - 0 к красному - 1) полученной схемы отражает предполагаемые, наиболее благоприятные условия локализации гидротермальной минерализации (рис. 1).

Опираясь на информацию о продуктивности минерагенических этапов, предложено повысить перспективность аномалий с интенсивностью от 0.07 до 1 в пределах меловых осадочно-вулканогенных комплексов, мезозойских вулканогенно-осадочных комплексов и неоген-четвертичных отложениях, которые пространственно связаны с тектоническими нарушениями разного порядка. Также, выявлена тесная пространственная взаимосвязь между аномалиями прогнозной схемы интенсивностью от 0.7 до 1 с рудными объектами U, Ag, Pb, Zn и fl минерализаций и тектоническими нарушениями, преимущественно в пределах рудных узлов и лицензионных площадей. На основе полученных результатов и геологических критериев локализации продуктивных оруденений можно наметить перспективные участки как в пределах рудных узлов, так и за их пределами [1].

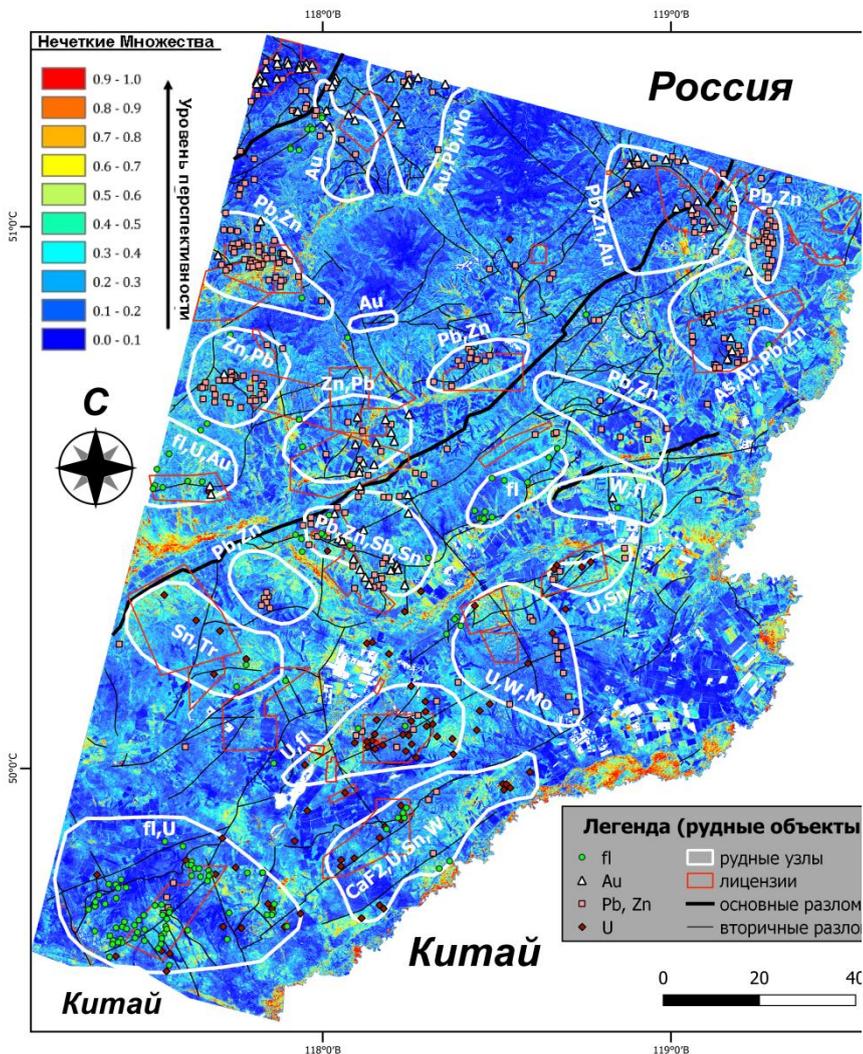


Рис. 1. Схема распределения перспективных областей на рудную гидротермальную минерализацию

В целом, результаты исследований позволили сделать положительный вывод о пригодности использования дистанционных методов для проведения более детального геолого-минералогического картирования исследуемой территории, находящейся в условиях

континентального климата. Однако необходимо отметить, что данный вывод делается с учетом некоторых пространственных ограничений, снижающих достоверность картирования: районы с повышенным растительным, почвенным и водным покровом, а также территории, затронутые антропогенной деятельностью.

В рамках дальнейших исследований использовались данные коммерческого спутника WorldView-2, так как они обеспечивают более благоприятные пространственные и спектральные характеристики VNIR диапазонов для выявления геологических особенностей территории и проведения более детального геолого-минералогического картирования.

Полученные результаты по WorldView-2 позволяют рассматривать спектральные аномалии зон, маркирующих околорудные изменения пород, в качестве индикатора для обоснования выбора участков детальных поисковых исследований в пределах перспективных площадей.

Использование предложенной методики для разбраковки существующей базы вторичных геохимических ореолов позволит:

- 1) ранжировать по перспективности постановки геологоразведочных работ;
- 2) провести переоценку ряда рудопроявлений и геохимических аномалий, которые требуют дальнейшего изучения.

Применение описанного метода обработки данных Landsat-8 и WorldView-2 будет способствовать существенному снижению стоимости работ при поисках скрытого золото-полиметаллического оруденения в условиях близповерхностного залегания рудных тел. Можно сделать вывод, что для России, с учётом наличия обширных и труднодоступных территорий, данные космической съёмки высокого разрешения не только отражают текущее состояние и изменения природной среды, но и могут служить прекрасным информационным материалом для тематической обработки снимков с использованием современных методов и технологий.

Список литературы

1. Nafigin I.O., Ishmukhametova V.T., Ustinov S.A., Minaev V.A., Petrov V.A. Geological and Mineralogical Mapping Based on Statistical Methods of Remote Sensing Data Processing of Landsat-8: A Case Study in the Southeastern Transbaikalia, Russia // Sustainability. – 2022. – № 14(15). – 9242. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14159242>.

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ НАРУШЕННЫХ
ГОРНЫМИ РАБОТАМИ ЛАНДШАФТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
МЕЛИОРАНТОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ СЕЛИТЕБНОГО
КОМПЛЕКСА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ**

Стефунько М.С.¹, Лусис А.В.², Иванова Л.А.³

¹ИПКОН РАН, ²ГК «ЭВОБЛАСТ», г. Москва,

³Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина
КНЦ РАН (ПАБСИ КНЦ РАН), г. Кировск

Одной из мер экологической стабилизации нарушенных горными работами ландшафтов является проведение комплекса работ, направленных на восстановление их биологической продуктивности и хозяйственной ценности, а также на улучшение условий окружающей природной среды. В Арктической зоне рост и развитие растений сдерживается недостатком тепла, коротким вегетационным периодом и бедностью подзолистых почв, в связи с чем проведение рекультивационных работ требует поиска и разработки нетрадиционных, научно-обоснованных, адаптированных к экологическим и экономическим особенностям региона, способов [1]. Интерес представляют широкодоступные и дешевые, являющихся к тому же, дополнительными источниками питательных веществ, влагоемкие мелиоранты на основе отходов селитебного комплекса (продукты переработки региональных водоканализационных хозяйств) – осветленные коммунальные стоки и осадки сточных вод. Применение мелиорантов на основе отходов селитебного комплекса метод является разновидностью химической мелиорации и может способствовать решению проблемы низкой продуктивности песчаных техногрунтов и пылеподавления, а также позволит вовлечь в хозяйственный оборот большой объем, требующих утилизации, отходов и, тем самым, добиться существенного снижения их негативного воздействия на окружающую среду. При этом следует отметить, что отходы селитебного комплекса характеризуются непостоянством состава, могут содержать набор вредных химических веществ и пр., поэтому для их успешного применения в качестве мелиорантов на малопродуктивных территориях необходимо изучение каждого из них в конкретных условиях.

Целью исследований являлось изучение влияния мелиорантов на основе отходов селитренного комплекса на биометрические качественные показатели искусственного фитоценоза, формирующегося на нефелиновых песках в контролируемых условиях лабораторных опытов. Проведенные лабораторные рекогносцировочные эксперименте по изучению влияния трех разных мелиорантов на продуктивность и показатели пигментного комплекса тимофеевки луговой, выращенной на апатитонфелиновых хвостах показали, что увеличение суммарного содержания хлорофиллов у растений тимофеевки луговой, больше за счет хлорофилла *b*, при воздействии на почву нетрадиционных удобрений в виде осветленных коммунальных стоков и осадков сточных вод. Компоненты пигментного комплекса (суммарное содержание хлорофиллов) можно использовать в качестве тестовой характеристики потенциальной продуктивности отдельных растений и посевов в целом [2].

Многолетние полевые эксперименты по оценке фотосинтетической активности и содержания пигментов пластид овсяницы красной в искусственных фитоценозах, созданных с применением осадков сточных вод на техногенном грунте песчаного карьера в Арктической зоне показали, что наиболее оптимальные показатели работы фотосинтетического аппарата характерны для способа с фрагментарным нанесением осадков сточных вод на техногрунт, так как при сплошном нанесении данного мелиоранта, характеризующегося высокой влагоудерживающей способностью, в периоды с обилием осадков, существует опасность создания полуанаэробных или анаэробных условий, приводящих к увеличению оводненности тканей в растениях, снижению интенсивности фотосинтеза и их продуктивности. Информативные показатели работы фотосинтетического аппарата доминантного вида овсяницы красной в созданном многолетнем противозрозионном фитоценозе, свидетельствуют о том, что осадки сточных вод длительной выдержки, в максимальной степени прошедший процессы гумификации и выщелачивания, может рассматриваться в качестве перспективного мелиоранта при проведении восстановительных мероприятий на песчаных техногрунтах в условиях Арктической зоны, так как способен оказывать эффективное воздействие на продуктивность искусственно создаваемых растительных сообществ, особенно в первой половине вегетации [3]. Была предложена следующая схема для проведения опытных работ по

экологической стабилизации пылящих поверхностей откосов ограждающей дамбы хвостохранилища АНОФ-2 КФ АО «Апатит» с использованием мелиоранта на основе отходов селитебного комплекса, а именно осадка сточных вод АО «Апатитыводоканал» в целях развития противоэрозионных фитоценозов.

С иловых накопителей Водопроводно-канализационного хозяйства АО «Апатитыводоканал» техникой КАМАЗ Илосос производится загрузка осадка сточных вод в ёмкость, объем которой составляет 8 м³. Затем происходит транспортировка осадка сточных вод на хвостохранилище АНОФ-2. Расстояние между иловыми накопителями и хвостохранилищем составляет около 7 километров. Далее на опытной площадке производится нанесение мелиоранта сплошным слоем толщиной 3 сантиметра. После его нанесения на поверхность ручным способом наносится смесь семян.

Предлагаемый метод создания посевного противоэрозионного фитоценоза на песчаных техногрунтах на основе применения мелиорантов местного предприятия ВКХ АО «Апатитыводоканал» - осветленных коммунальных стоков и осадков сточных вод экономически более эффективен: при использовании осветленных коммунальных стоков в 4,4 раза, осадков сточных вод – 5,7 раза по сравнению с традиционным, предполагающим проведение работ по землеванию, так как он не требует существенных капитальных вложений. Его достоинствами являются низкие эксплуатационные расходы и затраты на проведение работ.

Список литературы

1. Иванова Л.А., Горбачева Т.Т., Макаров Д.В., Румянцева А.В., Лусис А.В., Кони́на О.Т. Применение ковровой дернины при биологической рекультивации хвостохранилищ в условиях Крайнего Севера // Гидротехническое строительство. №7. 2019. С. 89-94.
2. Горбачева Т.Т., Лусис А.В., Иванова Л.А. Химическая мелиорация нефелиновых песков с применением осадка сточных вод регионального предприятия водопроводно-канализационного хозяйства // Вестник МГТУ, 2021, Т. 24, № 1. С. 88–96.
3. Шамакова Н.Ю., Иванова Л.А., Ермолаева О.В., Лусис А.В. Фотосинтетическая продуктивность искусственно созданных фитоценозов с применением осадка сточных вод // Маркшейдерия и недропользование. №3(125), 2023. С. 60-68.

ПОВЫШЕНИЕ ХОДИМОСТИ ШИН КРУПНОГАБАРИТНЫХ САМОСВАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ

Жабин Д.В.

ИПКОН РАН, г. Москва

С уходом крупнейших производителей шин для горных самосвалов с российского рынка выросла ценность системы контроля эксплуатации крупногабаритных шин на горнодобывающих предприятиях. Помимо того, что при добыче полезных ископаемых открытым способом расходы на крупногабаритные шины в себестоимости перевозки горной массы составляют 25-30% [1], повреждение шин приводит к аварийным ситуациям вплоть до возгорания самосвалов. Статистика возгораний может варьироваться в зависимости от ряда факторов, таких как эксплуатационные условия, обслуживание, тип транспортных средств и многие другие. Обычно, причины возгораний шин включают в себя: перегрев, повреждение шин, неудовлетворительное давление или плохие дорожные условия [2]. В случаях повреждения шины при недостаточном контроле может привести к ее нагреву и дальнейшему возгоранию. Решение проблемы общепринятым методом ограничено тем, что проводимые сотрудниками осмотры не позволяют осматривать полностью всю поверхность шины, так как во время осмотра часть шины находится в соприкосновении с землей. Более того, проведение осмотров является достаточно долгим процессом и потому нет возможности проводить частые осмотры, что приводит к запоздалому обнаружению дефектов и, как следствие, критической порче шины.

Современные методы подразумевают внедрение автоматизированных систем контроля эксплуатации шин в реальном времени. Одним из таких методов является применение комплексной системы на базе тепловизоров и камер с модулем обработки изображения алгоритмами искусственного зрения [2]. Такая система обеспечивает тепловизионный контроль шин при движении карьерного транспорта по маршруту, анализ полученных данных и прогнозирование критических состояний шин. Контроль ведется в автоматическом режиме с определением номера транспортного средства, шины и возможного места повреждения. Алгоритмы компьютерного зрения

позволяют определять как известные типы дефектов, так и обнаруживать различные аномалии, что позволяет планировать заранее проведение ремонтов и увеличить сроки ходимости шин.

Основной функционал данных систем должен решать следующие подзадачи:

- обеспечение фото/видеофиксации с термической картой технологического транспорта в автоматическом режиме;
- идентификация транспортного средства, с занесением в базу данных историю о скорости, местоположению, гаражному номеру, времени съемки, порядковому номеру съемки;
- построение термического образа протекторной части шины;
- фиксация равномерности термического образа шины с определением зон повышенного износа;
- фиксация очагов пониженной/повышенной температуры;
- определение проблемных транспортных средств.

Требования к архитектуре системы должны учитывать экстремальные условия эксплуатации, сложности с размещением системы, подключением к электропитанию, низкая скорость передачи данных в карьере или на разрезе. Позиционирование системы и угол обзора должны обеспечивать мониторинг всей поверхности колес при движении как на задней, так и на передней оси. Учитывая описанные условия и ограничения можно определить ключевые характеристики компонентов программно-аппаратного комплекса (ПАК) системы: тепловизор с минимальным разрешением от 0,33 Мп, от 640x512, спектральной чувствительностью 0,9-1,7 мкм (например, камера ближнего инфракрасного диапазона серии FSM640 отечественного производителя НПК «Фотоника»), IP-камера с разрешением не менее 3840x2160 с автофокусом, миникомпьютер (на базе Jetson или аналог для работы с потоковым видео), блок бесперебойного питания и устройство передачи данных в промышленном исполнении со степенью защиты IP67. При таком исполнении данные с ПАК интегрируются с облачными сервисами сбора и хранения данных. В ходе работы в реальном времени происходит сбор и обработка больших объемов данных из труднодоступных мест - карьеров. Обработка данных производится прямо на ПАК, установленном в карьере, при помощи производительного миникомпьютера. Это необходимо для того, чтобы передать в облачный сервис как можно меньше данных в условиях ограниченной скорости передачи данных. Переданные в облачное хранилище данные отображаются в едином интерфейсе для дальнейшей обработки пользователями.

Используемые в системе модели обнаружения дефектов и аномалий шин, построенные с помощью алгоритмов компьютерного зрения, должны позволять проводить мониторинг шин самосвала без участия человека в реальном времени. Для решения этой задачи возможно использование следующего алгоритма:

1. Обнаружение контуров шин при помощи алгоритма сегментации экземпляров RTMDet. Данный алгоритм обладает хорошим балансом скорости и точности и хорошо подходит для обнаружения крупных объектов.

2. Центрирование шины на однородном контрастном фоне. При необходимости можно применять геометрические трансформации (warping) из библиотеки OpenCV для унификации представления поверхности шины.

3. В качестве бейзлайна для нахождения аномалий без учителя возможно использование нейросетевого автоэнкодера с проведением экспериментов с подходами PatchCore и другими SOTA-алгоритмами при дальнейшем развитии системы.

4. Для бейзлайна обучения с учителем (поиск известных типов дефектов) применимо использование Mask-RCNN на базе ResNet-50, с дальнейшими экспериментами с более продвинутыми и современными архитектурами, в том числе на базе трансформеров (VitDet и др.).

5. Финальная обработка полученных результатов при помощи правил бизнес-логики, уведомление оператора.

6. Использование полученных данных и реакции оператора для разметки изображений и дообучения моделей.

Подобная система с применением методов компьютерного зрения позволит агрегировать данные, полученные со всех установленных программно-аппаратных комплексов, и представить их в удобном для восприятия пользователем, экстренно сообщить мастерам о необходимости устранения дефекта, избегать критического повреждения шины. При дальнейшем развитии система даст возможность прогнозирования возникновения дефектов за счет раннего определения различных аномалий шин. В конечном итоге применение системы обеспечит увеличение срока полезного использования крупногабаритных шин и сокращение аварийных карьерных самосвалов.

Список литературы

1. Управление ресурсом шин как фактор повышения эффективности работы карьерных автосамосвалов. А.А. Хорешок, А.Г. Кульпин, Е.Е. Кульпина. Горное оборудование и электромеханика. 2009. №5. С. 45–47.

2. Оценка влияния условий эксплуатации карьерных автосамосвалов на тепловое состояние крупногабаритных шин. А.Г. Кульпин, Д.В. Стенин, Е.Е. Култаев. Проблемы Недропользования. 2016. №2. С. 93-97.

3. Применение искусственного интеллекта для повышения ходимости шин. Текущее состояние и перспективы управления шинами на горнодобывающем предприятии. А.И. Татьянин, В.А. Ковалев, В.В. Улитин, Д.А. Клебанов, С.Ф. Поплавский. ГЛОБУС Геология и бизнес. №4 (78), С. 84-88.

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

ДИНАМИКА ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ КЛЮЧЕВОГО УЧАСТКА УРАЛЬСКОГО БЕРЕГА БАЙДАРАЦКОЙ ГУБЫ

Исаев В.С.¹, Котов П.И.², Киока А.³

¹ГАОУ ЯНАО «Научный Центр Изучения Арктики», г. Салехард,

²ЗГУ имени Н.М. Федоровского, г. Норильск,

³Университет Кюсю, Фукуока, Япония

Современный этап развития криолитозоны характеризуется стрессовыми техногенными и природными воздействиями и активизацией природных процессов, которые часто относятся к группе опасных, то есть могут оказать негативное воздействие на инфраструктуру и окружающую среду [1,2]. Комплексное изучение природных изменений позволит провести наблюдение за динамикой верхних горизонтов криолитозоны и оценить степень изменения ландшафта и рельефа криогенными процессами. Для предотвращения негативного воздействия и своевременного прогноза развития криогенных процессов, необходимо проводить их мониторинг. В настоящее время предложено несколько видов мониторинга [3]. Авторами предложен свой вариант проведения исследований на ключевых участках для изучения динамики геокриологических условий [4,5].

Описание района исследований

Байдарацкая губа расположена в высоких широтах – выше полярного круга (рис. 1). Средняя годовая температура за весь период наблюдений изменялась в пределах от -3 до -10°C, однако за последние годы она не опускалась ниже -7°C, и общий тренд свидетельствует о дальнейшем ее увеличении.

Новейшие отложения образуют в районе Байдарацкой губы сплошной чехол мощностью 150-200 м. Среди них выделяются следующие основные стратиграфо-генетические комплексы: нижне- и среднеплейстоценовые морские и ледово-морские отложения ямальской серии, верхнеплейстоценовые морские, прибрежно-морские и аллювиально-морские отложения и голоценовые морские и прибрежно-морские отложения, представленными песчаными и суглинистыми

грунтами. В верхней части разреза расположены голоценовые болотные отложения мощностью 0,5-3 м.



Рис. 1. Расположение района исследований:

а – изображение Западной части Арктического региона России;

б – расположение экспериментального участка и ближайших метеостанций

На участке исследования располагается инженерное сооружение, которое представляет собой систему магистральных газопроводов перехода «Бованенково – Ухта», состоящая из 2-х ниток, тянущиеся по дну Байдарацкой губы. В зоне выхода Магистрального газопровода из моря установлено защитное сооружение – коффердам. Коффердам представляет собой металлический каркас с заглублением свай до 20 метров. На данном участке расположены 2 коффердама прямоугольной конфигурации на каждую нитку. Длина каждого коффердама более 200 метров, а ширина 65-70 метров.

Методика исследований

Анализ температуры воздуха. Измерения температуры воздуха проводились на метеостанциях Марре-Сале (100 км от полигона, восточный берег Байдарацкой губы), Усть-Кара (90 км от полигона западный берег Байдарацкой губы). По данным метеостанций за последние 5 лет фиксируются высокие среднегодовые температуры.

Изучение снежного покрова. Мощность снежного покрова в разные месяцы определялась на метеостанциях. В 2022 г. на полигоне также проводились снегомерная съемка. Периодичность точек наблюдения определялась площадной изменчивостью толщины снежного покрова. Мощность изменяется от 10 до 110 см, а плотность от 0,3 до 0,45 г/см³

Изучение растительного покрова. Тепловые свойства растительных покровов являются необходимыми параметрами для любых

геокриологических оценок и прогнозных расчетов. В полевых условиях определялись теплоизоляционные свойства растительности с помощью зондового метода и метода температурных волн.

Состав и свойства грунтов. Пробурены параметрические скважины на разных типах ландшафта глубиной от 5 м до 25 м. Для отобранных грунтов изучены физические и теплофизические свойства. Эти данные являются основой для верификации математических моделей и геофизических исследований.

Измерение температур грунтов. Несколько скважин были оборудованы термокосоми, что позволяло фиксировать изменения температуры грунтов и мощности слоя сезонного оттаивания с записью в течение года. Как показали данные исследований, наибольшее изменение температуры грунтов за 2021-2022 гг. произошло на бровке склона (порядка 1°C по сравнению с периодом измерений 2016-2018), что связано с отступанием берега. В 50 метрах от бровки температура изменились незначительно ($0,1-0,2^{\circ}\text{C}$).

Проведение инженерно-геофизических исследований. Полевые геофизические исследования выполнялись методом электротомографии. По результатам замеров определены удельное электрическое сопротивление и построены геоэлектрические разрезы для получения данных о строение грунтов между профилями. Интерпретация данных электротомографии выполняется в рамках двумерного класса моделей при помощи специального программного обеспечения.

Анализ полученных результатов на площадке исследований позволил сделать следующие выводы:

1. За последние 3 года произошло увеличение температуры грунта на все территории. Наибольшие изменения зафиксированы у бровки склона (около 1°C), а наименьшие в 50 метрах от склона.

2. Глубина залегания кровли ММП на первой морской террасе, где абсолютная высота рельефа меняется от 3 до 6 м, разделяется на несколько зон: западная зона с глубиной залегания кровли ММП от 0,5 до 0,7; зона инженерного сооружения, где фиксируется переуглубление положения кровли ММП до 6-8 м (что косвенно указывает на растепление пород тепловым потоком от труб газопровода), и переходная зона между лайдой и террасой, где глубина до кровли ММП достигает 3-6 м.

3. Вся зона пляжа и часть склона первой морской террасы находятся в талом состоянии.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ЮОПН в рамках научного проекта № 21-55-50012

Список литературы

1. Obu J., Westermann S., Bartsch A., Berdnikov N., et al. (2019). Northern Hemisphere Permafrost Map Based on TTOP Modelling for 2000–2016 at 1 km2 Scale. *Earth-Science Reviews*, 193, 299-316, DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.04.023
2. Hjort, J., Karjalainen, O., Aalto, J. et al. Degrading permafrost puts Arctic infrastructure at risk by mid-century. *Nat Commun*, 2018. Volume 9, 5147, <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07557-4>
3. Smith, S., and Brown, J. 2009. Assessment of the status of the development of the standards for the Terrestrial Essential Climate Variables - T7 - Permafrost and seasonally frozen ground [online]. Available from <http://library.arcticportal.org/668/> [доступ 31 июля 2023].
4. Isaev, V., Kioka, A., Kotov, P., Sergeev, D.O., Uvarova, A., Koshurnikov, A., Komarov, O. Multi-Parameter Protocol for Geocryological Test Site: A Case Study Applied for the European North of Russia. *Energies* 2022, 15, 2076. <https://doi.org/10.3390/en15062076>
5. Исаев В. С., Киока А., Котов П. И. Шевчук Я.О.1, Уварова А.В. Мониторинг отступления берега инструментальными методами в районе уральского берега Байдарацкой губы // Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике, Салехард, 03–12 ноября 2021 года. – С. 169-172. – DOI 10.7868/9785604610848044.

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ В ЦЕНТРЕ ГОРОДА НОРИЛЬСК

Котов П.И., Авиллов Д.А.

ЗГУ имени Н.М. Федоровского, г. Норильск

Норильский промышленный район – это сложнейшая природно-техническая система, включающая города и промышленные сооружения (горные, гидротехнические, транспортные, линейные и энергетические), а также грунты основания, которые могут находиться как в мерзлом, так и талом состоянии. Многие из построенных здесь сооружений уникальны по ряду параметров и имеют свои особенности влияния на многолетнемерзлые грунты, которые по большей части являются грунтами основаниями [1]. В данном районе имеются некоторые данные, которые свидетельствуют о повышении

температуры мерзлых грунтов и влиянии этого процесса на городскую инфраструктуру [2,3].

В данном случае рассматривается лишь центр города Норильск, где расположена глубокая скважина (200 метров), в которой проводить измерения температурного режима с 1959 года (рис. 1). В начале 2000 годов эта скважина была утеряна.



**Рис. 1. Схема
расположения скважины**

В 2022 году в рамках программы создания элемента единой системы мониторинга состояния многолетней мерзлоты на территории муниципального образования город Норильск и Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района Заполярный филиал ПАО «ГМК «Норильский никель» восстановил эту скважину и провел инженерно-геологические работы в районе ее расположения (Ленинский проспект, № 25А).

Город в Арктической зоне представляет собой очаг концентрированного техногенного воздействия на окружающую среду. Наряду с механическими воздействиями важнейшим фактором являются также различные тепловые влияния. Не только природные факторы, в первую очередь, климатические и геокриологические условия и процессы, но и техногенные системы, различные элементы хозяйственной деятельности коренным образом изменяют тепловой состояние пород, их свойства, приводят к развитию опасных криогенных процессов.

В геолого-литологическом строении скважины до 200 метров принимают участие (сверху-вниз): насыпной грунт (tQIV), отложения

аяклинского лимния (ШНак) и нижнетриасовые магматические интрузивные породы ($\nu\beta T1$).

Техногенные грунты (tQIV) представлены крупнообломочным материалом с глинистым заполнителем, песками различных фракций в мерзлом и талом состоянии. Мощность до 2,4 метра.

Аяклинский лимний (ШН-Нак) представлен песчано-глинистыми отложениями в мерзлом состоянии:

- песок пылеватый мерзлый льдистый
- суглинок легкий песчанистый мерзлый льдистый
- песок крупный мерзлый слабольдистый
- супесь песчанистая мерзлая слабольдистая
- песок средней крупности мерзлый слабольдистый,

Мощность отложений 25,6 метра

Нижнетриасовые магматические интрузивные породы ($\nu\beta T1$) представлены габбро-долеритом очень прочным, очень плотным, непористым и неразмягчаемым. Залегают с 28 метров до 200 метров

Анализ температурного режима за последние 64 года показал следующее. С 1959 по 1985 гг произошло повышение температуры грунта на глубине 10 метров на $1,9^{\circ}\text{C}$, а с 1959 по 2023 гг – $4,3^{\circ}\text{C}$.

Ниже изменения температур грунтов уже не такие значительные с 1959 по 2023 гг: на глубине 30 метров $1,2^{\circ}\text{C}$, 60 метров – $0,8^{\circ}\text{C}$, ниже 80 метров - $0,3^{\circ}\text{C}$.

При этом геотермический градиент (физическая величина, описывающая прирост температуры горных пород в $^{\circ}\text{C}$ на определенном участке земной толщи) практически не изменился, а остался таким же и равен 4 C на 100 метров.

Данные измерений показывают, что в верхней части разреза наблюдается резкое увеличение температур до 2006 года (температура глубине 10 метров составляла $-0,8^{\circ}\text{C}$), а в дальнейшем произошло ее уменьшение до $-2,1^{\circ}\text{C}$. Это связано с аварийными ситуациями, в 1990 гг. В 1990–х годах по мере развития производства и большой загруженности энергосистемы стали происходить аварии, крупнейшей из которых произошла в 1994 г. Эта система вывела из строя не только систему теплоэнергетики, но и оказала существенное влияние практически на всю систему тепло-водоснабжения Норильска. Отсутствие водяных компенсаторов в зданиях в аварийной ситуации привело к необходимости слива воды под здания, что стало причиной существенного увеличения температур мерзлых грунтов. Техногенное подтопление и засоление грунтов привело к

повсеместному росту глубин сезонного оттаивания, ухудшению строительных свойств грунтов, изменению гидрогеологических условий. В период с 1997-2002 год произошло наибольшее закрытие домов по причине необратимых деформаций из-за оттаивания мерзлых грунтов (60 домов). После 2006 года скважина стала размещаться в зоне уборки снега рядом с построенным магазином, что привело к уменьшению температур до $-2,1^{\circ}\text{C}$. Снежный покров в Норильске является одной из важнейших характеристик, оказывающих чрезвычайно большое влияние на условия теплообмена горных пород с внешней средой и, соответственно, на температурный режим пород и особенности геокриологических условий [4].

Мощность мерзлоты сократилась незначительно: в 1958 году она составляла 150 метров, а сейчас 147,7 метра, то есть 2,3 метра за 65 лет под действием теплового потока из недр.

Список литературы

1. Макаров, В.И., Пикулев, В.П., Кадкина, Э.Л., Колесникова О.В. Норильск (Опыт строительства). Москва: МГСУ, 2001. 216 р.
2. Гребенец В.И. Формирование специфических природно-техногенных комплексов в Норильском промышленном районе // Материалы Второй конф. Геокриологов России. 6–8 июня 2001 г. Т. 4. Инженерная геокриология. М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 59–65
3. Shiklomanov, N.I., D.A. Streletskiy, V.I. Grebenets, and L. Suter. 2017. Conquering the permafrost: Urban infrastructure development in Norilsk, Russia. *Polar Geography* 40: 273–290.
4. Grebenets, V.I., and V.A. Tolmanov. 2021. The influence of the specific regime of snow deposits on permafrost in the cities of the permafrost zone (on the example of the Norilsk region). *Ice and Snow* 61: 457–470. <https://doi.org/10.31857/S2076673421030101>.

УДК 550.83

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ Г. МОСКВЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Матюшенко А.А., Иванов А.А.

РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, г. Москва

Введение

Метод межскважинного сейсмического просвечивания (МСП) разработан в середине прошлого века [5] и применяется на практике при проведении инженерных геолого-геофизических работах. Суть

метода заключается в возбуждении упругой волны в одной скважине, регистрации в другой и дальнейшем анализе её характеристик.

В отличие от наземных методов сейсморазведки МСП позволяет максимально приблизить источники и приемники к объекту исследования и увеличить глубину исследований [6]. В сравнении с каротажными работами имеет большую область исследования окоскважинного пространства [1].

На практике чаще всего выполняют наблюдения с возбуждением и регистрацией продольных (Р) волн. Это объясняется высокой скоростью работ и быстрой обработкой. Обработка осуществляется с помощью томографической инверсии времен прихода первых вступлений [2].

Методика

На территории Москвы в 2022 году были выполнены сейсморазведочные работы методом межскважинного сейсмического профилирования и каротаж скважин с целью выявления разуплотненных зон в толще карбонатных пород.

Межскважинное просвечивание (МСП) выполнялось по так называемой полнолучевой схеме, суть которой заключалась в регистрации сейсмических лучей из всех фиксированных точек излучающей скважины во все фиксированные точки приемной скважины. То есть томографическая схема предполагает заполнение всего межскважинного пространства пересекающимися лучами [4].

Способ заполнения межскважинного пространства лучами зависит как от применяемых источников, так и от приемников [3].

При выполнении МСП на продольных волнах с использованием 24-х точечной косы использовалась следующая методика.

Коса фиксировалась в скважине А так, чтобы нижний канал был на забое. Излучатель при этом перемещался в скважине Б с шагом 1 м весь рабочий интервал (от самой глубокой точки скважины до окончания воды в ней). На каждой точке скважины Б производилось от 5 до 24 накоплений для улучшения соотношения сигнал/шум.

Таким образом, шаг между приемниками и источниками при производстве наблюдений по методу МСП на Р-волнах составил 1 м.

Выбор, в какой из пары скважин должен располагаться приемник, а в какой источник, не является принципиальным, так как для томографических расчетов требуется знание времени распространения волны из одной точки в другую. Поэтому для каждой пары

скважин ее тип (излучающая или приемная) выбирался исходя из удобства размещения приборов или по иным внешним причинам.

Результаты

По результатам инверсии данных межскважинного сейсмического профилирования в программном обеспечении ZondST2D были построены сейсмотомографические разрезы, на каждом из которых была выделена граница, на которой происходит резкий скачок значений скоростей продольных волн, предположительно связанная с кровлей карбонатных пород. В пределах толщи карбонатных пород были выделены зоны понижения скоростей распространения продольных волн, связанные с разуплотнением известняков.

По результатам каротажа были построены литологические колонки, которые использовались для уточнения сейсмотомографической модели. Результаты каротажа представлены совместно с межскважинной сейсмотомографией.

На рис. 1. представлены результаты межскважинного просвечивания по одной из пар скважин. В результате можно выделить следующие особенности строения разреза. Кровля известняка погружается от скв. 8 к скв. 11 с 52 м до 54 м. Скорость распространения продольных сейсмических волн снижается в окрестности скв. 8 и скв. 11. Это указывает на увеличение степени выветрелости известняков. Наибольшее снижение отмечается у скв. 8 в интервале глубин 60-61,5 м, что указывает на присутствие либо щебня, либо полости заполненной водой. Этому интервалу соответствует снижение удельных электрических сопротивлений, но глинистость по данным каротажа не растет. В центральной части профиля скорости относительно высокие и выдержанные, что указывает на относительную сохранность известняка.

Выводы

Выполненные сейсмические исследования и каротаж скважин на объекте, их последующая предварительная обработка и интерпретация позволяют сделать следующие выводы:

1. Комплексная интерпретация МСП, каротажа и геологических данных позволила проследить кровлю известняка, который залегает на глубинах 47-68 м.

2. Толща известняков осложнена зонами разной степени выветрелости.

3. Каротаж позволяет не только выделить зоны трещиноватости, но и глинистые прослои, которые при бурении не отмечаются.

4. Требуется дальнейшая обработка и интерпретация материала с вовлечением результатов просвечивания между другими парами скважин, что позволит дать комплексную оценку всей территории объекта работ.

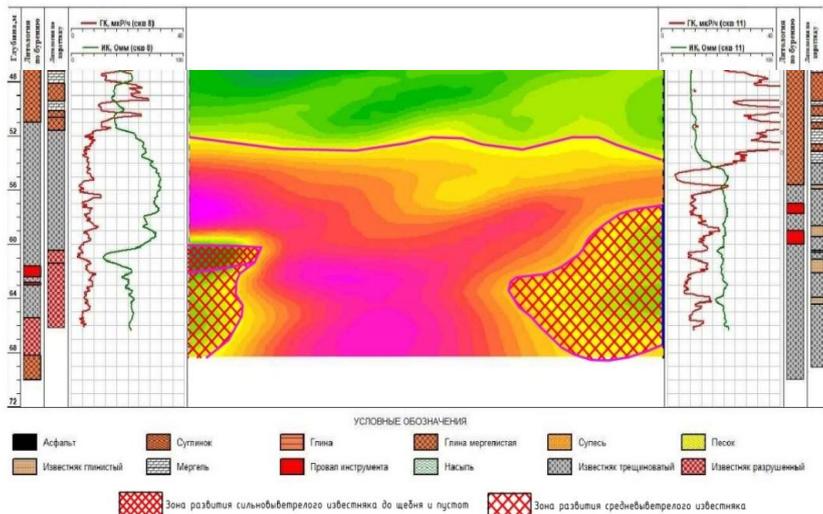


Рис. 1. Результаты МСП и каротажа в створе скв. 8-11

Литература

1. Болгаров А.Г., Рослов Ю.В. Межскважинная сейсмическая томография для решения инженерно-геологических задач / Технологии сейсморазведки. 2009. №1. С. 105-111.
2. Ошкин А.Н., Рагозин Н.А., Игнатьев В.И., Ермаков Р.Ю. Межскважинное сейсмическое просвечивание - опыт, методология, аппаратура / Приборы и системы разведочной геофизики. 2016. №3 (57).
3. Петрухин В.П. Геотехнические проблемы строительства в Москве - крупнейшем мегаполисе России / Геотехнические проблемы мегаполисов. Т. 1. СПб.: Изд-во «Группа компаний Геореконструкция». 2010. 259 с.
4. Романов В.В. Применение инженерной сейсморазведки при оценке карстово-суффозионной опасности на примере Московского региона / Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы современного грунтоведения: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Санкт-Петербург, 2022. – Москва: Геоинфо, 2022. С. 208-210.
5. Сейсмическая томография / Под ред. Нолета Г. М.: Мир, 1990. 416 с.

6. Шишкина М.А., Фокин И.В., Тихоцкий С.А. К вопросу о разрешающей способности межскважинной лучевой томографии // Технологии сейсморазведки. 2015. № 1. С. 5-21.

УДК 628.112(571.531)

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ УСЛОВИЙ МОХОВСКОГО ВОДОЗАБОРА (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ)

Никитенкова А.В., Никитенков А.Н.

*Национальный исследовательский
Томский политехнический университет (НИ ТПУ), г. Томск*

Инфильтрационные водозаборы широко используются для водоснабжения населения чистой питьевой водой, что обусловлено приближенностью к потребителю, высокой водообильностью аллювиальных и взаимосвязанных с ними коренных отложений, а также относительной простотой изыскательских и строительных работ при их создании, обеспечения хорошей производительности на протяжении длительных периодов эксплуатации и относительно высоким качеством воды, получаемой с их помощью.

При решении вопросов, связанных с эксплуатацией инфильтрационных водозаборов, необходимо учитывать их взаимосвязь с поверхностными водами, как с основным источником пополнения их запасов, а также условия питания за счет инфильтрации из поверхностных источников, поскольку при снижении уровней в них зачастую происходит подтягивание некондиционных вод из глубинных водоносных горизонтов, ведущее к ухудшению качества подаваемой населению воды.

Питание рассматриваемого водозабора Мохов осуществляется преимущественно за счет вод Красноярского водохранилища, вместе с тем в продуктивном пласте водозабора происходит подпитка из нижележащего напорного водоносного горизонта девонских отложений, доля которой при снижении уровня в водохранилище начинает расти и вместе с этим происходит снижение качества вод за счет роста содержания солей. Одновременно с этим происходит интенсификация процесса выпадения карбонатных минералов из добываемой воды, что ведет к ускоренному выходу из строя водоподъемного оборудования. В связи со сказанным выше, разработка подходов по комплексному изучению гидрогеологических особенностей

инфильтрационных водозаборов является важной задачей, решение которой должно обеспечить их стабильное функционирование при изменчивости условий питания.

Для построения модели по схематическому гидрогеологическому разрезу р. Енисей в районе Моховского месторождения использованы параметры водоносных горизонтов, полученных на этапе оценки запасов [1]. В течение года, как правило, наблюдаются установившиеся уровни воды в водохранилище с относительно небольшими колебаниями, определяющимися преимущественно режимом регулирования Саяно-Шушенской ГЭС и значимо не влияющими на граничные условия. Поэтому, для оценки основных закономерностей фильтрации поступающей в продуктивный пласт воды выбран срок эксплуатации в один год.

Дебит скважин выбран исходя из лицензии Моховского водозабора [3], предполагая возможную максимальную его эксплуатацию. Начальные напоры подобраны по фактическим условиям, которые были на момент разведки и с учетом понижения уровней. Пористость - на основе экспертных оценок специалистов в данной области.

В результате анализа гидрогеологического разреза территории была создана его четырехслойная модель с использованием вычислительного шаблона в MS Excel, результаты работы в котором переданы в программный комплекс Surfer для интерполяции grid файлов (использовался метод kriging) и построения 3D модели (рис 1). Полученные данные были использованы в Processing Modflow в качестве абсолютных отметок и отметок подошв горизонтов.

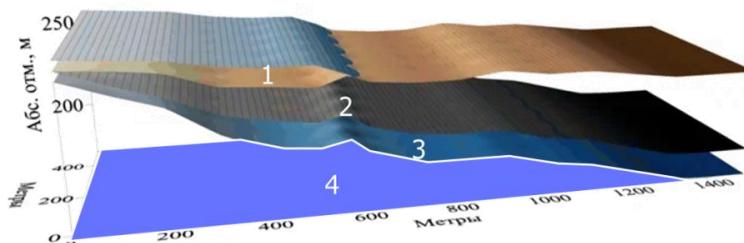


Рис. 1. Четырехслойная модель гидрогеологического разреза р. Енисей в районе Моховского месторождения: 1 – перекрывающие глинистые отложения; 2 – продуктивный водоносный горизонт четвертичных аллювиальных отложений, представленный гравийно-галечниковым материалом с песчаным заполнителем; 3 – нижняя часть горизонта, сложенная переслаивающимися глинами, суглинками; 4 – водоносный комплекс верхнедевонских терригенных отложений

Проведено моделирование на 1 год эксплуатации с фактически-ми (154 м³/сут) расходами скважин за 2021 год для ситуаций обме-ления (231 м) и нормальной (243 м) эксплуатации водохранилища.

Одним из результатов является оценка областей подтягивания воды за период эксплуатации в 1 год. На рисунке 2 представлены результаты таких оценок при работе скважин в условиях нормальной наполненности и сильного обмеления водохранилища[2].

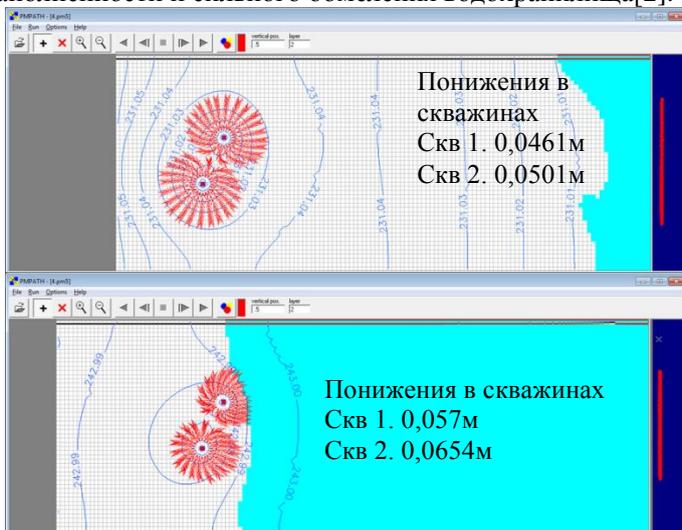


Рис. 2. Результат решения прогнозной гидродинамической модели (анализ областей подтягивания вод за 1 год) при расходе скважин 308 м³/сутки

На основе анализа баланса перетоков установлено, что при фактической нагрузке на скважины и сильном обмелении водохранилища питание теоретически может полностью перейти на воды девонских отложений, в то время как при проектной нагрузке всё-таки будет происходить их значимое разбавление водами водохранилища. При нормальных уровнях режим эксплуатации определяет баланс между водами.

Выводы. Изучена возможность применения гидродинамического моделирования для прогноза работы водозабора в условиях изменчивости уровня воды в водохранилище. Создание модели водозабора в программном комплексе Processing Modflow помогает оценить изменчивость напоров в продуктивном водоносном горизонте при различных уровнях воды в водохранилище. В перспективе предпола-

ется оценить баланс по перетокам между водоносными горизонтами. Применение гидродинамического моделирования представляет собой эффективный инструмент по контролю за изменениями качества воды и ресурсами водозабора.

Список литературы

1. Смелов А.В., Елисеев В.М. «Отчет по детальной разведке подземных вод для водоснабжения предприятия ПА-1582 / объект 4000» – Том I: г. Красноярск - 1983 г
2. Интернет-ресурс: ГУП РХ «Хакресводоканал» <https://www.hakresvod.ru/>
3. Лицензия АБН 00621 ВЭ на пользование недрами с целевым назначением и видами работ «Разведка и добыча подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения п. Пригорск от 22.11.2012 г.

УДК 550.3:624.191.22

ВЫЯВЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ РАЗУПЛОТНЁННЫХ ГРУНТОВ В ЗАОБДЕЛОЧНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНОВ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ, ВЫЧИСЛЯЕМЫХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБРАБОТКИ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ ТРАСС

Уткина А.В., Набатов В.В.

НИТУ МИСИС, г. Москва

Полости в заобделочном пространстве тоннелей метрополитенов могут довольно существенно влиять как на безопасность эксплуатации тоннелей, так и на окружающую инфраструктуру и наземные сооружения. Чтобы избежать этого влияния, принято выявлять полости с помощью геофизических методов после чего производить так называемый вторичный тампонаж. Традиционным подходом для геофизического выявления являются сейсмоакустические методы (Impulse Response (IR) и Impact-Echo (IE) [1, 2]), ультразвуковые исследования (УЗ) [3], а также георадиолокация [4, 5].

Наиболее часто используется IR, достоинствами которого является простота реализации, доступность для съёмки верхней части тоннеля, высокая продуктивность полевой работы. Проблемными же этого метода являются низкая разрешённость результатов наблюдений и связанная с ней разрежённость сети наблюдений. IE и УЗ характеризуются высокой трудоёмкостью полевой работы, и заменить IR не могут (обследование тоннелей производится в рамках короткого временного «ночного окна»). Георадиолокация в свою очередь

обеспечивает высокую скорость полевой работы, но проблемой этого метода является сложная интерпретация результатов. Камеральная часть работы характеризуется и трудоёмкостью, и субъективностью оператора.

Задачей этих исследований являлась разработка автоматизированной системы, способной указывать на аномальные участки радарограмм с целью снижения нагрузки на оператора и уменьшения его ошибочных решений. В основу системы положен принцип выделения признаков, вычисляемых при обработке георадиолокационных трасс, способных указывать на ситуацию полости за обделкой. В соответствии с принятой терминологией ситуация наличия полости ниже по тексту будет обозначаться как Positive (цель обнаружена), а отсутствия как Negative (цель отсутствует).

Для разработки системы в тоннелях московского метрополитена была произведена серия георадиолокационных съёмки в тех местах, где наличие полостей с высокой достоверностью было подтверждено с помощью IR. По факту этих исследований был выделен ряд признаков, способных указывать на наличие полости [6, 7]. В большинстве случаев признаки требовали перед их вычислением оптимальной предварительной обработки трассы [8, 6, 7]. Для создания эффективного комплекса признаков был принят ряд критериев на основании которых можно было бы отбирать информативные (т.е. способные выделять полости за обделкой) признаки. В качестве таких критериев были выбраны: интенсивность аномалии, надёжность разделения случаев Positive и Negative и независимость признаков [7].

В процессе работы было замечено, что практически все признаки испытывают резкие вариации внутри областей Positive и Negative, что приводило при классификации по пороговому правилу к ошибкам типа «пропуск цели» или «ложное срабатывание». Очевидным решением проблемы является переход к комплексам признаков.

При опробовании ряда способов объединения признаков в комплексы (и принятия по ним решения о наличии полости), в качестве наиболее эффективного способа была выбрана кластерная классификация. На эталонах получались кластеры случаев Positive (К-Р) и Negative (К-Н), также с помощью скользящего окна формировался классифицируемый кластер (К-К). Далее вычислялись значения меры сходства между К-К и эталонными кластерами. Так, например, если К-К оказывался схожим с К-Н, принималось решение о том, что К-К соответствует ситуации «отсутствие полости», если кластер

оказывался удалённым от К-N принималось решение о ситуации «полость присутствует». При этом именно опора на схожесть и несхожесть с кластером Negative (а не Positive) давала наилучшие результаты.

Ключевой особенностью использовавшейся кластерной классификации был подбор оптимальной меры сходства. Использовались как метрики, так и подходы не связанные с определением расстояний между кластерами. Выбор производился с помощью построения кластерных деревьев с использованием различных мер сходства. При этом выбирались те деревья, в которых, во-первых, разбиение на кластеры происходило по схеме «1–2» (т.е. плохим вариантом было, например, «1–3»), а, во-вторых, само разделение происходило на достаточно больших значениях меры сходства. В результате этих исследований была выбрана метрика степенного расстояния M_c , которое вычислялось между центроидами кластеров:

$$M_c = \left(\sum_{i=1}^k |A_{K,i} - A_{N,i}|^{n_1} \right)^{1/n_2},$$

где $A_{K,i}$ – значение i -го признака для центроида классифицируемого кластера; $A_{N,i}$ – значение i -го признака для центроида кластера эталона (использовался кластер эталона Negative); n_1 и n_2 – степени определяемые пользователем; k – количество признаков в комплексе.

Полученная таким образом функция значений степенного расстояния, взятая в последовательном ряде точек профиля, использовалась в качестве классифицирующей функции $M_c(x)$. Высокие значения $M_c(x)$ указывали на наличие полости, низкие на отсутствие. При этом эти случаи довольно хорошо разделялись по пороговому правилу и ошибки «пропуск цели» и «ложное срабатывание» практически не наблюдались. Также для получения хорошо разделяемой функции $M_c(x)$ важным оказалось соотношение степеней n_1/n_2 . Оптимальные значения этого соотношения находились в диапазоне от 2 до 6. При значениях отношения $n_1/n_2 < 2$ в классифицирующей функции возникали множественные ошибки типа «ложное срабатывание», а при $n_1/n_2 > 6$ – множественные ошибки «пропуск цели».

Выводы

1. При выявлении фрагментов радарограмм соответствующих ситуации «полость за обделкой» значения признаков вычисляемых при обработке георадиолокационных трасс могут существенно варьировать и создавать ошибки типа «пропуск цели» или «ложное срабатывание»

2. Использование комплексов признаков, реализованных в виде процедуры кластерной классификации, позволяет решить эту проблему.

3. Оптимальной мерой сходства при кластерной классификации является степенное расстояние с отношением степеней $2 < n_1/n_2 < 6$.

Список литературы

1. Hai-Xiang Tang, Shi-Guo Long, Ting Li Quantitative evaluation of tunnel lining voids by acoustic spectrum analysis // *Construction and Building Materials*. 2019, vol. 228, article 116762. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116762.

2. Fei Yao, Chen Guangyu Time-frequency analysis of impact echo signals of grouting defects in tunnels // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2019, vol. 55, no. 8, pp. 581-595. DOI: 10.1134/S1061830919080102.

3. Шилин А.А., Кириленко А.М., Знайченко П.А. Комплексные обследования бетонных и железобетонных обделок транспортных тоннелей ультразвуковым и ударно-акустическим методами // *Транспортное строительство*. 2014, №5. С. 12-14.

4. Андрианов С. В. Мониторинг состояния заобделочного пространства горных выработок методом георадиолокации // *ГИАБ*. - 2019. - № 5. - С. 124—132. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-124-132.

5. Hai Liu, Xiongyao Xie, Motoyuki Sato Accurate thickness estimation of a backfill grouting layer behind shield tunnel lining by CMP measurement using GPR / 14th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR). 2012. DOI: 10.1109/ICGPR.2012.6254848.

6. Набатов В.В., Уткина А.В. Анализ поведения добротности и ее составляющих при георадиолокационном выявлении полостей в массиве пород на границе «обделка-грунт» // *ГИАБ*. - 2022. - № 6. - С. 142–155. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_142.

7. Набатов В.В., Уткина А.В. Специфика изменчивости признаков зарегистрированных сигналов при георадиолокационном выявлении полостей в массиве пород на границе «обделка-грунт» // *ГИАБ*. - 2023. - № 7. - С. 52–63. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_7_0_52.

8. Набатов В.В., Вознесенский А.С. Георадиолокационное обнаружение полостей в заобделочном пространстве тоннелей метрополитенов // *Горный журнал*. — 2015. — № 2. — С. 15—20. DOI: 10.17580/gzh.2015.02.03

ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ, РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

УДК 622.235

«ЧИСТЫЙ УГОЛЬ – ЗЕЛЕНый КУЗБАСС» К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ ЗАБОЙКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА РАЗРЕЗАХ

Жариков И.Ф., Докутович М.И.

ИПКОН РАН, г. Москва

Исследования различных технологических процессов, связанных с добычей полезных ископаемых, показали возможность и наличие реальности образования тонкодисперсных фракций на различных этапах горного производства [1]. Установлено, что доминирующая роль при образовании техногенных минеральных частиц связана с взрывным разрушением горных пород. Поэтому актуальными являются фундаментальные исследования по раскрытию механизмов образования высокодисперсных частиц, наноструктурных изменений в горных породах при технологических взрывах различного масштаба, механическом разрушении и геодинамических процессах, происходящих при освоении минеральных ресурсов литосферы.

Наиболее существенным источником минеральных субмикронных частиц, в применяемых геотехнологиях, является процесс взрывного разрушения горных пород [2]. Необходимость обеспечения высоких количественных показателей взрывной отбойки различного масштаба делает неизбежным существенно избыточную энергонасыщенность разрушаемого объема, что приводит к образованию высокодисперсных частиц в объеме, значительно превышающем допустимый. В настоящее время получено экспериментальное подтверждение факта образования при взрыве высокодисперсных частиц. Сделаны оценки количества образуемых субмикронных частиц в раздробленной взрывом горной массе, которые свидетельствуют о необходимости существенного сокращения объема выброса высокодисперсных частиц и повышения надежности и качества изготовления забойки.

В книге, написанной под редакцией Министра угольной промышленности СССР М.И. Щадова [3], прямо указано: «При взрывании необводненных пород наиболее эффективными являются заряды с воздушными промежутками и активной забойкой, а в обводненных породах – заряды с водно-воздушным или водным промежутком и активной забойкой». Активная забойка была предложена и испытана в ИГД им. А.А. Скочинского [4] для повышения надежности и качества герметизации части незаряженной скважины с целью увеличения времени воздействия продуктов детонации на разрушаемую среду, представляющая собой серию зарядов ВВ малой величины, расположенных по высоте в инертной забойке и взрываемых одновременно со скважинным зарядом. Роль активной забойки выполняли три заряда ВВ весом 0,75-1,5 кг, размещаемые внутри обычной инертной забойки, а вес их уменьшался в направлении к устью скважины (рис. 1).

При проведении опытно-промышленных взрывов часть взрываемого блока заряжалась с применением активной забойки, а на другой части блока использовалась обычная инертная забойка. Породы взрываемых блоков были представлены плотными, трудновзрываемыми вторичными кварцитами и сиенитами. Развитие взрывов фиксировалось скоростной кинокамерой. Покадровый анализ киносъемки показал, что начало выброса продуктов взрыва при зарядах с активной забойкой происходит через 38–40 мс после инициирования заряда, а при обычной забойке это время составляет 17–19 мс, что хорошо видно на рис. 2, где слева развитие выброса при обычной забойке, а справа при использовании активной забойки.

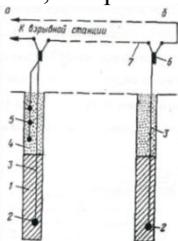
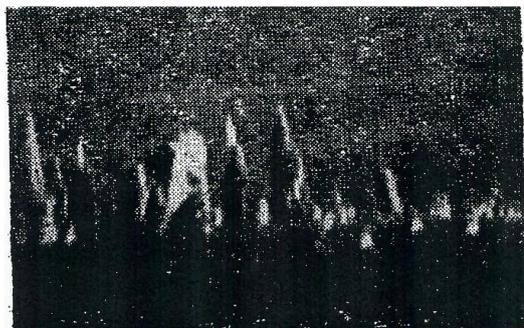


Рис. 1. Схема установки скважинных зарядов: а – активная забойка; б – обычная забойка; 1 – основной заряд ВВ, 2 – боевик, 3 – ДШ, 4 – инертная забойка, 5 – заряд ВВ, 6 – электродетонатор, 7 – магистральный провод

Максимальная высота подъема пылегазового потока при активной забойке в 1,5–1,6 раза ниже по сравнению со взрывом зарядов при обычной забойке.

В результате проведенных исследований разработан способ снижения пылегазовыделений при массовых взрывах, включающий забойку, состоящую из инертного материала и закрепляющей смеси [5].



**Рис. 2. Кинограмма
развития взрыва**

Закрепляющая смесь в указанных пропорциях обеспечивает твердение забойки за короткий промежуток времени, сцепление с боковыми породами и придает ей повышенную прочность до 2,3–3,0 МПа. В работе [6] рассмотрены процессы движения и вылета забойки скважин, состоящей из сыпучей и водяной частей, при взрыве скважинного заряда. Механизм движения забойки рассмотрен с учетом расширения продуктов детонации и сил трения. Показано, что основное влияние на время вылета забойки оказывают силы трения, в то время как влияние инерционности мало и оказывает незначительное действие на сдерживание продуктов взрыва. Для достижения максимальной задержки продуктов взрыва в скважине и достижения максимального разупрочнения массива взрывом, необходимо выполнять забойку из сыпучего материала, имеющего максимальные значения коэффициента трения и распределяемого по всей высоте забоечного пространства. Применение комбинированной забойки с водяной прослойкой позволяет не только увеличить продолжительность действия взрывного импульса на массив горных пород, но одновременно существенно повысить и процесс пылеподавления.

В работе [7] указано, что образующаяся при взрыве пыль выбрасывается в атмосферу в виде пылегазового облака и затем постепенно оседает на уступах, около карьерных площадях и в близлежащих населенных пунктах, являясь в дальнейшем интенсивным источником пылевыделения. В результате исследований установлено, что четкие границы формирования пылегазового облака наблюдаются только при отсутствии ветровых потоков. При наличии даже слабого ветра (0,5–1,0 м/с) границы облака резко меняются в течение 30–60 с. Наиболее крупные фракции пыли интенсивно выпадают вблизи взрываемого блока. Мелкие фракции вместе с газами под действием ветровых потоков распространяются на значительные расстояния от

места взрыва. Дальность распространения пыли зависит от высоты выброса пыли над поверхностью взрывающегося блока, скорости ветра, скорости витания пылинок в атмосфере.

Благодарности. *Исследования проведены в рамках соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации №075-15-2022-1185 от 28.09.22 г.*

Литература

1. Чантурия В.А., Трубецкой К.Н., Викторов С.Д., Бунин И.Ж. Нано частицы в процессах разрушения и вскрытия геоматериалов. – М.: ИПКОН РАН, 2006. – 216 с.

2. Кудряшов В.В., Викторов С.Д., Качанов А.Н. О распределении минеральных частиц по размерам при разрушении горных пород. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, №6. – М.: ИПКОН РАН, 2006. – с. 68-72.

3. Щадов М.И., Виноцкий К.Е., Потапов М.Г. Развитие техники и технологии открытой угольной добычи. // Под ред. Щадова М.И. – М.: «Недра», 1987. – 237 с.

4. Сеинов Н.П., Жариков И.Ф. Ведение взрывных работ на угольных разрезах. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1984. – 74 с.

5. Заиров Ш.Ш. Разработка способа снижения пылегазо-выделений при массовых взрывах на карьерах. // Сб. Взрывное дело, №114/71. – М.: МВК по взрывному делу при АГН, 2015. – с. 202-210.

6. Дугарцыренов А.В., Рахманов Р.А. Исследование процесса вылета комбинированной забойки при взрыве скважинных зарядов. // Сб. Взрывное дело, №120/77. – М.: МВК по взрывному делу при АГН, 2018. – с. 39-53.

7. Тихонова О.В. Исследование процесса пылеобразования при взрывных работах. // Научно-технический сборник Взрывное дело. Выпуск №95/52. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2005. – с. 158-167.

ОБ УГЛАХ СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Кулибаба С.Б.

ИПКОН РАН, г. Москва

Границы зоны опасного влияния на земной поверхности подземной разработки угольных пластов определяют согласно [1] по углам сдвижения, образованным между линиями, соединяющими границы очистной выработки с точками земной поверхности, где проявляются определенные критические деформации, и горизонтом. Ранее нами уже отмечалось, что в существующих методах расчета сдвижений и деформаций земной поверхности положения точек с критическими деформациями и определяемым по углам сдвижения не

увязаны между собой [2] – с увеличением глубины разработки значения фактических углов сдвижения возрастают, при определенных условиях даже превышая 90° .

Рассмотрим подробнее распределение деформаций наклонов i и относительных горизонтальных сдвижений ε в краевой части мульды горизонтально залегающего пласта, т. е., в интервале значений ее относительной координаты z от 0,6 до 1,0, в условиях полной подработки земной поверхности. Согласно [1] их значения определяют по формулам:

$$\begin{cases} i = \frac{q_0 m}{H(ctg\psi_3 + ctg\delta_0)} S'(z) \\ \varepsilon = 0,5 a_0 \frac{q_0 m}{H(ctg\psi_3 + ctg\delta_0)} S''(z) \end{cases} \quad (1)$$

где q_0 – относительное максимальное оседание; m – вынимаемая мощность пласта, м; H – глубина разработки пласта, м; ψ_3 и δ_0 – соответственно угол полных сдвижений и граничный угол, градус; a_0 – относительное горизонтальное сдвижение; $S'(z)$ и $S''(z)$ – функции типовых кривых, описывающих распределение деформаций земной поверхности в полумульде в зависимости от относительной линейной координаты z .

Выразим функции типовых кривых $S'(z)$ и $S''(z)$, описывающих распределение деформаций наклонов и относительных горизонтальных деформаций земной поверхности в полумульде сдвижения в зависимости от относительной линейной координаты z [1], через основные параметры сдвижения:

$$\begin{cases} S'(z) = i \frac{H}{mq_0} (ctg\psi_3 + ctg\delta_0) \\ S''(z) = 2\varepsilon \frac{H}{mq_0 a_0} (ctg\psi_3 + ctg\delta_0) \end{cases} \quad (2)$$

Функции $S'(z)$ и $S''(z)$, в основе которых лежит функция Гаусса, описывают характер распределения деформаций во всей полумульде. Они имеют достаточно сложный вид и в документе [1] заданы в табличном виде. Поскольку в аспекте рассматриваемого вопроса нас интересуют лишь краевая часть мульды, для удобства дальнейших преобразований опишем это распределение более простыми функциями (в интервале $z = 0,6 \dots 1,0$):

$$\begin{cases} S'(z) = b_0 + e^{b_1 z + b_2} \\ S''(z) = c_0 + e^{c_1 z^2 + c_2} \end{cases} \quad (3)$$

где b_i и c_i – эмпирические коэффициенты, определяемые для каждого угольного бассейна.

Приравняв между собой правые части выражений (2) и (3), и подставив в них вместо текущих величин деформаций i и ε их критические значения, принятые для определения границ зоны опасного влияния ($i_0=4,0 \cdot 10^{-3}$; $\varepsilon_0=2,0 \cdot 10^{-3}$), решим каждое из них относительно параметра z :

$$\begin{cases} z_{(i)} = \frac{\ln \left[\frac{0,004K}{q_0} (ctg \psi_3 + ctg \delta_0) - b_0 \right] - b_2}{b_1}, \\ z_{(\varepsilon)} = \sqrt{\frac{\ln \left[\frac{0,004K (ctg \psi_3 + ctg \delta_0)}{q_0 a_0} - c_0 \right] - c_2}{c_1}}, \end{cases} \quad (4)$$

где $K = H/m$ – кратность подработки земной поверхности.

Зная относительные координаты z точки с критическими значениями деформаций, можно определить соответствующий ей фактический угол сдвижения по формуле:

$$ctg \delta_{(i, \varepsilon)} = z(ctg \psi_3 + ctg \delta_0) - ctg \psi_3. \quad (5)$$

Сопоставление фактических углов сдвижения ($\delta_{(i)}$ и $\delta_{(\varepsilon)}$), определенными соответственно по критериям наклонов и относительных горизонтальных деформаций, с нормативными (δ) показывает наличие между ними разницы (последние имеют меньшие значения), которая возрастает с увеличением кратности подработки земной поверхности.

На рис. 1 показан пример построения предохранительного целика под здание размером в плане 30×30 м при отработке в условиях Кузбасса горизонтально залегающего пласта в следующих условиях: вынимаемая мощность пласта 2 м; глубина отработки 320 м; безопасная глубина подработки 383 м; ширина бермы 10 м; мощность наносов 10 м; подработка первичная.

Заштрихованная часть пласта представляет собой разницу между площадями целиков, построенных соответственно по нормативным ($\delta=80^\circ$) и фактическим ($\delta_{(\varepsilon)}=87,1^\circ$) углам сдвижения. Расчет показывает, что, применяя предлагаемый подход, даже в рассматриваемых условиях охраны одиночного здания из недр можно дополнительно извлечь 50-55 тыс. т угля, что составляет 70% запасов, оставляемых в целике.

Для исследований выбирается частотный диапазон 0,5-20 Гц таким образом, чтобы фиксировать отличия при взаимодействии волн с геологическими структурами, содержащими заполненные УВ поры, в сравнении с аналогичными структурами, содержащими только воду.

Микродрожание углеводородосодержащих структур – это частотно-зависимое «рассеяние» входящих фоновых сейсмических волн. В угольной геологии данный метод пока не нашел применения, но вполне и с успехом может быть использован для выполнения задач, связанных с прогнозом зон опасного скопления метана на шахтных полях.

Проанализировав опыт применения микросейсмических исследований, можно понять, что первоочередной задачей является выделение эндогенной составляющей из всех приходящих волн различной частоты f от 0,01 до 20 Гц. Уровень интенсивности для амплитуд полезного сигнала оценивается в нанометрах, что соответствует уровню шумов, произведенных на поверхности Земли источниками естественной и искусственной природы [2-4]. Полезный сигнал находится внутри сложного волнового поля, всегда присутствующего на поверхности. Это происходит вне зависимости от того, какой конкретно источник микросейсмических колебаний предстоит изучить: образование и расширение зон трещиноватости, технические микроземлетрясения при проведении горных работ, движение флюидов над нефтяными залежами, напряженное состояние горных пород и иные.

Чтобы выделить параметры отдельного сейсмического события – форму импульса, частоту колебаний, выделяющуюся сейсмическую энергию, сейсмический момент и координаты очага, необходимо использовать множество предварительных процедур, начиная от методики измерений и заканчивая обработкой и интерпретацией сейсмической информации.

Различные авторы используют следующие приемы улучшения отношений сигнал/шум [3-9]:

- проведение измерений в интервалах времени не менее 1500 сек для получения стабильных спектров микросейсм;
- проводится поляризационный анализ движения частиц;
- проведение прямой оценки кажущихся скоростей V_p , V_s и фундаментальной моды Рэлея (V_R);
- создание опорной станции с изучением нормального фона микросейсмических измерений для поправок на полевые наблюдения;

➤ использование трехкомпонентных датчиков с измерением 2-х горизонтальных и одной вертикальной составляющей волнового поля и др.

Выбор измерительных приборов обусловлен амплитудно-частотными характеристиками изучаемого сигнала, поэтому большинство исследователей арендуют или разрабатывают системы, позволяющие регистрировать с высокой детальностью частоты сигналов не превышающие 10-20 Гц. Примеры типичных спектров, ожидаемых при полевых экспериментах приведены на рис. 1.

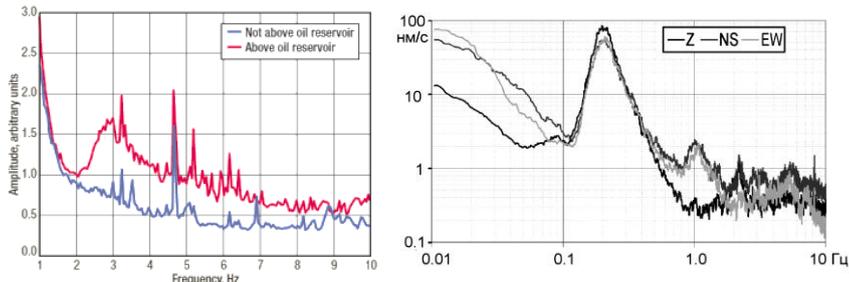


Рис. 1. Типичные амплитудно-частотные спектры микросейсмического шума, по данным [1, 6]

Для более точной интерпретации полученных материалов необходимо учитывать: геологическое строение массива, коллекторские свойства горных пород по вертикальному разрезу участка из нескольких опорных скважин на участке работ или определение изменений по картам геофизических наблюдений с поверхности электрических, гравитационных, магнитных и газовых параметров.

В настоящее время применяют стандартные процедуры, состоящие из предварительного расчета ожидаемого частотно-амплитудного спектра и дальнейшем сравнении рассчитанного и фактически наблюдаемого спектров.

Развитие метода пассивной микросейсморазведки происходит, в основном, в трех направлениях:

- ❖ в геологическом – картирование и определение глубины залегания активных разломов, обнаружение грязевых вулканов, залежей нефти, зон трещиноватости в массиве горных пород при гидроразрыве пласта и др;

- ❖ в сейсмологическом – локация очагов землетрясений и установление природы макросейсмических событий;

- ❖ в техническом – исследование характеристик грунтов при строительстве крупных объектов (АЭС, ГЭС, ТЭС и т.д.).

Микросейсмсы содержат обширную информацию о структурно-геологических неоднородностях и напряженном состоянии горного массива. Также можно сигнал от микросейсм рассматривать как постоянно действующий информационный элемент, позволяющий изучать геодинамическое состояние геологической среды.

Специалистами РАНИМИ были проведены сейсмологические мониторинговые измерения на поле шахты «Калиновская-Восточная» в 2020-2021 гг. Полученные данные позволили уже на ранних этапах исследования микросейсмического поля получить результаты, подтверждающие общие принципы и закономерности, встречающиеся в литературе об анализе микросейсмической информации.

Успешное применение результатов микросейсмических измерений в разных отраслях науки и производства позволяет надеяться на новый этап развития метода с такими геологическими объектами, как зоны скоплений метана на шахтных полях угольных месторождений.

Список литературы

1. René Graf, Stefan M. Schmalholz, Yuri Podladchikov, Erik H. Saenger Passive low frequency spectral analysis: Exploring a new field in geophysics // World Oil / January 2007, Pgs. 47-52.

2. Кузнецов И.А. Сейсмоакустика пористых и трещиноватых геологических сред. Экспериментальные исследования / И.А. Кузнецов [и др.]. – М., 2004. – Т. 2. – 320 с.

3. Горбатилов А. В. Технология глубинного зондирования земной коры с использованием естественного низкочастотного микросейсмического поля / А.В. Горбатилов [и др.] // Изменение окружающей среды и климата: монография. – М.: ИФЗ РАН, 2008. – Т. 1, ч. 2. – С. 223-236.

4. Горбатилов А.В. Возможность оценки параметров геологических объектов на основе использования фонового микросейсмического поля. Результаты экспериментальных исследований и моделирования / А.В. Горбатилов // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: матер. междунар. сейсмологической школы – Обнинск, 2006. – С. 66-71.

5. Данилов К.Б. Выявление геологических неоднородностей в верхней части земной коры на основе анализа низкочастотных микросейсм (на примере Архангельской области): дис. канд. физ.-мат. наук: 25.00.10 / Данилов Константин Борисович. – Архангельск, 2017. – 181 с.

6. Орлов Р.А. Опыт использования микросейсмического шума для решения геологических задач в условиях платформы (на примере воронежского кристаллического массива / Р.А. Орлов. // Вестник ВГУ, Серия: Геология – 2011. – №1. – 184-192.

7. Адушкин В.В. Обнаружение сверхслабых сигналов на малоапертурной сейсмической антенне «Михнево» с помощью кросскорреляции волновых форм / В. В. Адушкин [и др.] // Геофизика: журн. / ДАН. – 2015. – Т. 460, № 6. – С. 707-709.

8. Сергеев С.И. Развитие малоапертурной сейсмической антенны «Михнево» для решения новых сейсмологических задач / С.И. Сергеев, С.А. Королев, С.Г. Волосов, О.П. Кузнецов // Научное приобретение: работы с конференции. – 2017. – Т. 27, № 1 – С. 35-39.

9. Бережной Д.В. Анализ спектральных характеристик микросейсм как метод изучения структуры геологической среды [Электронный ресурс] / Д.В. Бережной [и др.].

УДК 539.3:622.831

ПРОГНОЗ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА НАД ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ С ПОЗИЦИИ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ

Ревва В.Н., Васютина В.В.

ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк

При закрытии угольных шахт, особенно при их мокрой консервации, весьма актуальным становятся оценка и прогноз устойчивости массива горных пород над выработанным пространством.

Указанные проблемы непосредственно связаны с деформированием и разрушением горных пород, которые в отличие от других твердых тел обладают своими специфическими особенностями связанными, прежде всего с дефектностью структуры, неоднородностью среды, присутствием в них различных флюидов и действием в горном массиве объемного неравнокомпонентного поля сжимающих напряжений.

В настоящей работе предложен новый подход, основанный на положениях механики разрушения, к оценке прогноза предельного состояния горного массива над выработанным пространством, который может быть использован для прогноза активизации процесса сдвижения земной поверхности при закрытии угольных шахт. Рассмотрим самый критический в смысле устойчивости, случай когда, горный массив принимается упругим.

Так как в породах, обладающих свойствами пластичности, со временем напряжения релаксируют, то ограничимся рассмотрением геостатической модели о напряженно-деформированном состоянии горного массива, частным случаем плоской задачи, согласно

которой вертикальное напряжение $\sigma_1 = k\gamma H$, а горизонтальное $\sigma_2 = \lambda k\gamma H$, где γ – объемный вес пород, H – глубина залегания, k – коэффициент концентрации напряжений давления l вне зоны влияния горной выработки $k > 1$ – в зоне влияния; λ – коэффициент бокового распора, который для случая упругой среды $\lambda = \frac{\nu}{1-\nu}$; где ν – коэффициент Пуассона.

В рамках плоской модели, в массиве горных пород над выработанным пространством рассмотрим эффективную (интегрально учитывающую множество реальных трещин в массиве) прямолинейную трещину длиной $2l$, ориентированную под углом α к направлению действия преобладающего сжимающего напряжения σ_1 . Вдоль берегов трещины распределены нормальные напряжения P (давление флюида (воды, газа) на стенки трещины). Пренебрегаем влиянием фильтрации флюида через стенки трещины на распределение давления вдоль её берегов (в данном случае учитываем влияние флюида как чисто силового фактора).

Напряженно – деформированное состояние вблизи тупиковой части трещины полностью определяют уровни коэффициентов интенсивности напряжений k_I , k_{II} , k_{III} , соответствующие механизмам разрушения нормального отрыва, поперечного и продольного сдвига. Для случая плоской деформации $k_{III} = 0$, тогда согласно [1], выражения для k_I и k_{II} имеют вид:

$$k_I = \sqrt{\pi l} [P - \sigma_1 (\sin^2 \alpha + \lambda \cos^2 \alpha)], \quad (1)$$

$$k_{II} = \frac{1}{2} \sqrt{\pi l} \cdot \sigma_1 (1 - \lambda) \cdot \sin 2\alpha$$

Воспользуемся критерием локального разрушения (условие начала распространения трещины) [2].

$$\frac{2E}{1-\nu} \cdot \Gamma - (1-\nu) \cdot (k_I^2 + k_{II}^2) - k_{III}^2 = 0.$$

А для случая плоской деформации:

$$\Gamma = \frac{1-\nu}{2\Gamma} \cdot (k_I^2 + k_{II}^2), \quad (2)$$

где Γ – Эффективная поверхностная энергия (ЭПЭ) – энергия необходимая для образования нового элемента поверхности, учитывающая все механизмы разрушения, характеристика трещиностойкости материала (породы); E – модуль деформации.

После подстановки (1) в (2) и соответствующих преобразований получим критериальное соотношение, позволяющее оценить и спрогнозировать предельное состояние горного массива над выработанным пространством, а следовательно, и возобновление процесса сдвижения земной поверхности при закрытии угольных шахт:

$$\frac{\pi(1-\nu^2)}{2E} \cdot \left\{ \begin{aligned} & [P - k\gamma H(\sin^2 \alpha + \lambda \cos^2 \alpha) + \\ & + \frac{(k\gamma\gamma)^2}{4}(1-\lambda)^2 \sin^2 2\alpha \end{aligned} \right\} = \Gamma \quad (3)$$

Так как мы рассматриваем самую критическую (опасную) ситуацию состояния горного массива, попробуем учесть влияние неоднородности среды, которая существенно уменьшает её трещиностойкость. Для этого воспользуемся критерием локального разрушения для случая, когда трещина расположена на границе раздела различных изотропных упругих сред (слоев) в виде [2]:

$$8\Gamma = \left(\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} \right) \cdot k_{III}^2 + \frac{(\mu_1 + \mu_2 \aleph_1) \cdot (\mu_2 + \mu_1 \aleph_2)}{\mu_1 \mu_2 [\mu_2 (\aleph + 1) + \mu_1 (\aleph_2 + 1)]} (k_I^2 + k_{II}^2);$$

где

$$\mu_i = \frac{E_i}{2(1-\nu_i)}, \aleph = 3 - 4\nu_i, (i=1, 2)$$

Тогда условие предельного состояния горного массива принимает вид

$$\frac{\pi\eta}{8} \cdot \left\{ \begin{aligned} & [P - k\gamma H(\sin^2 \alpha + \lambda \cos^2 \alpha) \\ & + \frac{(k\gamma\gamma)^2}{4}(1-\lambda)^2 \sin^2 2\alpha \end{aligned} \right\} = \Gamma \quad (4)$$

где

$$\eta = \frac{(\mu_1 + \mu_2 \aleph_1) \cdot (\mu_2 + \mu_1 \aleph_2)}{\mu_1 \mu_2 [\mu_2 (\aleph + 1) + \mu_1 (\aleph_2 + 1)]}$$

$$\Gamma = \sqrt{\Gamma_1 \cdot \Gamma_2} = \Gamma_2 \left(\frac{\Gamma_1}{\Gamma_2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

где Γ_1 и Γ_2 соответственно меньшая и большая трещиноватость слоев, а для самого критического случая принимается значение ЭПЭ меньше трещиностойкого слоя.

Согласно [1] в условиях неравнокомпонентного сжатия разрушение горных пород происходит за счет прорастания критически ориентированных сдвиговых трещин, расположенных под углом $\alpha = \frac{1}{2} \arctg \rho$ к направлению действия преобладающего сжимающего напряжения σ_1 [3], где ρ – коэффициент внутреннего трения.

Таким образом, соотношения (3) и (4) могут быть использованы для разработки способов оценки и прогноза достижения предельного состояния над выработанным пространством при закрытии угольных шахт.

Список литературы

1. Алексеев, А.Д. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений [Текст] / А.Д. Алексеев, В.Н. Ревва, Н.А. Рязанцев – Киев: Наукова думка, 1989. – 168 с.
2. Черепанов, Г.П. Механика хрупкого разрушения [Текст] / Г.П. Черепанов. – Москва: Наука. 1974. – 460 с.
3. Черепанов, Г.П. О развитии трещин в сжатых телах [Текст] / Г.П. Черепанов. – Москва: Металлургия. 1966. Том 3.- С 82-93.
4. Ревва, В.Н. Изменение физико-механических свойств горных пород при водонасыщении в условиях объемного нагружения [Текст] / В.Н. Ревва // Наукові праці УкрНДМІ НАН України - № 12.- Донецьк. 2013. – С.179-189.

УДК 69.035.4

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВОГО ГОРНОГО МАССИВА СИНТЕТИЧЕСКИМИ СКРЕПЛЯЮЩИМИ СОСТАВАМИ

Канин В.А., Туманов В.В., Пивень Ю. А., Васютина В.В.

ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк

Одним из основных показателей, определяющих степень устойчивости и склонность к разрушению массива горных пород, его водо- и газопроницаемость является трещиноватость, которая в общем случае представляет собой совокупность всех трещин совместно развитых в конкретном объеме горной породы, независимо от их геометрии, морфологии и генезиса. Основными характеристиками трещиноватости, позволяющими сравнивать между собой различные породные массивы или участки одного и того же массива, подверженные различным механическим или физико-химическим воздействиям, являются: коэффициент трещиноватости пород – величина

трещиноватости горных пород, выраженная отношением объема трещин к объему всей породы, заключающей в себе эти трещины; модуль трещиноватости пород – количество трещин на 1 п.м линии измерения перпендикулярно главной системе трещин и величина раскрытия (ширина) трещин.

Как показала мировая практика горных работ, наиболее надежным средством предварительного закрепления неустойчивых трещиноватых пород является их физико-химическая обработка, в результате которой жидкие в исходном состоянии полимерные композиции, заполняющие полностью или частично объем трещин зиянием (раскрытием) более 10^{-4} м, достаточно быстро полимеризуются в холодном состоянии и, обладая хорошими адгезионными свойствами, «склеивают» берега трещин, преобразуя дискретный породный массив в квазимонолитное состояние. При этом, согласно данным [1], физико-химическое закрепление трещиноватого породного массива считается удовлетворительным, если скрепляющим составом заполняется 80% трещин раскрытием более 10^{-4} м. При этом достигается снижение коэффициента пустотности массива на 90-95%, а среднее значение проницаемости закрепленного массива 69.035.4 измерениями не превышает 0,15 МПа/(м·мин). Исходя из рассмотренных физических представлений о процессе закрепления трещиноватого породного массива полимерными скрепляющими составами, контроль качества получаемых результатов надежнее и реальнее осуществлять не прямыми измерениями трещиноватости в скважинах или на кернах, а путем комплексной оценки состояния породного массива геофизическими методами. Так, согласно [2], основными методами геофизического контроля состояния горного массива в шахтах и тоннелях являются сейсмоакустические (в том числе с использованием спектрального анализа акустических волн) и электрометрические (профилирование, просвечивание) методы. Не вызывает сомнения, что при комплексировании этих методов можно получить наиболее полную и достоверную прогнозную информацию о строении и состоянии геологической среды. В тоже время представляется вполне вероятным, что для успешного решения задач оценки качества работ по закреплению породного массива, возможно самостоятельное использование указанных методов в зависимости от их технических возможностей и конкретных горнотехнических условий. Так, при наличии металлической крепи применение

методов электропрофилирования по понятным причинам будет малоэффективным и для получения полезной электрометрической информации о состоянии породного массива в закрепном пространстве придется принимать нестандартные решения с переносом точек возбуждения и приема электрического поля в специально пробуренные шпурь. В этом случае речь, очевидно, будет идти об электрическом просвечивании массива в пространстве между шпурами, требующем применения специального оборудования и обрабатывающих программ.

Далее в качестве наиболее перспективных способов контроля состояния породного массива рассмотрим некоторые результаты сейсмоакустических исследований, выполненных специалистами РАНМИ для оценки инженерно-геологических условий строительства дополнительного технологического тоннеля через Маркхотский хребет в районе г. Новороссийска. Литологический состав горных пород представлен здесь чередованием осадочных пород (песчаников, глин, аргиллитов), физические свойства которых близки к таковым для вмещающих углепородных массивов Донбасса. Сейсмоакустические зондирования проводились из действующего тоннеля в сторону проектируемого. Так как получение четких отражений весьма проблематично в реальных горно-геологических условиях, выявление в исследуемом массиве геоструктурных аномалий проводилось на основе оценки изменений спектральных особенностей сейсмоакустических сигналов. При этом был учтен опыт исследований [2, 3], показавших, что частотные параметры сейсмоакустических колебаний менее зависят от напряженного состояния среды и несут в основном информацию о существующих в массиве зонах трещиноватости.

Формируемый сложной колебательной системой - горный массив-крепь тоннеля, амплитудно-частотный спектр упругих колебаний, в обобщенном виде (нормированный и усредненный по множеству сигналов с разных пунктов возбуждения в тоннеле) характеризуется наличием основного положительного экстремума на частоте 800-1000 Гц, отражающим прочностные параметры и поперечные размеры крепи. В трещиноватых и водонасыщенных породах в спектре сигнала возникают экстремумы на частотах 50-200 Гц. При этом не наблюдаются видимые изменения в области основного экстремума (800-1000 Гц) и в высокочастотной части (1000-2000 Гц) сигнала. При насыщенности трещин водой в спектре сигнала

появляются экстремумы и на частотах 200-700 Гц вплоть до основного экстремума и также без заметных изменений высокочастотной области (1000-2000 Гц).

Очевидно, что полученные закономерности позволяют диагностировать изменение прочностного состояния породного массива после работ по его закреплению скрепляющим составом, а визуализацией такой диагностики могут служить отличия в распределении нормированной спектральной плотности на разных интервалах профиля сейсмоакустических зондирований (рис. 1).



Рис. 1. Фрагмент результатов сейсмоакустических исследований в тоннеле через Маркхотский хребет в районе г. Новороссийска

Рисунок наглядно иллюстрирует, что на участке трещиноватых и водонасыщенных пород (ПК2410-ПК2470), подтвержденного буровыми и ремонтными работами, наблюдается существенное повышение спектральной плотности (в разы и более) по сравнению с интервалом залегания относительно монолитных пород далее ПК2700.

Список литературы

1. Руководство и инструкция по инъекционному упрочнению горных пород полимерными материалами [Текст] / Е.В. Кузьмин, А.М. Шамануров, С.В. Фомичева и др. – М.: изд. МГИ, 1985. – 30 с.
2. Глушко, В.Т. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях [Текст] / В.Т. Глушко, В.С. Ямщиков, А.А. Яланский – М.: Недра, 1987. – 278 с.
3. Гликман, А.Г. О физических принципах спектральной сейсморазведки [Текст] / А.Г. Гликман //Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. Научно-технический журнал. – Москва, 1998. - №12. – С. 19–24.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПАТРОНИРОВАННЫХ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Добрынин А.А.¹, Марков В.С.², Меркушев С.Г.³

¹ИПКОН РАН, ²ООО «СМУ-6 Метрострой», г. Москва,

³АО «НИТРО СИБИРЬ Норд Групп», г. Санкт-Петербург

В 2022-2023 гг., по инициативе ИПКОН РАН, на объекте ООО «СМУ-6 Метрострой» в г. Москве были организованы испытания опытной партии промышленного патронированного эмульсионного взрывчатого вещества (ПЭВВ). Применение ПЭВВ на объекте строительства Московского метрополитена произошло впервые.

Испытания проведены в подземных условиях при проходке наклонной подходной штольни к Левому перегонному тоннелю кольцевой линии Московского метрополитена шахты № 942, сечением 16,4 м², расположенной вблизи места, где запланировано строительство станции «Суворовская».

Согласно геолого-литологическому разрезу подходная штольня проходит через отложения каменноугольной системы (периода), а именно через слой известняка средней прочности, прослоями прочный и малопрочный, с прослоями мергеля и глины. При выполнении проходческих работ было установлено, что фактически геология несколько отличалась от проектной и имела вид: известняк средней плотности, не размягченный, трещиноватый, водонасыщенный, категория V в объеме ~40%; известняк прочный, плотный не размягченный, трещиноватый и сильно трещиноватый местами разрушенный до щебня категория VI в объеме ~60% от площади забоя соответственно.

В процессе испытаний в реальных условиях подземного строительства использовали ПЭВВ «Сибирит-ПМ» по ТУ 3602-034-05608605-2014 в патронах диаметром 32 мм, массой 200, 250 и 350 г производства АО «Ленвзрывпром». Технические характеристики ПЭВВ «Сибирит-ПМ», а также других ПЭВВ семейства «Сибирит», для сравнения, приведены в табл. 1. Технические характеристики аммонита № 6 ЖВ, который в течение многих лет применяется на объектах ООО «СМУ-6 Метрострой», также приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики патронированных ЭВВ семейства «Сибирит»

| Технические данные | Показатели для ЭВВ | | | | | | Аммонит № 6 ЖВ |
|---|--------------------|--------------------|---|-----------------------|-----------------------------|----------------|-------------------|
| | Сибирит-1000 ПМ | Сибирит-1200 ПМ | Сибирит ПСМ-7500 | Сибирит-ПД | Сибирит-ПМ | Сибирит-ПМ | |
| Диаметр патрона, мм | 60, 80, 90, 120 | 60, 80, 90, 120 | 90, 120 | 32, 50, 60, 80 | 32, 50, 60 | 32, 50, 60 | 32, 36 |
| Масса, кг | 2, 3, 4, 8 | 2, 3, 4, 8 | 3,7-4,8 7,0-8,3 | 0,1, 0,5, 0,5, 1,0 | 0,25, 0,4, 0,5, 0,8, 1,0 | 0,2, 0,25, 0,3 | 0,2, 0,25, 0,3 |
| Плотность, кг/м ³ | 1240-1320 | 1180-1240 | 1170-1270 | 1150-1200 | 1150-1200 | 1,00-1,20 | 1,00-1,20 |
| Скорость детонации, м/с | 4,5-5,6 | 4,5-5,6 | не менее 4,3 (90)* не менее 4,5 (120)* | 5200-6000 | 4800-5800 | 3,6-4,8 | 3,6-4,8 |
| Критический диаметр детонации, мм | 25 сталь | 25 сталь | 50 пластик | 14-16 пластик | 16-18 пластик | 10-13 | 10-13 |
| Теплота взрыва, МДж/кг | 2,74 | 2,58 | 3,1 | 2,93 | 2,93 | 4,312 | 4,312 |
| Кислородный баланс, % | минус 4,3 | минус 4,8 | минус 3,1 | минус 1,2 | минус 1,2 | минус 0,53 | минус 0,53 |
| Объём газов, л/кг | 950 | 1047 | 1020 | 921 | 921 | 895 | 895 |
| Токсичные газы (СО), л/кг | 12,8 | 10,3 | 48 | 12,8 | 12,8 | 200 | 200 |
| Чувствительность к удару по ГОСТ 4545-88: нижний предел, мм | более 500 | более 500 | более 500 | более 500 | более 500 | 200 | 200 |

* - скорость детонации указана для конкретного диаметра ПЭВВ, который указан в скобках

ПЭВВ «Сибирит-ПМ» является непредохранительным промышленным ВВ 1 класса транспортной опасности, подкласс 1.1, группа совместимости D. Выпускается в виде патронов в оболочке из полимерной пленки разного диаметра и массы. Предназначен для ведения взрывных работ на земной поверхности в качестве промежуточных детонаторов, скважинных зарядов и зарядов для дробления негабаритов, а также в подземных условиях рудников и шахт не опасных по газу и пыли, в породах любой крепости и любой степени обводнённости в качестве шпуровых и скважинных зарядов, в том числе в качестве промежуточных детонаторов (боевиков).

Взрывные работы выполнялись по паспорту буровзрывных работ (БВР) ООО «СМУ-6 Метростроя», разработанному с учётом горно-геологических условий шахты № 942 при условии применения в качестве взрывчатых материалов патронированного аммонита № 6 ЖВ по ГОСТ 21984-76 с массой ВВ в патроне 200 г и электродетонаторов (ЭД) ЭД-З-Н (непредохранительные, с замедлением) ДИШВ.773951.300ТУ, имеющие 36 степеней замедления, время замедления от 20 до 10000 мс.

На первом этапе испытаний, этапе проведения опытных взрывов, работали по паспорту БВР, рассчитанному на 30 шпуровых зарядов, при этом использовали не более 4 шт. ЭД на одну серию замедления при общей массе ВВ 10 кг. В качестве ВВ применяли патронированный ПЭВВ «Сибирит-ПМ» с массой патронов 250 и 350 г. При формировании проектной массы шпуровых зарядов ПЭВВ патроны разрезались, делились на 2 или 3 части, возле забоя непосредственно в процессе заряжания.

Результаты взрывов на первом этапе, в основном, оказались неудовлетворительными, хотя отказов зарядов ВВ не было обнаружено. Низкое качество взрывов проявилось в недостаточном продвижении забоя после взрыва (за цикл) и обнаружении «стаканов» глубиной до 10 см, чего ранее при работе с патронированным аммонитом № 6 ЖВ практически не встречалось. Также было отмечено, что при применении ручного заряжания иногда не удавалось сохранить целостность колонки заряда, т.е. происходило разрушение частей разрезанных патронов ПЭВВ под воздействием забойника.

После анализа результатов первых опытных взрывов было принято решение снизить массу патрона ПЭВВ «Сибирит-ПМ» до 200 г, чтобы исключить резку патронов и перейти на работу по паспорту БВР рассчитанному на 36 шпуровых зарядов, при этом также, как и ранее, использовали не более 4 шт. ЭД на одну серию замедления, а массу ПЭВВ увеличили до 12,4 кг.

Результаты взрывных работ, проведённых на втором этапе, т.е. с учетом внесения поправок после первого этапа, показали удовлетворительные результаты, поэтому было принято решение о применении патронированного ПЭВВ «Сибирит-ПМ» в дальнейшей работе на объектах ООО «СМУ-6 Метростроя».

Несмотря на сравнительное сходство в характеристиках «Сибирита ПМ» с аммонитом № 6 ЖВ по скорости детонации и объему газообразных продуктов взрыва, теплота взрыва у «Сибирита ПМ» ниже, чем у Аммонита № 6 ЖВ (701 ккал/кг против 1030 ккал/кг), что может влиять на качество отбойки.

Тем не менее стоит отметить, что после окончания испытаний ООО «СМУ-6 Метростроя» использует ПЭВВ «Сибирит ПМ» на постоянной основе и вернулось к использованию первоначального паспорта БВР, рассчитанного на 30 шпуровых зарядов. При этом качество БВР удовлетворительное, забои обрабатываются в полном объеме, наличие стаканов не обнаружено.

Оценка с экономической точки зрения показывает, что ПЭВВ «Сибирит ПМ» значительно дешевле аммонита № 6 ЖВ. Также следует отметить хорошую оперативность поставки ПЭВВ «Сибирит ПМ» при его заказе по сравнению с аммонитом № 6 ЖВ, т.е. ПЭВВ «Сибирит ПМ» может быть использован в качестве достойной альтернативы для ведения взрывных работ при проходке подземных горных выработок Метрополитена.

В связи с проведением работ ООО «СМУ-6 Метростроя» на объектах, расположенных вблизи от различных охраняемых объектов (ОО), например, жилых зданий и других строений на земной поверхности, а также эксплуатируемых горных выработок, оборудования и различных коммуникаций Метрополитена, в настоящее время прорабатывается вопрос об участии ИПКОН РАН в проведении исследований действия сейсмических и ударных воздушных волн, образующихся во время взрывных работ, на ОО.

УДК 624.138.4

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ГРУНТОВ ПРИ УКРЕПЛЕНИИ ДВУХКОМПОНЕНТНЫМ ПОЛИМЕРНЫМ СОСТАВОМ

Шилова Т.В., Сердюк И.М.

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

Двухкомпонентные составы на основе полимерных смол широко используются для укрепления и снижения проницаемости дисперсных

грунтов. Эффективность воздействия определяется глубиной пропитки, зависящей от свойств породы, вязкости раствора смолы, времени отверждения, способа закачки и пр. [1-4]. Лабораторные исследования являются важным инструментом для изучения физико-механических, фильтрационных свойств армированной породы и выбора способа ввода состава в массив [5, 6]. Наиболее распространенная методика обработки несвязных грунтов двухкомпонентными составами состоит в механическом перемешивании образца с раствором полимера [7-9]. В работе приведены результаты экспериментального исследования проницаемости мелкозернистого песка, укрепленного двухкомпонентной высокоэластичной полиуретановой смолой при различном расходе состава на единицу порового объема грунта и в условиях всестороннего сжатия образцов.

В экспериментах использовали образцы мелкозернистого песка с размером частиц основной фракции (более 80 масс. %) менее 0,4мм. Коэффициент пористости, оцененный по значениям абсолютной и насыпной плотности породы, составил 0,58. Для укрепления использовали двухкомпонентную полиуретановую смолу высокоэластичную смолу MasterRoc 352, предназначенную для гидроизоляции и стабилизации грунтов с напорной и безнапорной фильтрацией. В экспериментах изменяли расход раствора смолы к пористости не уплотненной породы. Образцы формировали посредством механического перемешивания раствора с мелкозернистым песком. В экспериментах объем отдельных компонентов двухкомпонентной смолы был примерно в 2 раза больше, равным и в два раза меньше порового объема породы. Фильтрационные тесты для определения проницаемости проводили при давлениях всестороннего сжатия образца от 2 до 8 бар и давлении газа в образце от 0,05 до 1,8 бар.

По результатам фильтрационных экспериментов были определены значения коэффициентов абсолютной газопроницаемости мелкозернистого песка, укрепленного при различном расходе двухкомпонентной полиуретановой смолы. Установлено, что использование компонентов смолы в объеме, примерно в два раза превышающем поровый объем грунта, проницаемость снижается до значений, характерных для почти непроницаемых пород (аргиллитов, массивных скальных пород и пр.), и составляет 0,17-0,3 мД. Уменьшение расхода раствора смолы до отношения к пористости породы примерно 1:1 приводит к увеличению коэффициента газопроницаемости на два порядка до значений 85-120 мД при давлении всестороннего сжатия образцов 2-8 бар (см. рис. 1). Дальнейшее двухкратное снижение

расхода раствора смолы приводит к увеличению коэффициента проницаемости мелкозернистого песка в среднем на 20%. При этом изменение давление всестороннего сжатия образцов в диапазоне 2-8 бар не влияет на проницаемость укрепленной породы.

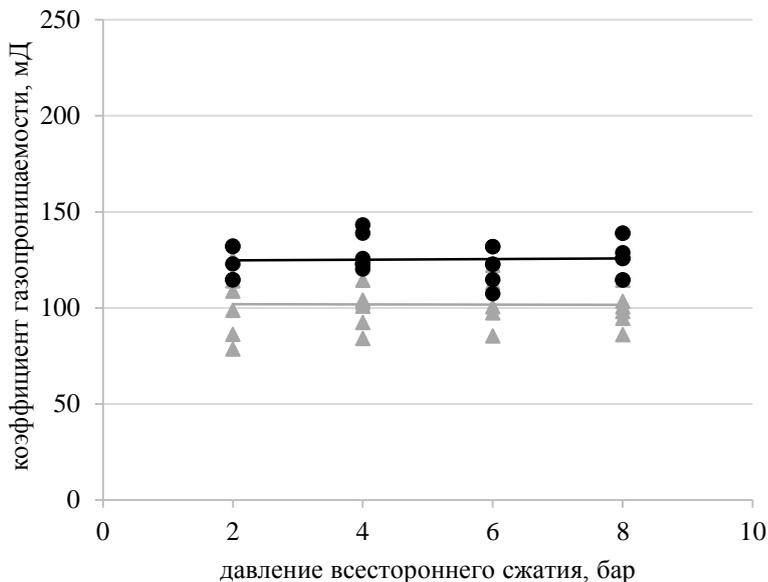


Рис. 1. Зависимость коэффициента проницаемости мелкозернистого песка, укрепленного двухкомпонентной полимерной смолой, от давления всестороннего сжатия. Черные круги – данные экспериментов с песком, укрепленным смолой при объеме отдельных компонентов примерно в 2 раза меньше порового объема породы; серые треугольники - данные экспериментов с песком, укрепленным смолой при объеме отдельных компонентов примерно равном поровому объему породы; черная и серая линии – линейные аппроксимации

Результаты экспериментальных исследований показали, что изменение расхода двухкомпонентной полиуретановой смолы существенно влияет на приобретенные фильтрационные свойства песчаного грунта. При повышении начального объема отдельных компонентов в 4 раза коэффициент газопроницаемости мелкозернистого песка снижается более чем на 2 порядка. При этом с ростом давления всестороннего сжатия до 8 бар значения коэффициента проницаемости сохраняются.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-20126, <https://rscf.ru/project/22-27-20126/>, и финансовой поддержки Правительства Новосибирской области.

Список литературы

1. Gustafson A. et al. Productivity of rock reinforcement: methodology development //Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2016. – Т. 116. – №. 12. – С. 1127-1134.
2. Saleh S. et al. Improving the strength of weak soil using polyurethane grouts: A review //Construction and Building Materials. – 2019. – Т. 202. – С. 738-752.
3. Lan X. et al. Experimental study on grouting reinforcement mechanism of heterogeneous fractured rock and soil mass //Geotechnical and Geological Engineering. – 2020. – Т. 38. – №. 5. – С. 4949-4967.
4. Chen Z., Zhu S.S. In-situ polymerization of dicyclopentadiene for rock reinforcement //Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2019. – Т. 173. – С. 912-921.
5. Shilova T. et al. Rock Reinforcement by Stepwise Injection of Two-Component Silicate Resin //Polymers. – 2022. – Т. 14. – №. 23. – С. 5251.
6. Nowamooz H. Resin injection in clays with high plasticity //Comptes Rendus Mécanique. – 2016. – Т. 344. – №. 11-12. – С. 797-806.
7. Liu J. et al. Study on engineering properties of sand strengthened by mixed fibers and polyurethane organic polymer //Bulletin of Engineering Geology and the Environment. – 2020. – Т. 79. – С. 3049-3062.
8. Chen Q. et al. Cyclic stress-strain characteristics of calcareous sand improved by polyurethane foam adhesive //Transportation Geotechnics. – 2021. – Т. 31. – С. 100640.
9. Anagnostopoulos C. A. Laboratory study of an injected granular soil with polymer grouts //Tunnelling and Underground Space Technology. – 2005. – Т. 20. – №. 6. – С. 525-533.

УДК 622.831

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ И ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОТРАБОТКЕ ОЧИСТНОГО БЛОКА В УДАРООПАСНОМ МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Ломов М.А., Сидляр А.В.

ИГД ДВО РАН, г. Хабаровск

Исследования формирования техногенных полей напряжений в массивах месторождений со сложной тектонической структурой

были выполнены на примере Николаевского полиметаллического месторождения (Приморский край). В настоящее время горные работы на Николаевском полиметаллическом месторождении ведутся на глубине более 800 м, в районе блока 55 рудной залежи «Восток-1», геомеханическое состояние которого определяется его приуроченностью к зоне меридионального тектонического нарушения ТН-3. В пределах данного участка рудничного поля происходит интенсивная структурная перестройка природно-технической системы, сопровождающаяся проявлениями техногенной сейсмичности, в том числе с разрушительными последствиями [1-3].

Для условий Николаевского рудника впервые моделирование было выполнено в объемной постановке задачи и учетом влияния тектонически активного разлома ТН-3 на формирование полей напряжений в конструктивных элементах системы разработки.

Согласно представлениям Петухова И.М. и Батугиной И.М., при деформировании вдоль разломных структур реализуется дискретный (толчкообразный) характер разрушения по поверхности среза. За счёт неровных контактов на поверхности разрушения имеют место выступы, несущие повышенные нагрузки, и вдающиеся участки, представляющие зоны разгрузки [4]. Поэтому при моделировании разлома ТН-3 он разбивался на участки длиной 5 м с чередованием высоких и низких прочностных свойств.

Физико-механические свойства горных пород Николаевского месторождения определены как в натуральных, так и в лабораторных условиях [5]. Механические исследования свойств на образцах показали, что руда и практически все горные породы, представленные на месторождении, обладают высокой прочностью и упругостью, а также способны накапливать потенциальную энергию упругого сжатия и к хрупкому разрушению в динамической форме.

На рисунке 1 представлено распределение коэффициента запаса устойчивости K_u в проекции на плоскость, проходящую через борта горных выработок, расположенных на гор. -360 м (этап 1 - до начала отработки блока 55 на гор. -420 м, все потенциально неустойчивые участки закрашены).

Анализ результатов численного моделирования показал, что отработка блока 55 в этаже -360÷-390 м, находящегося в зоне влияния тектонически активного разлома ТН-3, приводит к формированию сложного природно-техногенного поля напряжений на горизонтах: -360, -375 и -390 м в районе отработанных блоков 45 и 55, а также к

ухудшению геомеханической ситуации на горизонтах -406 м и ниже. Высокие концентрации сжимающих напряжений более 200 МПа и растягивающих до 50 МПа и выше наблюдаются в бортах и кровле выработок, расположенных в зоне опорного давления отработанных блоков, а также на пересечении под углом менее 15-20° к разлому ТН-3.

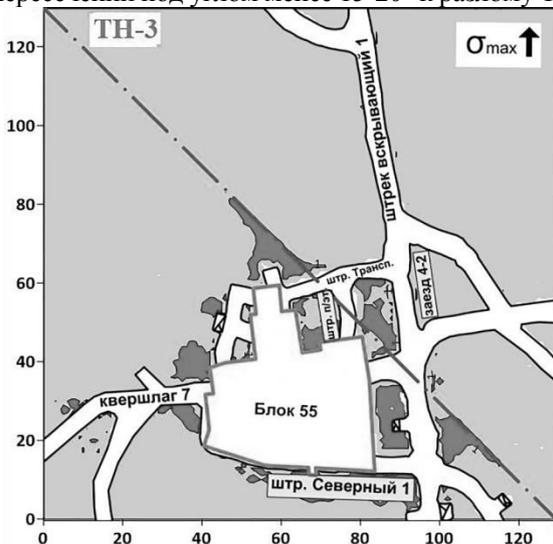


Рис. 1. Распределение коэффициента запаса устойчивости K , в проекции на плоскость, проходящую через борта горных выработок, расположенных на гор. -360 м (этап 1 – до начала отработки блока 55 на гор. -420 м)

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

Список литературы

1. Дорошенко В.И. Об удароопасности Николаевского месторождения / В.И. Дорошенко, А.М. Фрейдин, М.С. Гусев, Ю.Д. Науменко // Горный журнал. – 1990. – №1. – С. 49-51.
2. Сидоров, Д. В. Прогнозирование удароопасности тектонически нарушенного рудного массива на глубоких горизонтах Николаевского полиметаллического месторождения / Д.В. Сидоров, М.И. Потапчук,

А.В. Сидляр // Записки Горного института. – 2018. – Т. 234. – С. 604-611. – DOI: 10.31897/PMI.2018.6.604.

3. Ломов, М.А. Анализ результатов сейсмического мониторинга Николаевского месторождений за 2021 год / М. А. Ломов, Ю. В. Федотова, А. В. Константинов // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр: 5 КОНФЕРЕНЦИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ академика РАН К.Н.Трубецкого, Москва, 14–18 ноября 2022 года. – Москва: Институт проблем комплексного освоения недр РАН, 2022. – С. 124-126.

4. Рассказов И.Ю. Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. М.: Издательство «Горная книга», 2008. 329 с.

5. Барышников В.Д., Пирля К.В., Шумский И.П. Результаты исследования физико-механических свойств горных пород Николаевского месторождения // Физические свойства горных пород. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1982. – С. 131-135.

УДК 622.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В БЛОЧНОЙ МОДЕЛИ ГГИС MICROMINE

Пашичев Б.Н., Трофимов В.А., Филиппов Ю.А.

ИПКОН РАН, г. Москва

ГГИС Micromine (горно-геологическая информационная система) создана для пространственного отображения геологического строения месторождений твёрдых полезных ископаемых, проектирования и планирования открытых и подземных горных работ, а также их маркшейдерского сопровождения. Она позволяет наглядно представить пространственное расположение наиболее напряженных по тем или иным параметрам участков рассматриваемого массива или конструкции.

В связи с этим представляется, что такие поля напряжений должны быть смоделированы в каких-то внешних программных системах, или хотя бы заданы аналитически, а затем импортированы тем или иным образом в *ГГИС Micromine*. Фактически это достигается внесением в атрибуты построенной блочной модели в *ГГИС Micromine*, соответствующих значений параметров в подходящем формате, которые будут в дальнейшем отображаться на экране или при печати.

В качестве вычислительной системы используется многофункциональный универсальный программный комплекс ANSYS [1],

базирующийся на конечно элементном числовом алгоритме. Он позволяет решать линейные и нелинейные, стационарные и нестационарные пространственные задачи механики деформируемого твердого тела, задачи механики жидкости и газа, а так же и другие задачи механики сплошной среды.

Полученные с помощью ANSYS компоненты напряженно-деформированного состояния (НДС) массива, либо критериальные прочностные параметры, можно экспортировать во внешние текстовые файлы и затем импортировать их по мере необходимости в программу *Micromine*, где они могут быть соответствующим образом отображены, скажем, в виде зон различной интенсивности параметра.

Для осуществления подобного рода процедуры необходимо позаботиться о том, чтобы и в ANSYS и в *Micromine* фигурировала одна и та же геометрическая модель объекта с соответствующими свойствами, что обеспечит корректный перенос данных между системами.

Отметим следующее важное обстоятельство. В ANSYS для каждой точки расчетной области (для каждого пикселя) может быть приписан атрибут цвета в зависимости от значения отображаемого параметра и выбранной цветовой шкалы. При этом следует иметь в виду, что полный набор цветов, реализуемых на практике, не связан с какой-либо конкретной прикладной программой, а изначально реализован в используемой операционной системе. Фактически все цвета (их используется ограниченное количество) занумерованы, т.е. им приписано то или иное числовое значение. Этот факт дает возможность использовать одни и те же цвета в различных прикладных программах и связывать их с одними и теми же значениями вычисляемых параметров. Т.е. из программы в программу можно передавать помимо координат точки также и атрибут цвета этой точки, а не значение отображаемого параметра. Однако, используемое множество пикселей весьма велико, что приводит к необходимости работы с большими массивами данных даже в простых задачах.

Тем не менее, в рамках ANSYS имеется набор объектов, с которыми можно по результатам расчета связать те или иные значения вычисленных параметров, – в частности, это узлы расчетной сетки. Данные полученные в результате расчета можно вывести во внешние текстовые файлы, в которых будут зафиксированы координаты узлов сетки и значения параметров в этих узлах. В этом случае с использованием полученных файлов может быть проведен предварительный анализ результатов с помощью дополнительных математических

программ (Grapher, Surfer) и выделены зоны, в которых выполняются те или иные критерии.

Для импорта файла данных в *Micromine*, он должен быть представлен в формате Microsoft Excel. Файл Excel с помощью встроенных инструментов *Micromine* трансформируется во внутренний формат, импортируется в программу ГГИС и может быть использован в качестве внутреннего файла.

Для комплекса *Micromine* характерно блочное строение рассматриваемого объекта. Т.е. весь объект составлен из набора блоков в виде прямоугольных параллелепипедов различных размеров, плотно упакованных в этом объеме. При этом с каждым блоком связан некий набор параметров, значения которых считаются постоянными в пределах каждого блока. Такая структура объекта порождает множество точек (центров блоков), которым необходимо приписать некоторые значения рассматриваемых параметров (атрибутов цвета) для последующего отображения их в графическом виде.

Возникает задача полноценного импорта рассматриваемого параметра в *Micromine* – приписать блокам блочной модели цвета точек, которые попадают в тот или иной блок. При этом возможно какое-то усреднение, если таких точек несколько. После этого образуется полноценная блочная модель с отображением в цвете рассчитанных в ANSYS параметров. При этом отображение самих точек может быть отключено.

В итоге задача сводится к интерполяции данных из импортированного файла в точки центров блоков. В рамках *Micromine* эта задача решается с помощью встроенного алгоритма обратных расстояний.

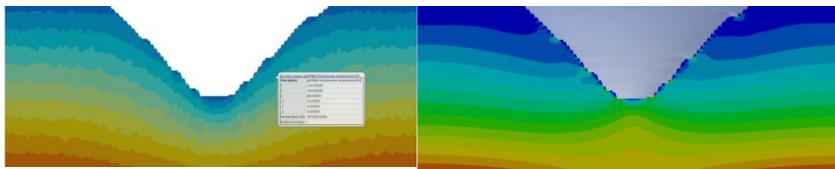
Далее рассмотрим пример расчёта в программном комплексе ANSYS и импорт данных в MICROMINE. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния является эффективным инструментом для проведения исследований геотехнологических процессов в массиве горных пород. Оно позволяет эффективно определять возможные места проявления опасных техногенных процессов, приводящих к формированию аварийных ситуаций, и определять наиболее безопасные схемы, учитывающие геологическое строение массива, технологию горных работ и применение сложного горного оборудования.

Коротко рассмотрим расчет НДС массива с использованием построенной модели не концентрируя особого внимания на деталях

процедуры. В соответствии с методологией расчетов в ANSYS необходимо построить геомеханическую модель, т.е. задать конечно-элементную расчетную сетку, сформулировать начальные и граничные условия, задать свойства материалов в исследуемой области. В работе [2] подробно описан алгоритм оценки изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

Для добавления результатов геомеханических расчётов, надо каждому блоку присвоить некоторое число, которое будет ассоциироваться с центром блока. Очевидно, что оно должно получиться с использованием значений рассматриваемого параметра в импортированных расчетных точках посредством интерполяции этих значений в точку центра блока. При этом нужно сузить круг используемых точек некоторой окрестностью каждого конкретного центра блоков. Один из наиболее простых – метод обратных расстояний, в котором поиск данных выполняется в пределах некоторой сферы. Центр сферы определенного радиуса последовательно помещается в центр каждого блока и проводится интерполяция. В этом процессе участвуют только данные, попавшие внутрь сферы, радиус которой можно варьировать. В программе предусмотрена возможность настройки и регулирования параметров метода обратных расстояний.

На рисунке для сравнения приведены некоторые результаты, представленные в программах ANSYS и *Micromine*.



а) Данные представлены в *Micromine* б) Данные представлены в ANSYS

Рис. Распределение вертикальных нормальных напряжений в вертикальном сечении карьера

Отметим, что представления рассчитанных параметров и в ANSYS и в *Micromine* практически совпадают, что обосновано позволяет использовать в дальнейшем ресурсы *Micromine* для обработки расчетных результатов из ANSYS.

Список литературы

1. ANSYS Advanced Analysis Techniques Guide. ANSYS Release 10.0.002184. © SAS IP, Inc.
2. В.Н. Захаров, А.В. Шляпин, В.А. Трофимов, Ю.А. Филиппов. Изменение напряженно-деформированного состояния углеродного массива

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ АБРАЗИВНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ЩИТОВОЙ ПРОХОДКЕ

Прищепов В.В., Лучакина М.Д.

НИТУ МИСИС, г. Москва

Оценка влияния грунтов на породоразрушающий инструмент и обратного влияния инструмента на породу возникает при добыче и переработке полезных ископаемых, шахтном и подземном строительстве и других технологических сферах. Она необходима при планировании и оптимизации режимов проходки тоннелей с помощью тоннелепроходческих комплексов (ТПМК). Свойство горной породы или грунта воздействовать на инструмент выражается в ее абразивности [1]. Результат разрушающего воздействия инструмента на горную породу или грунт оценивается их дробимостью [2]. Абразивность горных пород влияет на износ инструмента, потребление энергии и время строительства и, следовательно, является важным параметром в горной и строительной инженерии [3]. На перегонах линий метро в основном предусматривается строительство глубоких тоннелей с помощью щитовых тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) в условиях абразивного сыпучего грунта, снижающего ресурс их дорогого режущего инструмента на роторном исполнительном органе [4, 5, 6]. По трассам проектируемых тоннелей для определения абразивных свойств разных типов грунтов необходимы геологические изыскания, которые из-за отсутствия отечественных методик и классификации абразивности для сыпучих грунтов не проводятся. Указанные факторы определяют актуальность данного исследования.

Целью исследования является совершенствование методов оценки абразивности и дробимости грунтов и горных пород (строительных песков) на основе расширения методов испытаний и обработки данных, получаемых с их помощью.

Решаемые задачи:

– оценка абразивности песков традиционными методами по изменению массы крыльчатки в результате ее истирания при дроблении грунта;

– оценка дробимости грунтов по изменению модуля крупности и изменению параметров вероятностного распределения размеров частиц с помощью ситового анализа;

– оценка дробимости грунтов по изменению максимальных размеров частиц в пробе;

– установление связей абразивности и дробимости с параметрами акустической эмиссии при дроблении пробы.

Оценка коэффициента абразивности (LAC) грунтов проводилась с помощью теста LCPC, основанного на дроблении материала с помощью вращающейся крыльчатки. Разработанная лабораторная установка базировалась на принципе измерения, описанном в стандарте NF P 18-579 [7], который, в свою очередь разработан французской лабораторией Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (метод LCPC). Базой установки являлся вертикальный сверлильный станок с двигателем со скоростью вращения 4500 оборотов в минуту. Вместо сверла к станку крепился стержень с крыльчаткой, закрепленной с помощью болта. Крыльчатка представляла собой прямоугольную пластину размерами 50×25×5 мм из стали 20 по ГОСТ 1050-2013 и ГОСТ Р 54384-20011. Точность изготовления составляла $\pm 0,5$ мм для линейных размеров и $\pm 0,2$ мм для толщины. Крыльчатка опускалась в сосуд, который крепился к станку с помощью соединительных винтов. После включения двигателя в установленный сосуд с крыльчаткой засыпался образец грунта через специальную воронку. Вес пробы грунта в сосуде составлял $500 \text{ г} \pm 2 \text{ г}$. Основным отличием разработанной лабораторной установки от аналогичных являлся датчик акустической эмиссии, установленный на стенке испытательного сосуда с его внешней стороны. Данные с датчика акустической эмиссии поступали на выносной цифровой USB-осциллограф и сохранялись на персональном компьютере. Полное время проведения эксперимента составляло 5 минут. Контрольный замер веса крыльчатки в граммах производился после первой, третьей и пятой минут испытаний. Оценка абразивности проводилась в зависимости от времени обработки по изменению веса крыльчатки в относительных единицах и по коэффициенту абразивности LAC.

Дробимость грунта в результате воздействия крыльчатки оценивалась посредством построения гранулометрических кривых по результатам ситового анализа грунта в течение проведения испытаний, по которым далее рассчитывался модуль крупности с учетом положений [8], а также по изменению размеров максимальных

частиц, анализ размеров которых проводился путем фотофиксации с помощью лабораторного микроскопа с последующей обработкой полученных изображений. Проведение ситового анализа показало, что при увеличении времени дробления происходит смещение массы материала из более крупных фракций в более мелкие, что может быть оценено количественно.

Первые испытания проб с одновременной регистрацией акустической эмиссии измерительной системой QMBox с частотой дискретизации 650 кГц позволили выявить диапазон с наибольшим подъемом амплитуд частотных составляющих акустической эмиссии. На основе полученных данных и в соответствии с условиями теоремы Котельникова частота дискретизации для основных испытаний была выбрана равной 3 МГц. В результате было установлено, что в процессе дробления происходит изменение амплитуд спектральных составляющих акустической эмиссии в исследуемом диапазоне частот, что дает возможность контролировать процесс измельчения непосредственно во время испытания. Кроме того, увеличение количества информативных параметров дает дополнительную возможность повысить достоверность и точность количественной оценки абразивности исследуемой пробы.

Список использованных источников

1. Zhang, G. [и др.]. In-situ investigation of drilling performance and bit wear on an electrical drill hammer // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2022. (122).

2. Zhou, Y.X. [и др.]. Suggested methods for determining the dynamic strength parameters and mode-I fracture toughness of rock materials // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2012. (49). С. 105–112.

3. Zhang, G., Konietzky, H. Cerchar Abrasion Ratio (CAR) as a New Indicator for Assessing Rock Abrasivity, Rock–Stylus Interaction and Cutting Efficiency // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2020. № 7 (53). С. 3363–3371.

4. Мазеин, С.В. Прогноз абразивности грунтов при первичном износе режущего инструмента для строительства тоннелей большого сечения / С.В. Мазеин, А.С. Вознесенский, В. Прищепов // *Проектирование, строительство и эксплуатация подземных сооружений транспортного назначения: Сборник статей / Под редакцией М.О. Лебедева*. – Москва: Издательство «Перо», 2021. – С. 177-183. – EDN LNDUUM.

5. Мазеин, С.В. Методы определения абразивности твердых горных пород при механизированной проходке протяженных тоннелей / С.В. Мазеин, А.С. Вознесенский, В. Прищепов // *Геотехника*, 2022, Том XV, № 3, с. 60–74.

6. Вознесенский, А.С. Опыт прогнозирования и мониторинга износа режущего инструмента в абразивных грунтах при механизированной щитовой проходке тоннелей / А.С. Вознесенский, С.В. Мазеин, Г.В. Данилов // Метро и тоннели. 2020. № 4. С. 19-25.

7. Manuskriptübersetzung der französischen Norm Typescript translation of French Standard NF P 18-579. 2015.

8. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. Издание официальное – М.; Стандартинформ, 2019. – 11 с.

УДК 624.139

ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА МЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Баева Е.К.

Санкт-Петербургский горный университет

Строительство инженерных сооружений в арктических регионах имеет ряд особенностей, связанных с изменением физико-механических свойств мерзлых пород. Отмечаются разрушение склонов [1], деформации зданий и строительных конструкций, оседания грунта, деформации нефтегазопроводов [2] и другие трудности.

В условиях изменяющегося климата проблема определения напряженно-деформированного состояния (НДС) массива мерзлых пород становится все более актуальной.

Согласно ГОСТ 25100 [3] мерзлый грунт – это грунт, имеющий отрицательную или нулевую температуру, содержащий видимые ледяные включения и (или) лед-цемент, за счет которых образованы криогенные структурные связи. Мерзлые грунты являются сложной многофазной системой, в состав которой входят твердые минеральные частицы, лед, незамерзшая вода, газ или воздух. Поры грунта заполнены льдом, незамерзшей водой, воздухом, а частицы грунта покрыты тонкой пленкой незамерзшей воды (Рис. 1).

Особенностью мерзлых пород является повышенная прочность и устойчивость в мерзлом состоянии, обусловленные цементирующим действием замерзшей воды в порах. Однако, при повышении температуры и растеплении мерзлых пород их прочностные и деформационные характеристики снижаются.

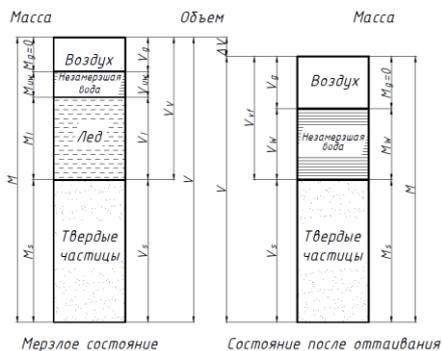


Рис. 1. Зависимость массы и объема от состояния грунта [4]

При изучении НДС массива мерзлых пород необходимо учитывать изменения температуры, циклические процессы замораживания-оттаивания, процессы перемещения незамерзшей воды в поровом пространстве.

В настоящее время существует множество теорий, отражающих аспекты поведения мерзлых грунтов. Например, для определения НДС мерзлых пород используются геомеханические модели, основанные на теориях: упругости, пластичности, механике разрушения и др.

Ниже представлены краткие характеристики современных геомеханических моделей мерзлых пород и параметры, которые они описывают.

Первые модели мерзлых пород основаны на результатах испытаний на одноосное сжатие и являются эмпирическими. Например, степенная зависимость напряжения от деформации мерзлого грунта [5]:

$$\sigma = A \varepsilon^m,$$

где σ – напряжение, ε – деформация, A и m – параметры материала.

Однако, она не учитывает температуру, скорость деформации и влажность пород.

Дальнейшее развитие эмпирических моделей позволило описать зависимость напряжения от деформации при различных температурах и скоростях нагружения для мерзлого лесса [6].

На основе механики разрушения твердых тел были созданы следующие модели:

- модель ползучести [7], описывающая деформационные зависимости, а также учитывающая развитие повреждений мерзлого грунта;
- модели, позволяющие моделировать деформационное размягчение мерзлого грунта [8, 9];
- упругопластическая модель для мерзлого песка [10], позволяющая описать деформационное поведение при различных σ_3 ;

- модель упругопластического разрушения мерзлого грунта [11], способная описывать процессы упрочнения/размягчения и дилатансии мерзлых грунтов при изменении давления.

В настоящее время при создании моделей мерзлых пород учитывается изменение термодинамических свойств и фазового состояния массива. Примером такой модели является упругопластическая модель с двумя поверхностями текучести для засоленного мерзлого песка [12]. Эта модель учитывает дилатансию и влияние засоленности на зависимость между напряжением и деформацией.

Мерзлые породы могут испытывать более 100 циклов замораживания-оттаивания в течении одного года. Этот процесс связан с непрерывным изменением количества содержания льда и незамерзшей воды, а, следовательно, с изменением прочностных и деформационных свойств грунтов. Упругопластическая модель, описывающая НДС насыщенных мерзлых пород [13], позволяет учитывать мерзлое и талое состояние пород, сегрегацию льда и явление ослабления прочности вследствие плавления под давлением.

На основе анализа некоторых моделей мерзлых грунтов, можно сделать вывод, что они получили значительное развитие. Существующие модели способны учитывать сложное поведение мерзлых пород, однако, учет процесса деформирования зачастую основывается на эмпирических данных, кроме того, наблюдается ограниченное количество моделей, учитывающих совместное влияние температуры, времени, скорости нагружения и др.

Перспективным направлением является развитие геомеханических моделей, учитывающих процессы тепломассопереноса с фазовыми переходами в мерзлых породах.

Список литературы

1. Zhao M. et al. Experimental research on the deformation and failure characteristics of coarse-grained soil slopes in seasonal frozen region along Sichuan-Tibet Railway // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2020. – Vol. 455. – №. 1. – P. 012135. DOI: 10.1088/1755-1315/455/1/012135.
2. Li H. et al. Review of the state of the art: interactions between a buried pipeline and frozen soil // Cold regions science and Technology. – 2019. – Vol. 157. – P. 171-186. DOI: 10.1016/j.coldregions.2018.10.014.
3. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. – М.: 2020.
4. Andersland O. B., Ladanyi B. Frozen ground engineering. – John Wiley & Sons, 2003.
5. Вялов С.С. Гмошинский В.Г., Городецкий С.Э и др. Прочность и ползучесть мерзлых грунтов и расчеты ледогрунтовых ограждений., М., – АН СССР, 1962. 255 с.

6. Cai C. et al. Uniaxial tests on frozen loess and its constitutive model // Chinese Journal of Geotechnical Engineering. – 2017. – Т. 39. – С. 879-887.

7. Miao T., Wei X., Zhang C. Creep of frozen soil by damage mechanics // Science in China (Scientia Sinica) Series B. – 1995. – Т. 8. – №. 38. – С. 996-1002.

8. Lai Y. et al. Strength distributions of warm frozen clay and its stochastic damage constitutive model // Cold Regions Science and Technology. – 2008. – Т. 53. – №. 2. – С. 200-215.

9. Li S. et al. An improved statistical damage constitutive model for warm frozen clay based on Mohr–Coulomb criterion // Cold Regions Science and Technology. – 2009. – Т. 57. – №. 2-3. – С. 154-159.

10. Lai Y., Jin L., Chang X. Yield criterion and elasto-plastic damage constitutive model for frozen sandy soil // International Journal of Plasticity. – 2009. – Т. 25. – №. 6. – С. 1177-1205.

11. Sun K. et al. An elastoplastic damage constitutive model for frozen soil based on the super/subloading yield surfaces // Computers and Geotechnics. – 2020. – Т. 128. – С. 103842.

12. Lai Y., Liao M., Hu K. A constitutive model of frozen saline sandy soil based on energy dissipation theory // International Journal of Plasticity. – 2016. – Т. 78. – С. 84-113.

13. Ghoreishian Amiri S. A. et al. Constitutive model for rate-independent behavior of saturated frozen soils // Canadian Geotechnical Journal. – 2016. – Т. 53. – №. 10. – С. 1646-1657.

Научный руководитель: профессор, д.т.н., Трушко В. Л.

ТЕПЛОГАЗОКИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Якимчук Н.В., Старикова И.Г., Кравченко А.В.

ФГБНУ «ИФГП», г. Донецк

Одним из физических явлений, позволяющих по изменению температуры судить об остальных термодинамических, структурных и механических параметрах газоугольного массива, является эффект Джоуля-Томпсона, а именно, необратимый процесс адиабатного расширения газа без совершения работы над окружающей средой.

Эффект заключается в изменении температуры реального газа при его стационарном течении через гидравлическое сопротивление (газопроницаемую пробку). При конечной разности давлений до и после пробки (P_1 и P_2 соответственно) разность температур (интегральный дроссель-эффект) записывается так

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \int_{P_1}^{P_2} \frac{1}{c_p} \left[T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - V \right] dP = \int_{P_1}^{P_2} \alpha_H dP \quad (1)$$

Или, для простоты,

$$\Delta T = \alpha_H \Delta P \quad (2)$$

где C_p – удельная изобарная теплоемкость реального газа, V – его удельный (молярный) объем). При нормальных условиях для метана $C_p=2,23$ кДж/кг*К. Подынтегральная функция (дифференциальный дроссель-эффект) вычисляется при помощи уравнения состояния. Для углеводородных природных газов имеет порядок 0,3 град/атм. [4]. Соответственно, охлаждение исходящего газа на десять градусов подразумевает наличие перепада давления в 3 МПа. Таким образом, понижение температуры газа в случае высвобождения метана из угля может составлять несколько градусов и, следовательно, оно может быть обнаружено и измерено. Необходимо учитывать, что речь идет о понижении температуры стационарно истекающего газа, а не всего углепородного массива, и в случае реализации эффекта Джоуля-Томпсона эти величины будут отличаться. В большинстве же теоретических исследований, посвященных специфике газовыделения из угля, температура газа считается равной температуре стен выработки.

Рассмотрим общее описание эксперимента, в котором эффект Джоуля-Томпсона может быть использован для определения термодинамических параметров угля, где P – давление метана в угле (атм.), $a_{атм}$ – атмосферное давление (атм.), T_1 – температура метана из разрушенного объема угля при бурении скважин ($^{\circ}C$), T_2 – температура метана потока из скважины ($^{\circ}C$), t – время измерения (сек.), D – эффективный коэффициент диффузии метана в воздухе (m^2/c), J – скорость газового потока из скважины (л/мин) [5].

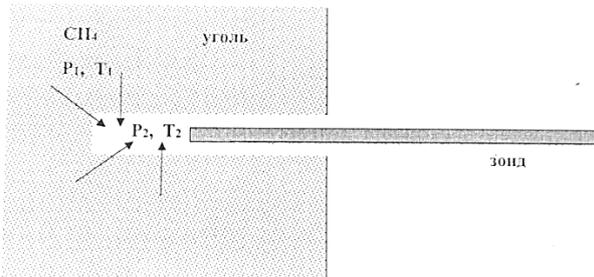


Рис. 1. Схематическое изображение эксперимента по определению понижения температуры выделяющегося газа вследствие эффекта Джоуля-Томпсона

В скважину, пробуренную в угольном массиве, сразу по окончании бурения вводится зонд, способный фиксировать температуру

десорбирующегося метана. Эту температуру газа можно считать температурой метана содержащегося в угле в полостях открытых и закрытых пор, разрушенных в процессе бурения (T_1). P_1 можно трактовать как пластовое давление метана. Угольное вещество, образующее стенки скважины, представляет собой газопроницаемую пробку, фильтрация через которую изменяет температура газа, кроме того зонд фиксирует скорость газовой выделению метана из скважины. Давление P_2 в первом приближении можно полагать близким к нулю.

В [2] подробно показано, что в ослабленных участках пласта давление метана существенно превышает его давление в ненарушенных участках (на 10-20%). На данных участках упругий модуль сдвига в силу разных причин становится меньше своего стандартного значения или пористость (степень нарушенности пласта) повышается. Таким образом, падение температуры исходящего газа на этих участках будет сильнее. Более того, становится возможным предварительное лабораторное установление соответствия степени нарушенности угля и проявления эффекта Джоуля – Томпсона.

С практической точки зрения для определения пластового давления степени нарушенности и проницаемости угольного вещества удобно использовать кинетическое уравнение Дарси для потока газа при стационарном изотермическом течении через транспортную поровую систему, дополненное параметром α_H в виде

$$P - P_{atm} = \frac{\Delta T}{\alpha_H S} \sqrt{\frac{t}{D}} \quad (3)$$

Расчет показывает, что при диаметре, длине шнура ($d=0,042-0,043$ м и $l=1,5$ м) и объеме измерительной камеры ($19,1$ см³), при длительности измерения 30 с и перепаде температуры от 1 до 7 градусов цельсия и потоке газа 1-5 л/мин, значения пластового давления составляют 2,8 -97,1 атм. (см. табл. 1.)

Таблица 1

Оценка давления метана на основе проявления эффекта Джоуля – Томпсона

| $\Delta T, C^{\circ}$ | Ж, л/мин | P_1 , атм. |
|-----------------------|----------|--------------|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 2,8 |
| 2 | 1 | 5,6 |
| 2 | 2 | 11,2 |
| 3 | 2 | 16,8 |
| 3 | 3 | 25,2 |

продолжение табл. 1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|-------|
| 4 | 3 | 33,6 |
| 4 | 4 | 44,81 |
| 5 | 4 | 56,01 |
| 6 | 5 | 83,7 |
| 7 | 5 | 97,1 |

Расчет проводимый для проницаемости пласта при тех же параметрах дает оценку $k=(1,4\div 5,9)\cdot 10^{-10}\text{ м}^2$. Оценка пористости угля при тех же размерах шпура, потоке газа 5 л/мин и радиусе каналов фильтрации $r \approx 10^{-8}$ м составляет 0,23 и 0,38 при перепаде температуры 3-10 градусов цельсия, соответственно.

Результаты шахтных экспериментов по определению температурных и кинетических параметров выделения метана из угольного пласта, работы выполнялись в соответствии с методикой СОУ 10.1.00174.011-2005. Горно-экспериментальные исследования проводились в ГУП ДНР «ДУЭК» на ОП «Шахта им. А.А. Скочинского» на пласте h_6 - горизонт 1230 м в очистном забое 3^{-ей} западной лавы при подвигании линии очистного забоя на протяжении 100 м по простиранию. Для которых приведены графики измерений температуры газовых потоков из пластовых скважин, пробуренных на глубину 1,5-2 м и температуры метана из бурового штобы. Установлено, что температура потока метана из скважины находится в пределах 43,5-45°C, при стабильной скорости газовыделения 1,6-2,5 л/мин. Температура бурового штобы в среднем составляла 38,3°C. Именно эта температура использована при оценке пластового давления метана на основе эффекта Джоуля – Томпсона, поскольку за это время газ выходит достаточно быстро ($t=85-100$ сек.). Оценочный расчет давления метана в угольном пласте h_6 Смоляниновский показывает, эта величина составляет 15,5 атм.

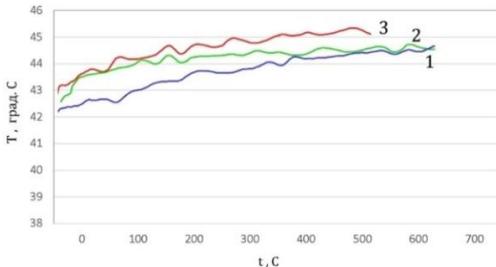


Рис.2. Температура газового потока из пласта (3 западная лавы УЩП шахта им. А.А. Скочинского): 1- ПК131+6м, 2- ПК132+3м, 3- ПК133+0м

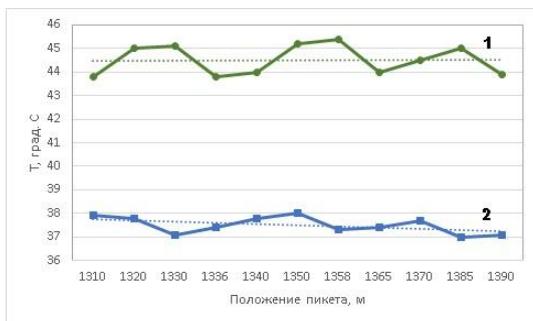


Рис.3. Температура поверхности пласта (1) и штобы (2) 3^{-й} западной лавы УЩП шахты им. А.А. Скочинского

Измерения потока газа из скважин, выполненные в горно-геологических условиях шахты «Красноармейская - Западная №1», показало, что начальная скорость газовыделения из 4-6,5 л/мин., при $\Delta T=6,5^{\circ}\text{C}$, а пластовое давление составляет 50,8 атм.

Резюмируя, можно сказать, что оценка пластового давления метана на основе проявления эффекта Джоуля-Томсона дает адекватное представление содержания газа в угле и степени нарушения угольного массива. Несомненным достоинством данного метода является малое время, необходимое для проведения измерений. Бурение нескольких скважин дает возможность оперативно обнаружить и локализовать участки выработки с повышенным давлением газа, определить уровень этого повышения, соответственно сделать выводы о их потенциальной выбороопасности.

Список литературы

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика в 10 томах. Том 5, ч 1. Статистическая физика. 5 - е изд., стереот. - М.: Физматлит, 2002. - 61.
2. Алексеев А.Д., Фельдман Э.П. Равновесное распределение газов в уголь пластах // Письма в ЖТФ. - 2008. -Т.34, вып.14. - С. 48-53.
3. Алексеев А.Д., Фельдман Э.П., Калугина Н.А. Термодинамика газоугольного массива и неоднородное распределение газов в угольных пластах // ЖТФ. - 2010. - Т.80, вып.12. - С. 57-61.
4. Алексеев А.Д. Физика угля и горных процессов / А.Д. Алексеев. – К.: Наукова думка, 2010. - 423с.
5. П.С. Пашковский, С.П. Греков, А.А. Всякий. Динамика истечения метан частиц угля и его охлаждение // Научный вестник НИИГД «Респиратор» 2019. - Вып. - С.
6. Стариков Г.П., Мельник Т.Н., Хащеватская Н.В. Оценка сте нарушения пористой структуры угольного массива на основе у закономерностей тепломассопереноса // Труды РАНИМИ . - 2021. -№1. - С. 58-66.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ ГАЗОНОСНОСТИ И ВЫБРОСООПАСНОСТИ УГЛЕЙ ДОНБАССА В РЯДУ МЕТАМОРФИЗМА, С РОСТОМ ГЛУБИНЫ И ПО ПЛОЩАДЯМ

Радченко А.Г.

ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк

В статье рассмотрены особенности и закономерности изменения природной газоносности и выбросоопасности углей Донбасса в ряду метаморфизма, с глубиной и по площадям

В работе [1] было высказано предположение, что для углей различного марочного состава с ростом глубины ведения горных работ произойдет прекращение внезапных выбросов угля и газа. За прошедшие последние 33 года практика ведения горных работ в Донбассе и в других угольных бассейнах Российской Федерации опровергает это утверждение. Природная газоносность угольных пластов - X_{np} является одним из ведущих факторов, оказывающих влияние на формирование и проявление внезапных выбросов угля и газа, а также суфляров и прорывов газа из углепородного массива. Знание особенностей и закономерностей изменения X_{np} и внезапных выбросов угля и газа в ряду метаморфизма, с глубиной и по площадям имеет важное научное и прикладное значения.

Целью настоящей работы является исследование особенностей и закономерностей изменения природной газоносности углей Донбасса и их выбросоопасности в ряду метаморфизма, с глубиной и по площадям. Анализ литературы показал, что основными свойствами углепородного массива являются неоднородность, блочность, слоистость и анизотропия.

По данным работы [2] график изменения X_{np} в ряду метаморфизма имеет форму параболы с максимумом значений при весовом выходе летучих веществ $V^{daf} = 13-8\%$, а в интервале $V^{daf} = 7,9-3,0\%$ наблюдается резкое снижение газоносности для антрацитов и суперантрацитов. Сотрудник МакНИИ, профессор, д.т.н. Печук И. М. впервые предложил использовать в качестве показателя степени метаморфизма углей логарифм удельного электрического сопротивления - $\lg \rho$ и впервые выявил закономерность снижения газоносности углей при значениях $\lg \rho < 3,3$.

Согласно [1], с ростом глубины ведения горных работ по пласту h_8 (марка углей А - антрациты) на шахтах «Киевская», «Фоминская», «Фоминская № 16» и 14-14 бис ПО Шахтерскантрацит произошло прекращение выбросов угля и газа. В данном случае отмечен рост степени метаморфизма углей при значениях показателя $\lg \rho < 3,3$. На шахте «Коммунист» ПО Октябрьуголь разрабатывался пласт g_2 «Наталья», марка угля – А. Так за период 1953–1988 гг. по пласту g_2 произошло 28 внезапных выбросов угля и газа и 201 выброс при сотрясательном взрывании. С ростом глубины ведения горных работ ($H_p > 480$ м) выбросы прекратились. При этом $\lg \rho = 5,6–5,8$; но в интервале глубин $H_p = 268–460$ м существенно возросла зольность угля с 6,0 до 15%. Таким образом, для антрацитов и суперантрацитов наблюдается прекращение внезапных выбросов угля и газа при увеличении их степени метаморфизма и зольности, которые способствуют снижению газоносности углей. С позиций углехимии на природу снижения X_{np} у антрацитов имеются разные точки зрения: а) с ростом метаморфизма часть метана расщепляется на углекислый газ и водород; б) часть метана переходит в твердое состояние; в результате этого газоносность антрацитов снижается.

В отличие от антрацитов для углей низкой и средней стадий углефикации с ростом степени метаморфизма и глубины наблюдаются следующие тенденции: а) происходит рост газоносности, сорбционной способности углей, дробимости и разрушаемости; б) снижаются микротвердость, прочность, пористость и удельный вес углей. На глубинах $H = 1200–1500$ м газоносность угольных пластов стабилизируется и принимает значения близкие к максимальным. Зона метановых газов распространяется в горном массиве до глубин $H = 7,0–7,5$ км; так что для углей низкой и средней стадий метаморфизма прекращение внезапных выбросов угля и газа на глубинах $H = 600–1600$ м не произойдет. Практика ведения горных работ на глубоких горизонтах в Донбассе на шахтах им. А.Ф. Засядько, им. А.А. Скочинского, Краснолиманской, а также на других угольных шахтах Российской Федерации полностью подтверждает наши выводы о сохранении высокой потенциальной выбросоопасности для углей низкой и средней стадий метаморфизма на глубинах $H = 600–1600$ м. В Донбассе по площадям наблюдаются следующие тенденции: рост степени метаморфизма углей и их природной газоносности с запада на восток.

Исследования закономерностей изменения X_{np} в ряду метаморфизма, с ростом глубины и по площадям, выполненные обзор

литературы и статистический анализ позволили получить новые результаты о проявлении внезапных выбросов угля и газа на шахтах Донбасса:

– определены новые граничные условия проявления внезапных выбросов угля и газа для углей низких стадий метаморфизма: $V^{daf} \leq 43$, %; $X_{np} \geq 8,0$ м³/т. с. б. м.; толщина пластического слоя $\mu \geq 6,0$ мм;

– разработаны три новые рабочие гипотезы формирования и проявления внезапных выбросов угля и газа в ряду метаморфизма, с ростом глубины и по площадям, выполнена их статистическая и экспериментальная проверка;

– установлено, что в ряду метаморфизма распределение числа внезапных выбросов угля и газа на пластах пологого падения имеет 3 максимума, а на пластах наклонного и крутого падения 2 максимума;

– с учетом марочного состава углей и углов падения угольных пластов для углей разных групп метаморфизма предложены значения минимальных глубин проявления внезапных выбросов угля и газа - $H_{мин.рек}$;

– разработан усовершенствованный способ категоризации угольных пластов Донбасса по степени их выбросоопасности;

– разработаны новые модели формирования и проявления выбросов угля и газа: а) на региональном уровне – физико-химическая модель; б) на текущем уровне – геомехано-газотермодинамическая модель [3]. Более подробно результаты исследований о закономерностях проявления внезапных выбросов угля и газа на шахтах Донбасса приведены в работе [4].

Выводы. Обзор литературы показал, что анализ изменения величин газоносности и оценку степени выбросоопасности угольных пластов необходимо выполнять комплексно, поэтапно, последовательно на следующих уровнях: 1) региональном; 2) локальном; 3) текущем. Это позволяет составить надежный и объективный горно-геологический прогноз конкретного, намеченного к отработке угольного пласта.

Список литературы

1. Забигаило, В.Е. Влияние катагенеза горных пород и метаморфизма углей на их выбросоопасность [Текст] / В.Е. Забигаило, В.И. Николин // Киев: Наук. думка, 1990 – 168 с.

2. Косенко, Б.М. Изменение содержания метана и высших углеводов в каменных углях и антрацитах Донбасса [Текст] / Б.М. Косенко // Геология угольных месторождений. М., 1969. – Т.1, С. 129–135.

3. Радченко, А.Г. Новые модели формирования выбросоопасных зон в угольных пластах на региональном и текущем уровнях [Текст] / А.Г. Радченко, Н.Н. Киселев, С.М. Федотов, Т.А. Решетняк, А.А. Радченко // Журнал теоретической и прикладной механики. – Донецк, ДонНУ, 2021.– № 3 (76), С. 53–68.

4. Анциферов, А.В. Краткий исторический обзор геологических и научных исследований залежей угольных пластов в Донбассе [Текст] / А.В. Анциферов, Н.Н. Киселев, А.Г. Радченко, Н.С. Федосова, О.А. Новикова, А.А. Радченко // Проблемы горного давления [Электронный ресурс]. – Донецк: ГОУВПО «ДОННТУ» – 2022. – №1-2 (42-43). – С. 3–32. URL: <http://pgd.donntu.ru>

УДК 622.831.322:63

СПОСОБЫ ОБНАРУЖЕНИЯ УЧАСТКОВ, ОПАСНЫХ ПО ГАЗОПРОЯВЛЕНИЯМ В ГОРНОМ МАССИВ

Радченко А.Г.

ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк

В статье рассмотрены условия формирования в горном массиве газовых скоплений и способы их обнаружения на региональном, локальном и текущем уровнях

Земные недра характеризуются многими трудно изучаемыми природными явлениями и опасностями: землетрясения, извержения вулканов, гейзеры, а также газовые фонтаны, которые возникают при бурении скважин на газ и нефть. При ведении горных работ в шахтах наблюдаются суфляры, прорывы газов из горного массива, внезапные выбросы солей, песчаников, порфиринов, углей и газов. В результате загазирования горных выработок в них происходят взрывы газа, приводящие к авариям с тяжелыми последствиями. Выявление мест газовых скоплений в горном массиве является важной научной и практической задачей. В связи с этим, целью настоящей работы является исследование условий формирования в горном массиве газовых скоплений и способов их обнаружения на региональном, локальном и текущем уровнях.

Рассмотрим примеры газопроявлений на региональном уровне. На земной поверхности обнаружены газовые кратеры в Венесуэле, в Туркмении, в Российской Федерации. С помощью космической разведки в РФ обнаружены газовые кратеры на территории Северной

Сибири, на полуострове Таймыр, на Ямале, в Арктике и т. д. На локальном уровне при бурении скважин на нефть и газ наблюдаются выбросы газа и газовые фонтаны на следующих территориях: шельф Черного моря, Донбасс, Азербайджан и т. д.

Текущий уровень. В Донбассе при проведении горных выработок за период 1955–2005 гг. произошло 4192 выброса песчаников и газа, а также около 5000 выбросов угля и газа (внезапных и при буровзрывных работах). В Армении в 1972–1977 гг. для переброски части воды из реки Арпа в озеро Севан велись работы по проходке двух параллельных гидротехнических тоннелей, длина каждого из них составляла 48,3 км. При проведении тоннелей в зоне влияния Анкаван-Сюникского разлома были зафиксированы внезапные выбросы порфиристов и углекислого газа. Выбросы солей и газов зафиксированы в Германии, Польше, Российской Федерации, Республике Беларусь, Казахстане. Выбросы и взрывы газа были зафиксированы в Донбассе, Кузбассе, в условиях А.О. «Воркутауголь», на угольных и рудных шахтах г. Норильска и т. д.

Анализ литературы показал, что на формирование участков газовых скоплений на региональном и локальном уровнях оказывают влияние следующие факторы: геологическое строение горного массива, тектоника, литология, структурно-тектонические и структурно-литологические особенности анализируемого участка, гидрогеология, степень метаморфизма углей, степень катагенеза вмещающих пород, глубина разработки, температура горного массива, углы падения угольных пластов и вмещающих пород, мощности и крепость геологических слоев, их пористость, степень трещиноватости и газопроницаемости. На текущем уровне на изменение и перераспределение природной газоносности – X_{np} в угольных пластах влияет наличие зон горногеологических нарушений-зон ГГН, зон аномально высоких пластовых давлений-зон АВПД, зон повышенного горного давления-зон ПГД и сочетание этих зон. Формированию «газовых мешков» в угольных пластах способствуют не только зоны ГГН, ПГД, АВПД, но и процессы флюидизации, происходящие в углепородном массиве. В результате воздействия флюидов на пласт угля в нем формируются «зоны бронирования», оконтуривающие участок с повышенным содержанием газов [1].

В связи с выше изложенным, возникает задача в своевременном обнаружении газовых скоплений разных масштабов на региональном, локальном и текущем уровнях. Трещиноватый, интенсивно

нарушенный горный массив в большинстве случаев является коллектором газов, поэтому задача сводится к поиску и обнаружению зон газоносных геологических нарушений. Для обнаружения таких участков часто применяют комплексирование сейсмических [2] и электроразведочных методов [3]. По данным [4] в 2006–2010 гг. были проведены поисковые работы на нефть и газ на шельфе Антарктиды методами становления короткоимпульсного электромагнитного поля (СКИП) и вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ). Методом СКИП была обнаружена аномалия типа «залежь», а зондированием методом ВЭРЗ в её пределах выделены аномально поляризованные пласты типа «залежь углеводородов». Аномальные зоны типа «газ» располагались по площади мозаично, а по глубине занимали многоярусное положение в виде антиклинальных дугообразных линз.

На Тарханкутском и Керченском полуостровах Крыма в 2010–2013 гг. рядом организаций были проведены геофизические исследования по выявлению и оконтуриванию перспективных участков, содержащих нефть и газ [5]. Полевые геофизические работы выполнялись электроразведочными методами: аудиоманнитотеллурического зондирования (АМТЗ) и естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). Анализ данных АМТЗ показал следующее: а) участки перспективные для добычи углеводородов располагаются на исследуемой площади локально, мозаично, пятнисто; б) по глубине залегания эти участки расположены многоярусно, многоуровнево на разных глубинах [5]. Положительный опыт прогнозирования зон геологических нарушений и участков повышенной газоносности на полуострове Крым явился основанием для проведения дальнейших геоэлектрических исследований на шахтах Донбасса. Экспериментальные исследования, выполненные методами АМТЗ и СКИП, показали, что участки скопления свободного метана в горном массиве шахт им. *А.Ф. Засядько* и «Суходольская – Восточная» располагаются зонально, локально, мозаично по площади горного отвода и многоуровнево, многоярусно по глубине в виде различных линзообразных залежей. Выделенные зоны проявлялись как аномалии повышенной поляризации и повышенного геоэлектрического сопротивления пород горного массива. Выявленные аномалии образованы за счет скопления свободного метана в тектонически ослабленных зонах, выше залегающие отложения оказывали экранирующее воздействие на залежи газа. Эти выполненные в Донбассе

геофизические исследования позволили выявить и подтвердить неравномерное распределение залежей газа в углепородном массиве.

Выполненные геофизические исследования и данные геолого-разведочных скважин объективно характеризуют региональные и локальные свойства горного массива, но не отражают весьма сложное, неоднородное распределение газа в угольном пласте на текущем уровне. В настоящее время на текущем уровне необходимо разработать способ оперативного и надежного обнаружения газовых скоплений в угольных пластах, в частности в тектонически нарушенных зонах с амплитудами менее $A < 3,0$ м. Хорошо зарекомендовал себя способ [6] для выявления участков повышенной газоносности в угольных пластах с помощью устройства ПИГ-1. Согласно способу [6] измерения X_{np} выполняют при бурении скважин длиной $L=8-10$ м и диаметром $D=42$ мм, что позволяет обнаруживать участки с повышенной газоносностью. К сожалению, в настоящее время в Донбассе устройства типа Пиг-1 отсутствуют и не изготавливаются. Следует отметить, что в работе [7] выполнено теоретическое обоснование о необходимости в дальнейшем развития нового перспективного направления: геомеханическая газотермодинамика выбросоопасных угольных пластов. Согласно этому направлению, необходимо будет разработать оперативный способ надежного обнаружения газовых скоплений в угольных пластах, который основан на измерении газотермодинамических параметров в призабойной части угольного пласта в проводимых горных выработках.

Выводы. Обзор литературы и обобщение опыта ведения горных работ на шахтах Донбасса позволили установить взаимосвязь между факторами, действующими на региональном, локальном и текущем уровнях, которые способствуют формированию отдельных участков газовых скоплений в угольных пластах. Указанные участки характеризуются повышенными значениями газоносности и скорости газовой выделения. Разработаны теоретические основы применения нового оперативного способа обнаружения газовых скоплений в угольном массиве, который основан на измерении газотермодинамических параметров в призабойной части угольных пластов.

Список литературы

1. Труфанов, В.Н. Роль процессов углеводородной флюидизации в формировании метанообильных зон в угленосных бассейнах [Текст] / В.Н. Труфанов, М.И. Гамов, Ю.Г. Майский, В.Г. Рылов // ГИАБ, №6, 2002, с. 20-26.

2. Анциферов, А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки [Текст] /А.В. Анциферов. – Донецк: ООО Алан, 2003, – 312 с.

3. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Божежа Д.Н., Якимчук Ю.Н. Практический опыт поисков и картирования геоэлектрическими методами скоплений свободного метана на шахтах Донбасса. Зб. наук. праць «Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики», Киев: Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, 2010. – с. 216–231.

4. Корчагин И.Н., Левашов С.П., Якимчук Н.А., Соловьев В.Д., Бахмутов В.Г., Божежа Д.Н. Опыт обнаружения скоплений углеводородов в структурах континентальных окраин Западной Антарктики и других регионов (по данным экспериментальных геоэлектрических и дистанционных исследований). Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», № 1, 2012. – с. 242 – 260. [Электронный ресурс].– Режим доступа: [htt: // www.ogbus.ru](http://www.ogbus.ru)

5. Антипов, И. В. Опыт применения геофизических методов для обнаружения зон повышенной газоносности [Текст] / И. В. Антипов, А. Г. Радченко // Труды РАНМИ: сб. научн. трудов.- Донецк, 2018. – № 6 (21). – С. 69–82.

6. SU1038484A1; E21 F 5/00; от 30.08.1983. Пантелеев, А.И. Способ определения газоносности полезного ископаемого по газовыделению при бурении скважин и устройство для его осуществления [Текст] / А.И. Пантелеев, Г.А. Пантелеев, Л.А. Глазунков. -1983.

7. Радченко, А.Г. Новые модели формирования выбросоопасных зон в угольных пластах на региональном и текущем уровнях [Текст] / А.Г. Радченко, Н.Н. Киселев, С.М. Федотов, Т.А. Решетняк, А.А. Радченко // Журнал теоретической и прикладной механики. – Донецк, ДонНУ, 2021.– № 3 (76), С. 53–68.

УДК 622.013

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ ТРЕЩИНЫ ГИДРОРАЗРЫВА ВБЛИЗИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОЛОСТИ

Азаров А.В., Сердюков С.В.

*Институт горного дела
им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск*

Гидроразрыв пласта (ГРП) – одна из технологических операций, которая применяется на горнодобывающих предприятиях для решения таких задач, как дегазация угольных пластов [1,2], измерение напряженного состояния массива горных пород [3], разупрочнение кровли [4, 5]. В некоторых случаях, ГРП может проводиться вблизи

подземных сооружений, где из-за разгрузки среды может образовываться сложное напряженно-деформированное состояние, сильно влияющее на распространение трещин. Поэтому возникает задача установления закономерностей развития гидроразрыва в таких условиях.

В представленной работе была исследована задача распространения трещины ГРП вблизи цилиндрической полости в условиях неоднородного напряженного состояния среды. Данные исследования являются продолжением предыдущей работы [6], в которой рассматривалась та же задача при однородном поле напряжения.

Моделирование роста трещины проводилось в квазистатическом приближении. Среда считалась однородной линейно-упругой, жидкость разрыва – несжимаемой, вязкой. Основные уравнения модели решались методом расширенных конечных элементов (XFEM), реализованного в программном пакете Abaqus. Подробное описание схемы моделирования приведено в работе [7].

Для численных экспериментов была выбрана расчетная область виде куба со стороной 10 метров, содержащий цилиндрическую полость с радиусом 0.5 метр. На некотором расстоянии от полости устанавливалась начальная трещина, в которую подавался поток жидкости. Поверхность полости являлась свободной, внешние границы расчетной области закреплялись, а внутри задавалось необходимое напряженное состояние.

На рисунке 1 приведены трехмерные изображения разрывов, полученных при удалении начальной трещины от полости на расстояние одного радиуса и ориентированной в плоскости yz . В данных примерах два напряжения были равны, а третье по отношению к ним было минимальным. На рис. 1а минимальным было S_{yy} , на рис. 2б – S_{xx} .

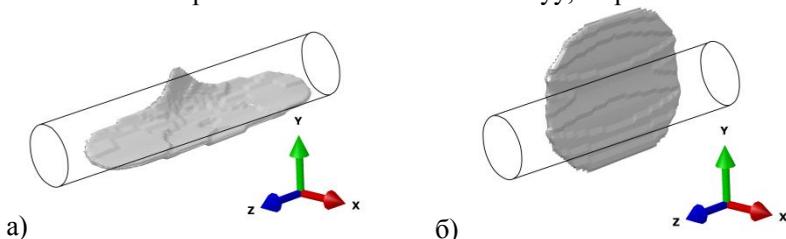


Рис. 1. Трехмерный вид трещины при удалении трещины на расстояние одного радиуса от стенки полости при:

а) $S_{xx}=S_{zz}=3\text{МПа}$ и $S_{yy}=1.5\text{ МПа}$., б) $S_{yy}=S_{zz}=3\text{МПа}$ и $S_{xx}=1.5\text{ МПа}$

На рис. 2 приведены проекции трещин на плоскости xu и zu , когда два главных напряжения равны, а третье оказывается минимальным по отношению к ним. Разным цветом обозначено положение трещины при определенном уровне закаченной жидкости. В первом столбце (рис. 2а, 2г) $S_{xx}=S_{zz}=3\text{МПа}$, $S_{yy}=1.5\text{ МПа}$. Трехмерное изображение этого случая приведено на рис. 1а. Здесь хорошо видно, что в первые моменты времени трещины переориентировалась перпендикулярно оси y , после чего распространение продолжалось только вдоль полости. В среднем столбце (рис. 2б, 2д) минимальное напряжение $S_{xx}=1.5\text{ МПа}$, а $S_{yy}=S_{zz}=3\text{МПа}$. В данном случае трещина полость оказывала минимальное воздействие на траекторию разрыва, форма трещины близка к дисковой. И в третьем случае минимальным было напряжение $S_{yy}=1.5\text{ МПа}$ (рис. 2в, 2е). В таких условиях трещина вышла на поверхность полости.

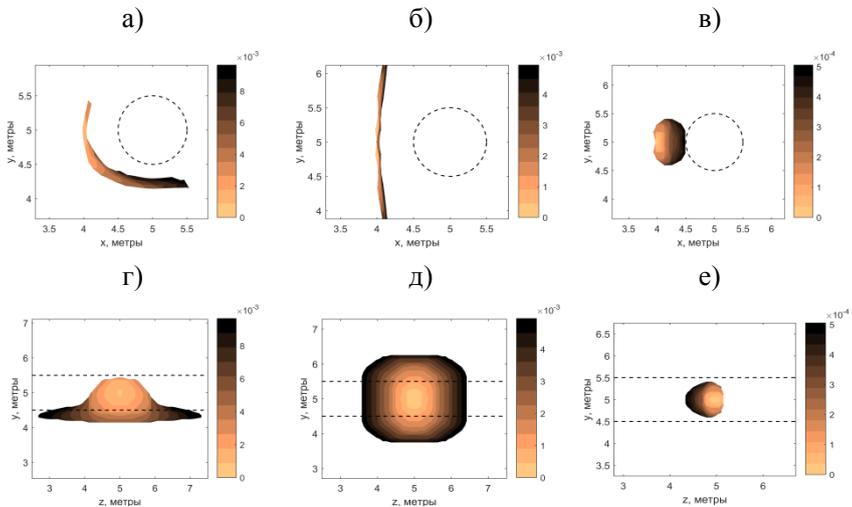


Рис. 2. Проекция трещин гидроразрыва на плоскости xu и uz в случае удаления трещины на расстояние одного радиуса от стенки полости при: а), г) $S_{xx}=S_{zz}=3\text{МПа}$, $S_{yy}=1.5\text{ МПа}$.; б), д) $S_{yy}=S_{zz}=3\text{МПа}$ и $S_{xx}=1.5\text{ МПа}$; в), е) $S_{xx}=S_{yy}=3\text{МПа}$ и $S_{zz}=1.5\text{ МПа}$

По ходу выполнения работы были сделаны следующие выводы. При расположении начальной трещины сбоку полости и существовании максимального или минимального напряжения по отношению к двум другим:

- уменьшение напряжения, действующего вдоль оси полости, будет приводить к выходу гидроразрыва на поверхность полости. При увеличении этого напряжения разрыв будет развиваться вдоль полости.

- уменьшение второго горизонтального напряжения будет уменьшать влияние полости, трещина будет развиваться в одной плоскости её форма будет близкой к дисковой. Его увеличение будет приводить к выходу трещины в полость.

- уменьшение вертикального напряжения будет приводить к переориентации трещины с её последующем развитием вдоль полости. Его увеличение будет приводить к развитию трещины вдоль полости, переориентации происходить не будет.

Благодарности.

Исследование выполнено в рамках госзадания (проект № 0256-2021-0001, шифр темы FWNZ-2021-0001).

Литература

1. Huang B., Cheng Q., Chen S. Phenomenon of methane driven caused by hydraulic fracturing in methane-bearing coal seams //International Journal of Mining Science and Technology. – 2016. – Т. 26. – №. 5. – С. 919-927.

2. Lyu S. et al. Massive Hydraulic Fracturing to Control Gas Outbursts in Soft Coal Seams //Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2022. – Т. 55. – №. 3. – С. 1759-1776.

3. Wang H.Y., Sharma M.M. Determine in-situ stress and characterize complex fractures in naturally fractured reservoirs from diagnostic fracture injection tests //Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2019. – Т. 52. – №. 12. – С. 5025-5045.

4. Liu, J., Liu, C., Yao, Q., & Si, G. The position of hydraulic fracturing to initiate vertical fractures in hard hanging roof for stress relief //International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2020. – Т. 132. – С. 104328.

5. Lekontsev Y.M., Sazhin P.V. Directional hydraulic fracturing in difficult caving roof control and coal degassing //Journal of mining science. – 2014. – Т. 50. – №. 5. – С. 914-917.

6. Serdyukov S.V., Azarov, A.V., Rybalkin, L.A., & Patutin, A.V. Shapes of Hydraulic Fractures in the Neighborhood of Cylindrical Cavity // Journal of Mining Science. – 2021. – Т. 57. – №. 6. – С. 943-954.

7. Azarov A.V., Serdyukov S.V., Patutin A.V. Investigation of hydraulic fracture in a poroelastic medium containing a cavity //Journal of Fundamental and Applied Mining Sciences. – 2020. – Т. 7. – №. 1. – С. 12-17.

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ МИКРОСКОПИИ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНОЙ
НАРУШЕННОСТИ ГЕОМАТЕРИАЛОВ**

Шилин Н.А.¹, Бессчетнов С.А.², Шилин В.А.²

¹ ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет»

² РГГРУ им. С. Орджоникидзе, г. Москва

Трещиноватость геоматериалов оказывает существенное влияние как на их физико-механические свойства, так и на характер протекающих в них деформационных процессов. В связи с этим оценка параметров трещиноватости является одной из приоритетных задач геоконтроля. Для решения этой задачи в настоящее время привлекается широкий спектр инженерно-геологических и геофизических методов, среди которых наиболее перспективными считаются методы волновой структуроскопии [1, 2], основанные на анализе изменений параметров сигналов различной физической природы при рассеянии на неоднородностях исследуемых объемов геоматериалов. Для эффективного исследования трещиноватости такими методами необходимо использование зондирующих сигналов, длина волны которых соизмерима с характерными размерами микротрещин.

Интерференционный микроскоп – это своего рода оптический симбиоз интерферометра и микроскопа [3]. Принцип интерферометрии заключается в возможности пространственного деления пучка света при помощи различных устройств, в результате чего получаются несколько взаимно когерентных лучей. Проходя различными оптическими путями эти лучи сводятся вместе для наблюдения результата их интерференции, при этом оптические схемы интерферометров отличаются способом формирования волны сравнения.

Цель работы заключается в обосновании возможностей метода оценки нарушенности горных пород на основе интерференционной микроскопии и визуализации ее результатов.

В настоящем сообщении представлены результаты оптического сканирования поверхности образцов аргиллитов, отобранных из почвы лавы 24–64 пласта Болдыревский шахты им. С.М. Кирова АО «СУЭК–Кузбасс». Особенностью образцов аргиллитов является существенное снижение их прочности при водонасыщении, что затрудняет подготовку поверхностей для оптических исследований.

Однако приемлемое качество поверхности исследуемых образцов было достигнуто с использованием высококласных отрезных и шлифовальных станков «Struers – Labotom-15» и «Struers – Tegramin-25», Оценка дефектности указанных образцов осуществлялась с использованием микроскопа ZEISS AxioVert 100 с интерференционной приставкой, позволяющей идентифицировать структурные неоднородности исследуемых материалов с продольном разрешением 0,1 нм и поперечным 1 мкм.

На рис. 1 представлено фото микроскопа ZEISS AxioVert 100, а на рис. 2 принципиальная схема, используемой интерференционной приставки.



Рис. 1. Микроскоп AxioVert 100

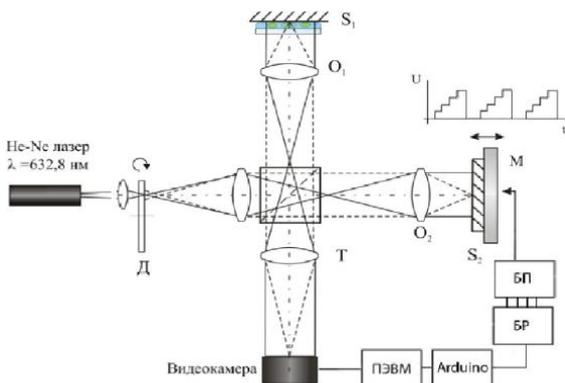


Рис. 2. Оптическая схема интерферометрической приставки:
 БП – блок питания, БР – блок реле, ПЭВМ – программируемая ЭВМ,
 М – подложка для зеркала с пьезокерамическим элементом,
 Д – диффузор, Т – собирающая линза, O1 – линза в объектном плече,
 O2 - линза в опорном плече, BS – светоделитель, S1, S2 – зеркала

На рис. 3 представлено изображение локального участка поверхности образца аргиллита, полученного с использованием микроскопа AxioVert 100 с интерференционной приставкой.

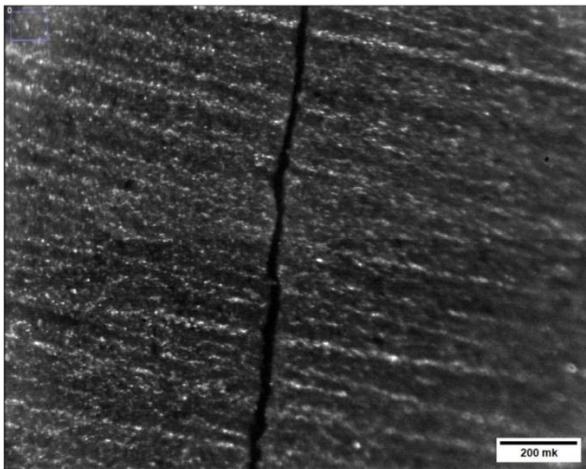


Рис. 3. Пример изображения, полученного с помощью микроскопа AxioVert 100 с интерференционной приставкой

На представленном изображении надежно фиксируется магистральная трещина в центральной зоне рассматриваемого участка поверхности, величину раскрытия, которой также возможно оценить.

Результаты экспериментов демонстрируют высокую эффективность оптической интерферометрии для количественной оценки геометрических параметров дефектов поверхностей аргиллитов, что создает предпосылки использования, описанного аппаратного, методического и программного обеспечения при диагностике структурной нарушенности образцов слабых скальных пород.

Список литературы

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. - Справочник. В 2-х кн./ Под ред. В.В.Клюева - М.: Машиностроение, 2006.
2. Кравцов А., Иванов П.Н., Малинникова О.Н., Черелецкая Е.Б., Гапеев А.А. Исследование микроструктуры углей печорского бассейна методом лазерно-ультразвуковой спектроскопии // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 6. — С. 56-65.
3. Виноградова Г.Н., Захаров В.В. Основы микроскопии. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2018.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗА ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ В ВОДООТЛИВНОМ КОМПЛЕКСЕ

Хохлов Б.В., Дрибан В.А.

ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк

В процессе обеспечения безопасной гидрозащиты техногенно-нагруженных территорий Донбасса, наиболее ответственными являются вопросы сохранности и долговременной геомеханической устойчивости горных выработок, по которым будет производиться откачка воды на поверхность.

Последствия бессистемного подхода к вопросам сохранности или ликвидации шахтных стволов могут проявиться как сразу, так и через десятки лет и вызываться самыми различными причинами, которые приводят к возникновению аварийных ситуаций. В результате нарушения в околоствольном массиве гидростатического баланса зачастую происходит частичное или полное разрушение устьев стволов с образованием воронки разрушения. С учетом того, что шахтные стволы обычно бывают большого диаметра 6-8 м [1], [2] и глубиной зачастую свыше километра, масштабы аварийной ситуации могут быть катастрофическими. Поэтому работа, по прогнозу долговременной геомеханической устойчивости массива горных пород ликвидируемых шахт и разработке мероприятий по обеспечению долговременной устойчивости шахтных стволов для использования в водоотливных комплексах (ВОК), весьма актуальна.

Прогноз долговременной геомеханической устойчивости стволов, разработанный в ФГБНУ «РАНИМИ» включает в себя следующие этапы.

1. Долговременная геомеханическая устойчивость, главным образом, определяется состоянием крепи ствола, а также соответствия несущей способности крепи условиям поддержания, т.е. горно-геологическим, горнотехническим и геомеханическим условиям. В соответствии с [4] выполняется оценка напряженно-деформированного состояния околоствольного массива и крепи вертикальных шахтных стволов с определением расчетной балльной оценки состояния крепи ствола. Расчетная оценка состояния крепи стволов

выражена в баллах от 1 (удовлетворительное состояние) до 3 (аварийное состояние).

2. Для безопасной работы ВОК с погружными насосами в одном из стволов крайне необходимо определить, являются ли смежные вертикальные шахтные стволы взаимовлияющими, т.е. смогут ли геомеханические процессы, происходящие в одном из стволов непосредственно повлиять на соседний ствол. Определение взаимовлияния смежных стволов осуществляется по методике, приведенной в [4].

3. На основании визуального обследования делается оценка фактического состояния крепи шахтных стволов. Оценка фактического состояния крепи так же выражена в баллах от 1 (удовлетворительное состояние) до 3 (аварийное состояние). Если фактическая балльная оценка состояния крепи ствола не более 1,5 балла, а расчетная балльная оценка не превышает 1,75 балла и фактическая крепь по несущей способности соответствует необходимой расчетной, с учетом динамики гидрогеомеханической ситуации в условиях затопления горного массива, исследуемый ствол можно использовать в ВОК. Если в стволе невозможно произвести визуальное обследование (отсутствуют подъемные сосуды, машины) оценка фактического состояния производится с помощью разработанного в ФГБНУ «РАНИМИ» аппарата телевизионного мониторинга АТМ1.

4. При затоплении ствола условия его поддержания ствола значительно изменяются. Негативным фактором является ослабление прочности пород околоствольного массива вследствие их обводнения. Данное ослабление учитывается коэффициентом k_w [4].

Положительным является то, что при обводнении массива изменяются его упругие свойства, повышаются пластические характеристики, это уменьшает концентрацию напряжений в зонах повышенного горного давления; при увеличении пластичности массива снижается неравномерность обжатия крепи ствола; так же гидростатическое давление водяного столба в стволе в значительной мере компенсирует радиальное давление боковых пород.

В процессе затопления могут возникать ситуации, когда слабый слой уже увлажнен и снизил свои прочностные свойства, а противодействия гидростатического давления еще недостаточно. При длительном удержании уровня затопления на данной глубине может произойти выдавливание разбухшего слоя и, как следствие, повреждение крепи ствола [5].

Для того, чтобы окончательно убедиться в возможности использования ствола для долговременной, безремонтной глубинной откачки воды погружными насосами в ФГБНУ «РАНИМИ» разработана модель взаимодействия крепи вертикальных шахтных стволов и обводненного массива в зависимости от стояния и параметров крепи, напряженного состояния околоствольного массива при поэтапном затоплении от сухого ствола до рабочего уровня.

Методика прогноза долговременной геомеханической устойчивости стволов апробирована на 33 шахтных стволах. Сделан вывод, что расчетные оценки состояния крепи стволов полностью соответствуют фактическим показателям (т.е. обновленная методика РАНИМИ обладает достоверной сходимостью).

С помощью методики прогноза долговременной геомеханической устойчивости вертикальных шахтных стволов было выполнено проектирование водоотливных комплексов на 14 шахтах ДНР и 5 шахтах ЛНР.

Список литературы

1. Дрибан В.А. Технология принятия решения по схемам ликвидации вертикальных стволов / В.А. Дрибан, С.В. Голдин // Наукові праці УкрНД-МІ НАН України: зб. наук. пр. – Донецьк, 2009. - № 5 (I) – С. 477-489.
2. Дрибан В.А. Мониторинг вертикальных горных выработок, имеющих выход на земную поверхность, при реструктуризации горных предприятий / В.А. Дрибан, Б.В. Хохлов // Материалы 3-й Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса» Том 1. «Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве». – Донецк, 2017. – С. 41-46.
3. Дрибан В.А. Оценка негативных последствий затопления горных выработок при ликвидации группы шахт Торезско-Снежнянского района ДНР / В.А. Дрибан, Е.Н. Шевченко, Н.А. Дуброва, С.Ю. Селяков.
4. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Руководящий документ / РАНИМИ. – Утв. Мин. угля и энергетики ДНР 15.04.21. – Донецк, 2021. – 267 с.
5. Терлецкий А.М. Изменение упругих характеристик горных пород при затоплении горных выработок / А.М. Терлецкий, М.Д. Рожко // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 28 октября - 01 ноября 2019 г. – М: ИПКОН РАН, 2019. – С. 82-85.

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОРОД ОБВОДНЕННЫХ МАССИВОВ НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА «ЯСИНОВСКИЙ ГЛУБОКИЙ»

Дрибан В.А., Хохлов Б.В., Рожко М.Д., Антипенко А.В.

ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк

Процесс реструктуризации шахт Донбасса привел к масштабным изменениям гидрогеологического состояния массива, что в свою очередь изменило прочностные свойства горных пород.

Ранее, в результате постоянной откачки воды работающими шахтами, массив дренировался, благодаря чему снижался приток воды в выработки, и вмещающие породы оставались практически в естественном состоянии.

В настоящее время рентабельные угледобывающие предприятия, расположенные в окрестности ликвидированных шахт, подвержены существенным трансформациям напряженно-деформированного состояния под влиянием обводнения массива горных пород.

Заметим, что формирование представлений о поведении обводненных массивов и приповерхностной зоны является исключительно важным для эффективного восстановления добычи угля и управления горным давлением в выработках рентабельных шахт.

В настоящее время требования к порядку выбора схем расположения, способов и средств охраны и поддержания выработок на угольных шахтах Донецкого бассейна устанавливает Руководящий документ [1].

Одним из главных геомеханических показателей, на которых основываются расчеты устойчивости, а также производится выбор способов и средств охраны горных выработок, безопасной их подработки и наработки является отношение прочности горных пород на одноосное сжатие к горному давлению на заданной глубине.

В результате проводимых исследований были проанализированы данные об испытаниях более 4000 образцов горных пород в естественном и увлажненном состоянии с целью определения поправочного коэффициента, который будет учитывать особенности обводненного массива горных пород.

Аналізу предшествовало создание базы данных изменения прочностных свойств горных пород Донбасса в естественном и влагонасыщенном состоянии. База создавалась на основе архивных

данных шахт Донецко-Макеевского, Торезско-Снежнянского, Красноармейского, Боково-Хрустальского и Краснодонского геолого-промышленных районов. Для основных типов пород, залегающих в Донбассе (алевролит, аргиллит, песчаник, известняк), в нее включены их основные физико - механические характеристики.

Одной из исследуемых физико-механических характеристик, является прочность на одноосное сжатие – устойчивость породы к вертикальным сжимающим нагрузкам. Именно этот показатель используется в расчетах устойчивости, выборе способов и средств охраны горных выработок, а также безопасной их подработки и надработки.

В настоящее время при расчете прочности пород под влиянием воды [1] используется коэффициент, полученный в результате исследования образцов, увлажненных и высушенных в лабораторных условиях, но не учитывается изменение физико-механических свойств увлажненных пород с глубиной.

Участок «Ясиновский Глубокий» - часть Донецко-Макеевского промышленного района, в котором наряду с законсервированными в условиях обводненного массива есть и работающие шахты. Для этого участка проведен анализ механической прочности пород в естественном состоянии и после обводнения массива горных пород в зависимости от глубины. На рисунке 1 представлена зависимость предела прочности от глубины на этом участке.

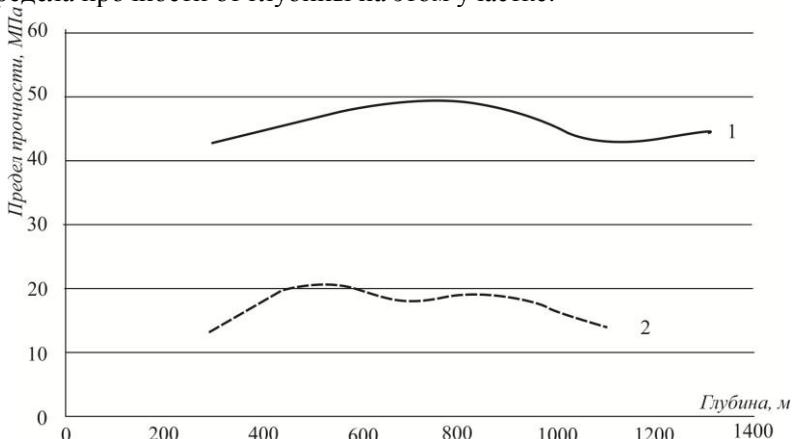


Рис. 1. Предел прочности на одноосное сжатие аргиллитов в естественном (1) и увлажненном (2) состоянии (участок шахты «Ясиновская Глубокая»)

Каждой точке на графике соответствует средневзвешенное по мощности значение предела прочности определенной горной породы на 200-метровом интервале глубины.

Подобные графики построены также для алевролитов и песчаников. К сожалению, для известняков в наличии слишком мало данных.

Предварительно анализируя графики, можно отметить, что на различных интервалах глубины изменения предела прочности происходят с различной интенсивностью. С увеличением глубины этот процесс становится более стабильным. На участке «Ясиновский Глубокий» наиболее активные изменения свойственны алевролитам и песчаникам на сравнительно небольшой глубине: до 500-600 м. Изменения предела прочности аргиллитов происходят достаточно плавно.

Можно сказать, что графики практически подобны, а некоторые расхождения объяснимы тем, что в их основе лежит фактический материал, которому присущи определенные погрешности.

Коэффициент увлажнения, отличающий предел прочности на одноосное сжатие в естественном состоянии от предела прочности в увлажненном состоянии на участке «Нижне-Крынский» представлен в таблице 1.

Таблица 1

Значения коэффициента увлажнения

| Наименования горных пород | Коэффициент увлажнения | |
|------------------------------|------------------------|-----|
| | min | max |
| Алевролиты | 0,6 | 0,8 |
| Аргиллиты | 0,3 | 0,4 |
| Песчаники | 0,7 | 0,8 |

На сегодняшний день коэффициент рассчитан для отдельных участков, эти результаты планируется объединить в границах промышленных угледобывающих районов Донбасса с учетом метаморфизма пород.

Определение коэффициента отличия предела прочности на одноосное сжатие в естественном состоянии имеет важное практическое значение. Как было сказано ранее, под воздействием массового затопления выработанного пространства ликвидируемых шахт изменились физико-механические свойства массива горных пород, что в свою очередь усложнило решение инженерных задач на угледобывающих предприятиях, работающих в измененных условиях.

Полученный коэффициент предназначен для уточнения расчетов устойчивости, выбора способов и средств охраны горных выработок, а также их безопасной подработки и надработки.

Список литературы

1. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Руководящий документ / РАНИМИ. – Донецк, 2021. – 267 с.

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СДВИЖЕНИЕМ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Кулибаба С.Б.¹, Рожко М.Д.²

¹ИПКОН РАН, г. Москва, ²ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк

Меры защиты подрабатываемых объектов от негативного воздействия горных работ разрабатываются на основе расчета деформаций земной поверхности, существующие методики которого теряют точность с изменением геологических и горнотехнических условий подземной разработки. Поскольку одним из основных методов исследования геомеханических процессов в горном массиве является экспериментальный, повышение достоверности результатов инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности является актуальной проблемой.

Важнейшим условием обеспечения точности натуральных измерений параметров процесса сдвижения является устойчивость реперов наблюдательных станций, что обеспечивается исключением влияния на их пространственное положение всех возможных побочных факторов. С этой целью «Инструкцией по наблюдениям...» [0] определены требования к конструкции реперов и регламентированы способы их закладки в грунт. Однако, на практике все же встречаются ситуации, в которых не удается полностью исключить влияние на них нежелательных факторов. В некоторых случаях это происходит по причине несоблюдения упомянутых требований, в других – вследствие воздействия иных, не предусмотренных инструкцией факторов, которые могут носить как геомеханический, так и негеомеханический характер.

На рис. 1 показаны графики измеренных (1) и ожидаемых, (2), оседаний η земной поверхности на шахте им. С.М. Кирова

АО «СУЭК-Кузбасс» над выемочным участком лавы 2462 пласта Болдыревский. Из рисунка следует, что опорные реперы $R_I - R_{III}$ расположены в зоне первичной подработки земной поверхности, т.е., согласно [0], в интервале между точками А и В, и, очевидно, не являлись неподвижными в период наблюдений вследствие влияния старых горных работ лавы 2460, расположенных со стороны восстания пласта.

Для оценки степени влияния старых горных работ на устойчивость опорных реперов нами были рассмотрены результаты эксперимента на другой наблюдательной станции на этой же шахте в практически идентичных условиях, однако опорные реперы в этом случае располагались вне зоны влияния как действующих, так и старых горных выработок. Их анализ показал, что фактические оседания оказались больше прогнозных, причем у границы верхней полумульды сдвижения эта разница $\Delta\eta$ составила 250 мм. Увеличив значения измеренных оседаний над лавой 2462 на эту же величину, получим график 3 приведенных оседаний (см. рис. 1), который соответствовал бы фактическим оседаниям при условии, что опорные реперы находились вне зоны влияния старых очистных работ.

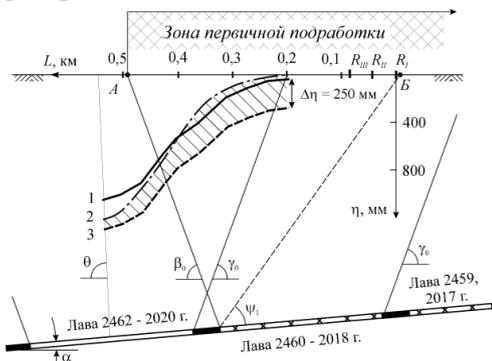


Рис. 1. Графики оседаний земной поверхности на шахте им. С.М. Кирова

В другом примере, который более полно был описан нами ранее [0], на устойчивость части реперов наблюдательной станции повлиял т. н. биотехнический фактор. Анализ развития процесса сдвижения земной поверхности во времени показал, что характер оседания группы реперов на одном участке профильной линии носил пилообразный характер в отличие от плавного характера на другом (рис. 2).

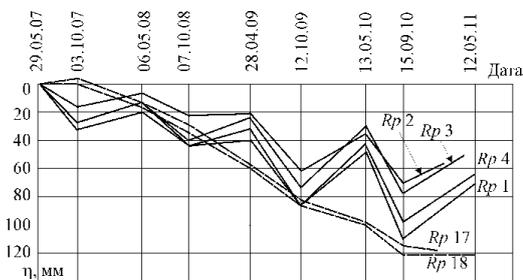


Рис. 2. Графики развития оседаний реперов во времени

Отметим, что две рассматриваемые группы грунтовых реперов были заложены в разных условиях – первая группа ($Rp1-Rp4$) находилась в лесопосадке, а вторая ($Rp5-Rp20$) – в поле. Проанализировав имеющиеся данные, нами был сделан вывод о том, что наиболее вероятной причиной неравномерного оседаний первой группы реперов явился биотехнический фактор – косвенное влияние корневой системы деревьев и кустарников, которую в летний период можно уподобить помпе, выкачивающей в процессе транспирации из почвы значительное количество влаги. Учитывая, что глубина распространения корневой системы растений на рассматриваемом участке превышает глубину закладки реперов, этот слой грунта претерпевает уплотнение и усадку, и как следствие – дополнительное оседание данного участка профильной линии за летние периоды. Из графиков (см. рис. 2) следует, что значения таких дополнительных оседаний достигают 40-50% от максимальных фиксируемых величин. Перед весенними сериями наблюдений почва разбухает вследствие насыщения талой водой и дождями, и высотные отметки на этом участке восстанавливают свои первоначальные значения.

Таким образом, с целью повышения достоверности результатов инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности следует весьма ответственно относиться к месту закладки реперов наблюдательных станций. Анализ натурных инструментальных наблюдений показывает, что под влиянием таких процессов, как активизация сдвижения над старыми горными работами или дополнительная усадка грунта вследствие транспирации влаги из почвы через корневую систему растительности, изменения высотных отметок реперов на таких участках могут достигать 25-50 % максимального оседания в мульде сдвижения. Для обеспечения устойчивости как опорных, так и рабочих реперов в профильных линиях при их закладке следует избегать участков местности, где возможны их

неконтролируемые перемещения вследствие как геомеханических, так и негеомеханических факторов.

Литература

1. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях / [Сост. Петухов И.А., Митичкина Н.И., Земисев В.Н. и др.]. – М.: Недра, 1989. – 96 с.

2. Кулибаба, С. Б. Факторы, влияющие на устойчивость грунтовых реперов наблюдательных станций / С. Б. Кулибаба, М. Д. Рожко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2012. – № 11. – С. 58-64.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ ТВЕРДЕЮЩИМ СОСТАВОМ В СЕРИИ ТРЕЩИН ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА

Рыбалкин Л.А., Ефремов Р.А., Сердюков С.В.

*Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,
г. Новосибирск*

Развитие методов и технических средств разработки угольных пластов шахтным способом дает возможность постоянно наращивать темп отбора угля и увеличивать глубину разрабатываемых пластов. В свою очередь это приводит к сокращению времени для проведения необходимых очистных работ, в особенности по отводу пластового газа метана.

Для увеличения степени отбора пластового газа и сокращению времени операции дегазации в условиях глубокозалегающих пластов необходимо применять меры по увеличению газомобильности и фильтрационной способности участков пласта. Наиболее распространенным инструментом интенсификации дегазации углепородного массива является гидроразрыв пласта [1, 2]. Известны несколько шахтных модификаций этой технологии. Наибольшее распространение получил гидроразрыв водой без расклинивания трещин пропантом [3, 4]. Его выполняют в одну стадию в специальных скважинах длиной до сотни метров. По другому способу гидроразрыв проводят поэтапно в небольших интервалах скважины, создавая вдоль или поперек нее последовательность из десятков трещин [5, 6].

Эффективность дегазации зависит от наличия фильтрации воздуха из горных выработок в дегазационные скважины, что приводит

к сокращению концентрации метана в откачиваемом газе. Традиционный способ блокировать поступление воздуха из шахтной атмосферы в зону внутрипластовой депрессии — нанесение на стенки горной выработки специального состава. Недостатками такой технологии являются значительный расход дорогостоящих полимеров и фильтрация воздуха в обход обработанного участка через слой пород вокруг выработки. Другой способ предотвращения подсосов воздуха через породу — создание трещины гидроразрыва между горной выработкой и зоной отбора метана с ее последующим заполнением твердеющим составом.

В данной работе представлены результаты лабораторных исследований создания противофильтрационных экранов в серии параллельных трещин гидравлического разрыва. В ходе проведения работ была отработана методика поэтапного создания противофильтрационных экранов твердеющим составом в условиях как свободных берегов трещины, так и с закреплением специальными микросферами.

Лабораторные эксперименты выполнялись на специальной лабораторной установке, описание которой приведено в работе [7]. Для физического моделирования была использована модель кубической формы с ребром 420 мм из пескобетона марки М300 (цемент и песок в пропорции 1:2). В образце установлены штуцеры для имитации скважин системы дегазации. Схема нагружения и расположения скважин разрыва показана на рисунке. Процесс гидроразрыва включал в себя подключение к одной из трех скважин, нагнетание рабочей жидкости до момента инициализации трещины, ожидание спада давления жидкости до стабильных значений, повторное нагнетание давления для дальнейшего роста трещины. Весь процесс контролировался по параметрам сжатия и изменения кривых давления гидроразрыва, обрабатываемых специальной программой по данным с электронных датчиков давления гидравлических линий.

После завершения этапа гидроразрыва постановка противофильтрационных экранов производилась в следующем порядке: 1 скважина – твердеющий состав, 2 и 3 скважины – твердеющий состав с проппантом в количестве 5% и 10% по объему соответственно. В качестве твердеющего состава использовался органоминеральный двухкомпонентный состав. В специальной таре смешивали компоненты состава в пропорции 1:1 для приготовления итоговой порции в 350 мл, что составляет удвоенный объем вертикальной трещины через всю модель с раскрытием в 1 мм. Запас был выбран для

заполнения всего объема трещины при возможных утечках состава через края модели. Проппант добавлялся постепенно на этапе смещения компонент до необходимого количества.

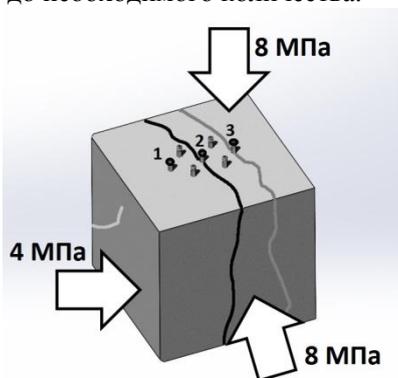


Рисунок. Схема нагружения и расположения скважин разрыва. Цифрами обозначена очередность формирования экранов в скважинах с гидроразрывом, стрелками обозначено направление и величина сжимающих напряжений, линиями показано схематическое распространение разрывов

Подача готовой порции состава осуществлялась за счет специального устройства, представляющего из себя корпус с подвижным штоком внутри для вытеснения жидкости из объема емкости через штуцер. Движение штуцера осуществлялось давлением сжатого газа. При формировании экрана в скважине 1 не было отрегулирована подача сжатого газа, что привело к резкому росту скорости нагнетания и как следствие частичному вспениванию состава при неполной пропитке трещины, далее процесс подачи сжатого газа был отрегулирован таким образом, чтобы готовый состав продолжал заполнять трещину без вспенивания при достижении ее границ. При формировании экрана в скважине 2 произошла блокада проппантом устья скважины, что удалось устранить лишь за счет снижения массовой доли проппанта до 3% и чередованием закачки порции состава с проппантом с последующей откачки его части. Чередование таких режимов нагнетания в скважину позволяет избавиться от блокировки устья с сохранением приемлемого уровня проппанта. Формирование 3 экрана производили с учетом наработок в прошлых скважинах и заранее снизили до 7% и применили закачку с попеременными нагнетанием и откачкой, что позволило отработать весь объем твердого состава без потерь.

В ходе выполнения работы были получены новые знания по постановке противодиффузионных экранов в трещинах гидроразрыва. Разработка методики нагнетания готового состава в определенных условиях развития трещины гидроразрыва позволит значительно сэкономить временные и экономические затраты, увеличить качество проводимой в дальнейшей операции дегазации.

Литература

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.

УДК 622.83

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОЛОГОЗАЛЕГАЮЩИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Ягель Н.В., Загоршменный И.М., Блохин Д.И.

ИПКОН РАН, г. Москва

Стабильная работа угольных шахт может быть обеспечена только при своевременной подготовке фронта очистных работ, который создается проведением основных и подготовительных выработок. Основные функции подготовительных выработок: обеспечение очистного забоя достаточным количеством воздуха, осуществление монтажа и

демонтажа оборудования очистного забоя, транспортировка добытого угля, доставка людей и материалов. Исходя из этих требований определяются размеры горной выработки и состав размещаемого в ней оборудования. Следует отметить, что способ проведения горной выработки, вид крепления, условия ее поддержания в процессе эксплуатации зависят от свойств вмещающего пласта массива горных пород, мощности разрабатываемого пласта и глубины ведения горных работ. Когда мощность разрабатываемого пласта позволяет проведение горных выработок без присечки вмещающих пород создаются условия для многоштрековой подготовки, что позволяет обеспечить более благоприятные условия для проветривания выемочных участков и их отработки [1]. В условиях, когда мощность разрабатываемого пласта не позволяет сформировать выработку требуемого сечения без присечки вмещающих пород, задача повторного использования подготовительной выработки становится актуальной. Как правило такое решение сопровождается необходимостью применения способов снижения величины смещений контура выработок [2]. В настоящее время практически не используется селективная выемка угля, поэтому повторное использование подготовительных выработок не только сокращает их необходимые объемы, но и обеспечивает снижение зольности добываемого угля в условиях присечки вмещающих пород. В тоже время следует учитывать возникающие при этом аэрологические риски [3]. Поэтому оценка возможности применения этого инженерного решения актуальна особенно в постоянно усложняющихся горногеологических условиях. В данном сообщении представлены результаты численных расчетов смещений контура повторно используемой подготовительной выработки для конкретных горногеологических условий разработки пологозалегающего угольного пласта.

Учитывая технологию отработки пласта «Четвертый» шахты «Комсомольская» АО «Воркутауголь», рассмотрены следующие этапы моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород в процессе проведения и эксплуатации подготовительной горной выработки:

- нетронутый неоднородный массив горных пород;
- подготовительная выработка, закрепленная арочной крепью;
- усиление подготовительной выработки балками СВП–22 и канатными анкерами АК – 01 L = 6 м;
- удаление стойки арочной крепи прилегающей к лаве и установка ряда деревянных стоек под брус;

- восстановление стойки арочной крепи;
- выкладка клетки после прохождения лавы.

Горногеологические параметры модели соответствуют условиям отработки пласта «Четвертый» шахты «Комсомольская» АО «Воркутауголь».

Численное моделирование проводилось методом конечных элементов в программном комплексе MIDAS/GTS NX с использованием упругопластической модели Кулона-Мора, отражающей влияние различных факторов на изменчивость распределения значений напряженно-деформируемого состояния приконтурного массива горных пород. Указанный программный комплекс широко применяется для оценки смещений контура выработки [4]. На рис. 1–2 представлены распределения деформаций системы «арочная крепь – массива горных пород» на начальном и финальном этапах моделирования, соответственно.

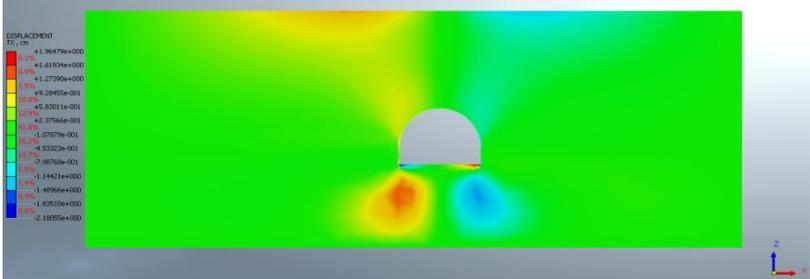


Рис. 1. Распределение деформаций в приконтурной области горной выработки закрепленной арочной крепью до начала работы лавы

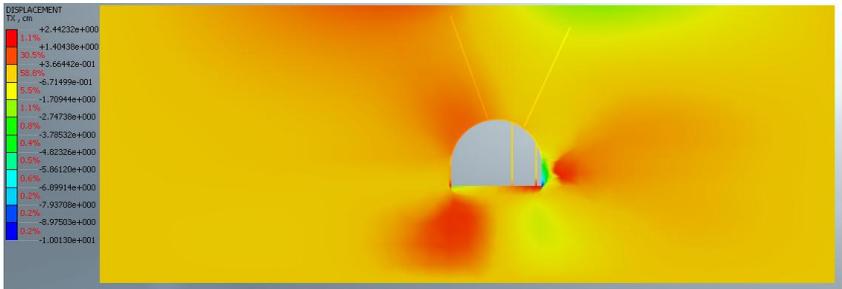


Рис. 2. Распределение деформаций в приконтурной области закрепленной арочной крепью и усиленной костром после прохождения лавы

На рис. 3 приведены значения деформаций системы «арочная крепь – массив горных пород», полученные на основе результатов численных расчетов, а также данных соответствующих натуральных инструментальных измерений.

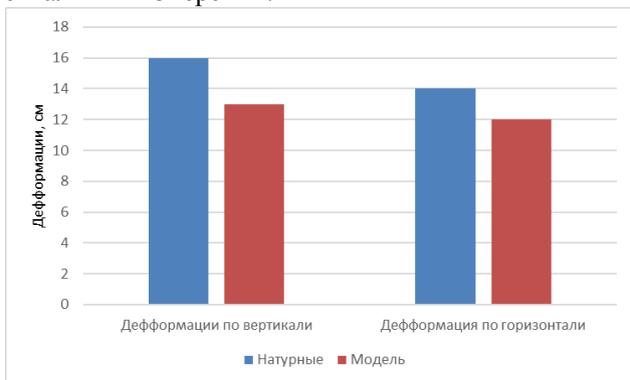


Рис. 3. Деформации системы «арочная крепь – массив горных пород»

Данные, приведенные на рис. 3, демонстрируют, что построенная геомеханическая модель массива горных пород в полной мере отражает основные особенности его строения и изменений контура подготовительной горной выработки в процессе ее эксплуатации. Результаты моделирования позволяют оценить величину смещений приконтурных областей подготовительной горной выработки по мере подвигания лавы. Модель может быть использована для оценки эффективности повторного использования горной выработки при различных способах ее поддержания.

Список литературы

1. 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.
2. Долгий И.Е., Соломоенко Д.А. Обеспечение устойчивости повторно используемых подготовительных выработок // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – № 8. – С. 44–47.
3. Баловцев С.В., Скопинцева О.В. Оценка влияния повторно используемых выработок на аэрологические риски на угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2-1. – С. 40–53.
4. Zhuo H., Xie, D., Sun J., Shi X. Mining Hazards to the Safety of Segment Lining for Tunnel Boring Machine Inclined Tunnels // Frontiers in Earth Science – 2022. – Vol. 9 – 2022 – Article 814672.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕГАЗАЦИИ НЕРАЗГРУЖЕННОГО МАССИВА ПЛАСТОВЫМИ СКВАЖИНАМИ

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

ИПКОН РАН, г. Москва

Применение современного высокопроизводительного оборудования при угледобыче в значительной степени сдерживается высокой метанообильностью разрабатываемых угольных пластов [1]. Именно поэтому дегазация является в настоящее время основным направлением снижения природной метаноносности угольных пластов и обеспечения безопасности горных работ на угольных шахтах.

В соответствии с «Правилами безопасности в угольных шахтах» [2] дегазация угольного пласта обязательна, когда природная метаноносность пласта превышает $13,0 \text{ м}^3/\text{т}$ сухой беззолной массы (с.б.м.) Основной схемой предварительной дегазации угольных пластов в соответствии с «Инструкцией...» [3] является схема дегазации перекрещивающимися скважинами, пробуренными из выработок, оконтуривающих выемочный столб. Максимальная эффективность такой схемы дегазации составляет 0,4 и эта величина используется при разработке проектов систем дегазации выемочных участков [3].

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

Нами были проведены исследования фактических параметров работы скважин предварительной дегазации угольных пластов на шахтах им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс» и Распадская ООО «Распадская угольная компания». В таблице 1 представлены параметры угольных пластов и дегазационных скважин на указанных шахтах.

Эффективность предварительной дегазации неразгруженных от горного давления угольных пластов определяется производительностью дегазационных скважин, их количеством и расстоянием между ними. Эти показатели, в свою очередь, зависят от природной газоносности и газопроницаемости угольного пласта. В соответствии с [3] срок каптажа газа устанавливается условием достижения проектного коэффициента дегазации с учетом показателей газоотдачи пласта в скважины: интенсивности начального удельного метановыделения (g_0), темпа снижения во времени начального удельного метановыделения (a). На пластах с низкой газоотдачей срок каптажа газа принимается не менее 6 и 12 месяцев соответственно для восстающих (горизонтальных) и нисходящих скважин.

Таблица 1

Параметры угольных пластов и дегазационных скважин

| № п/п | Наименование | ш. Кирова, лава 24-64 | ш. Распадская, лава 4-6-37 |
|-------|--|-----------------------|----------------------------|
| 1 | Вынимаемая мощность пласта, м | 2,2 | 4,5 |
| 2 | Природная газоносность, м ³ /т с.б.м. | 18,8 | 18,6 |
| 3 | Абсолютное газовыделение в очистной забой, м ³ /т | 8,7 | 9,7 |
| 4 | Длина скважин предварительной дегазации, м | 180 | 210-270 |
| 5 | Общая длина дегазационных скважин на выемочном участке, км | 69,2 | 52,1 |
| 6 | Расстояние между кустами дегазационных скважин, м | 24 | 10-30 |

В таблице 2 представлены проектные (расчетные) и фактические показатели работы скважин, характеризующие газоотдачу пластов при проведении их предварительной дегазации.

Таблица 2

Проектные и фактические показатели работы скважин

| № п/п | Наименование, единица измерения | ш. им. Кирова, лава 24-64 | | ш. Распадская, лава 4-6-37 | |
|-------|--|---------------------------|-------------|----------------------------|--------|
| | | проект | факт | проект | факт |
| 1 | Начальное удельное метановыделение в скважину g_0 , м ³ /(м ² /сут.) | 0,46 | 0,03/0,003* | 0,29 | 0,066* |
| 2 | Коэффициент снижения метановыделения в скважину a , сут ⁻¹ | 0,084 | 0,001 | 0,010 | 0,011 |
| 3 | Коэффициент эффективности дегазации K_d ($T=6$ мес.) | 0,4 | 0,065 | 0,4 | 0,107 |
| 4 | Коэффициент эффективности дегазации K_d , ($T=12$ мес.) | 0,4 | 0,113 | 0,4 | 0,126 |

Примечание: * – для восстающих дегазационных скважин

Анализ показывает, что в силу низкой газопроницаемости угля фактическая величина начального удельного метановыделения в восстающие скважины для шахты Распадская в пять раз меньше расчетной, а для шахты им. С.М. Кирова – более, чем на два порядка. При этом коэффициент снижения метановыделения в скважины для лавы 24-64 также на порядок меньше расчетной величины. Указанные в таблице 2 показатели газоотдачи пластов обеспечивают среднюю величину каптажа дегазационной скважины в объеме всего 3000-3500 м³ за весь период работы скважины – до полутора лет.

По этой же причине фактический коэффициент эффективности дегазации предварительной дегазации за 6 и 12 месяцев для шахты им. С. М. Кирова меньше в 6,2 и 3,5 раза проектного значения, а для шахты Распадская – в 3,7 и 3,2 соответственно.

Для достижения проектного коэффициента эффективности дегазации 0,4, расстояние между кустами дегазационных скважин с учетом фактических показателей начального удельного метановыделения должно составлять 6-8 м с соответствующим 3-4-х кратным увеличением объемов бурения.

Такие низкие показатели эффективности предварительной дегазации неразгруженного угольного пласта обеспечивают каптаж всего около 2-4% метана, содержащегося в угольном пласте, и требуют разработки и применения методов интенсификации газоотдачи углепородного массива.

Литература

1. Шмат В.Н. Разработка технологии пластовой дегазации выбросоопасных пластов в условиях их интенсивной и безопасной отработки // ГИАБ (научно-технический журнал). – № 6. – 2014. – С. 185-201.

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

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

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ В НАДРАБОТАННЫЙ УЧАСТОК ГОРНОГО МАССИВА

Федоров Е.В., Кулибаба С.Б.

ИПКОН РАН, г. Москва

Выделение метана в горные выработки является одним из основных сдерживающих факторов эффективной и безопасной отработки угольных пластов [1]. С увеличением глубины разработки вопрос прогнозирования метанообильности горных выработок шахт в изменяющихся геомеханических условиях становится все более актуальным.

Интенсивность метановыделения и объемы каптируемого метана при разработке сближенных пластов предопределяются очередностью их выемки в угленосной свите [2]. Иллюстрацией указанного утверждения является опыт отработки таких пластов на шахте им. С.М. Кирова АО СУЭК-Кузбасс. Здесь отработка вышележащего пласта Болдыревский ведется с опережением в плане на четыре выемочных столба относительно пласта Поленовский при 40-метровой мощности междупластья.

На рис.1 представлена совмещенный план расположения выемочных участков указанных пластов.



Рис. 1. Схема расположения выемочных участков сближенных пластов

Как следует из рисунка 1 смежные участки I и II лавы 25-97-1 пласта Поленовский обрабатывались в различных условиях – первый без предварительной наработки вышележащим пластом, второй (заштрихованная область) – в ранее наработанной зоне массива.

В таблице 1 приведены параметры средних величин метановыделения в очистное и выработанное пространство указанных участков лавы 25-97-1, а также лавы 25-97, отработанной в схожих условиях опережающей наработки.

Таблица 1

Средние параметры метановыделения выемочных участков пласта Поленовский

| Наименование | Лавы 25-97-1 | | Лавы 25-97 |
|--|--------------|------------|------------|
| | участок I | участок II | |
| Метановыделение в очистное пространство $J_{оч}$, м ³ /мин | 10,14 | 8,07 | 7,98 |
| Метановыделение в выработанное пространство $J_{вп}$, м ³ /мин | 35,8 | 53,7 | 55,9 |

Полученные результаты свидетельствуют о том, что опережающая наработка сближенного пласта Болдыревский и связанная с ней разгрузка угленосного массива междупластья приводит к существенному различию в характере метановыделения на выемочном

участке. Так, средняя величина метановыделения в очистное пространство $J_{оч}$ при прочих равных условиях (суточной производительности, объеме воздуха на проветривание) в зоне без опережающей наработки более, чем на 20% превышает соответствующую величину на наработанном участке (см. таблицу), а метановыделение в выработанное пространство $J_{вп}$ – наоборот, выше на 50%.

На рис. 2 показан график изменения метановыделения в очистное пространство $J_{оч}$ до и после пересечения лавой 25-97-1 пласта Поленовский вертикального створа границы выработанного пространства лавы 24-57-1 пласта Болдыревский. Из графика следует, что небольшой рост метановыделения в очистное пространство $J_{оч}$ в ненаработанном массиве после входа очистного забоя в зону предварительной наработки сменился на существенное снижение, которое при отходе лавы на 300 м достигло 27-33%. Основная причина этого – частичная дегазация пласта в зоне разгрузки углепородного массива в результате опережающей наработки пластом Болдыревский [3].

Как следует из графика (рис.3), отработка пласта ведет к резкому росту метановыделения в выработанное пространство по мере увеличения его объема до тех пор, пока очистной забой не входит в зону наработанного углепородного массива. Сразу после пересечения створа при $L = 0$ м метановыделение начинает снижаться, хотя, как упоминалось ранее, средняя его величина остается выше, чем в наработанном массиве. Основная причина – более интенсивная газоотдача углепородного массива в результате его разгрузки от горного давления опережающей наработкой, раскрытия природных (тектонических, кливажных) трещин и образования новых (эксплуатационных) трещин, резко увеличивающих проницаемость массива [3].

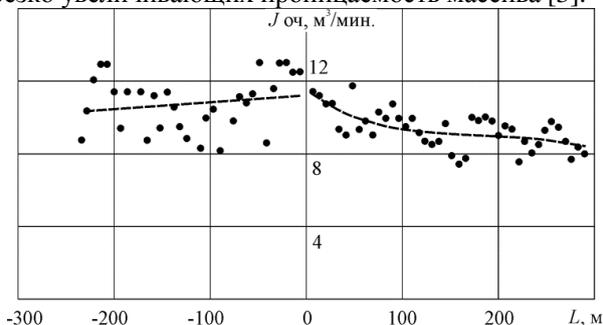


Рис. 2. График изменения метановыделения в очистное пространство лавы 25-97-1 при переходе очистного забоя в наработанный участок массива

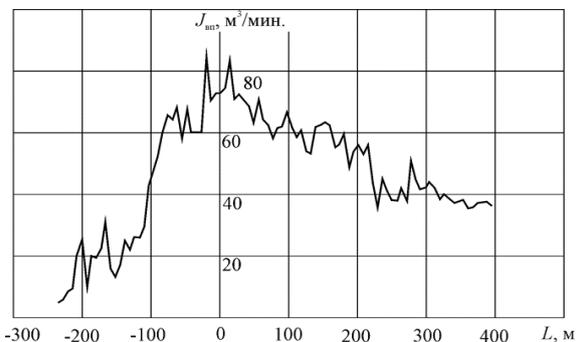


Рис.3. График изменения метановыделения в выработанное пространство лавы 25-97-1 при переходе очистного забоя в надроботанный участок массива

Таким образом, по данным шахтных наблюдений выявлены характерные изменения параметров метановыделения на выемочный участок при переходе очистного забоя в ранее надроботанный участок массива. Установлено, что в зоне опережающей надроботки сблизенным пластом Болдыревский метановыделение в очистной забой пласта Поленовский ниже на 20%, а метановыделение в выработанное пространство – выше на 50%, чем на ненадроботанном участке.

Список литературы

1. Ютяев Е.П. Проблемы совершенствования технологии пластовой дегазации в условиях интенсивной разработки. // ГИАБ (научно-технический журнал). № 7. – М. 2015. – С. 253-261.
2. Забурдяев В.С., Малинникова О.Н., Трофимов В.А. Метанообильные шахты: добыча угля, газовыделение, метановая опасность. Калуга: Изд-во Манускрипт, 2020. – 334 с.
3. Малышев Ю.Н., Айруни А.Т. Комплексная дегазация угольных шахт. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1999. – 327 с.

УДК 622.847

ФОРМИРОВАНИЕ ПУСТОТНОСТИ ПОДРАБОТАННОГО МАССИВА В УСЛОВИЯХ КРУТОГО ПАДЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Дрибан В.А., Дуброва Н.А., Шевченко Е.Н.

ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк

В работах [1-4] рассмотрены механизмы формирования пустотности подработанного массива в различных горно-геологических

условиях. Разработан и реализован новый интегральный подход к оценке пустотности массива путем сравнения объема вынимаемого полезного ископаемого и объема мульды сдвигения на земной поверхности. Для условий пологого залегания горных пород установлены типовые закономерности распределений коэффициента пустотности. Для условий крутого падения горных пород выявлена линейная закономерность в характере распределения значений k_n для выработанного пространства больших размеров по простиранию в зависимости от глубины разработки (рисунок 1).

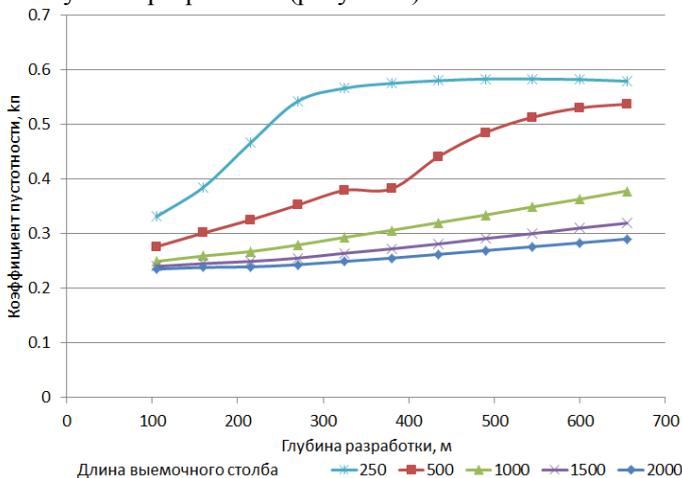


Рис. 1. Графики изменения k_n от средней глубины разработки

При выполнении имитационного моделирования в условиях крутого падения геометрия выработанного пространства по падению изменялась с учетом специфики ведения горных работ, а именно погоризонтной отработки и, соответственно, пошаговым увеличением средней глубины ведения горных работ. При этом в анализ включался не только текущий обрабатываемый горизонт, а и вышележащая ранее подработанная область массива, то есть, при средней глубине ведения горных работ 655 м, вентиляционный штрек находится на глубине 50 м, а откаточный на глубине 1210 м «объединенной лавы». Таким образом, получены оценочные значения являются интегральными для областей массива больших размеров и охватывают всю глубину ведения горных работ.

Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии глубины ведения горных работ на формирование пустотности и позволили выявить закономерности в характере распределения

значений k_n . Подчеркнем, что полученные зависимости распределения k_n носят интегральный характер и характеризуют механизм формирования пустотности в подработанном массиве в целом. При этом полученные интегральные зависимости изменения пустотности от глубины разработки могут быть использованы в качестве оценочных, как самостоятельно, при составлении гидропрогнозов регионального масштаба для шахт или групп шахт, так и служить базой для определения интервальных значений k_n для различных диапазонов глубин, что может значительно изменить временную картину и масштабы затопления выработанного пространства.

Актуальность задачи определения текущих значений k_n для локальных интервалов глубин связана с реализацией программы реструктуризации угольной промышленности Донецкой Народной Республики, когда получение значений коэффициента пустотности является определяющим при расчете времени и скорости затопления, что, в свою очередь, лежит в основе составления достоверного гидрогеологического прогноза. Получение текущих значений k_n для различных интервалов глубин позволит повысить точность прогноза как в части оценки времени "включения" гидравлических связей на различных горизонтах, так и определения сроков затопления локальных диапазонов массива в целом. Особенно важно знать достоверные значения текущей пустотности в случаях составления алгоритма очередности затопления для групп шахт со множественными гидросвязями, когда счет ведется в пределах диапазонов, ограниченных действующими гидравлическими связями с разными исходными водопритоками и наличием значительного перепада абсолютных отметок затапливаемых горизонтов. При этом практика составления гидрогеологических прогнозов показывает, что даже в случае определения значений k_n на основании экспериментальных данных об изменении уровней затопления и объемов выработанного пространства для выбранного интервала глубин, полученные значения не могут быть использованы для затапливаемого массива по всей глубине и зачастую не соответствуют полученным фактическим значениям. Проблема усложняется тем обстоятельством, что параллельно с изменением k_n , изменяется величина водопритоков. Поэтому на данном этапе использование полученной интегральной зависимости изменения пустотности от глубины разработки в качестве базовой для определения k_n на различных интервалах глубин, является

первоочередной для повышения точности составления гидрогеомеханических прогнозов.

Итак, для определения расчетных значений коэффициента пустотности использовалось соотношение (1):

$$k_{II} = 1 - V^{-1} \iint_{\Omega} \eta(x, y) dx dy, \quad (1)$$

где $\eta(x, y)$ – оседания земной поверхности;

Ω - область мульды сдвижения;

V – объем выработанного пространства.

Рассматривая коэффициент текущей пустотности, как функцию геометрических параметров очистных выработок, опуская математические преобразования, получим следующее выражение:

$$k_{II}(H, D_1, D_2) = f(H, D_1, D_2) + Hf'(H, D_1, D_2), \quad (2)$$

где $f(x)$ функция интегральной пустотности, определяемая соотношением (1),

D_1, D_2 – размеры выработанного пространства, м,

H – текущая глубина, м.

На основе сформулированного интегрального подхода к оценке пустотности подработанного массива установлены текущие значения коэффициента пустотности для различных интервалов глубин. Полученные результаты позволят перейти от оценочных значений пустотности массива в целом, к решению широкого ряда гидрогеомеханических задач и значительно повысят точность составления гидрогеологических прогнозов при ликвидации угледобывающих предприятий Донбасса.

Список литературы

1. Дрибан В.А. Новый подход к оценке пустотности подработанного массива при решении задач гидрогеомеханического прогноза / В.А. Дрибан, Е.Н. Шевченко, Н.А. Дуброва, А.М. Василевский // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – М: ИПКОН РАН, 2019. – с. 10-13.

2. Дрибан В.А. Оценка пустотности подработанного массива горных пород / В.А. Дрибан В.А., Н.А. Дуброва // ТРУДЫ РАНИМИ: сб. научн. трудов. – Донецк, 2019. - №7 (22). – С. 170-177.

3. Дрибан В.А. Особенности формирования пустотности подработанного массива горных пород в различных горно-геологических условиях / В.А. Дрибан В.А., Н.А. Дуброва // ТРУДЫ РАНИМИ: сб. научн. трудов. – Донецк, 2019. - № (23) (часть 1). – С. 339-351.

4. Дрибан В.А. О динамике процесса затопления подработанных массивов / В.А. Дрибан В.А., Е.Н. Шевченко, Н.А. Дуброва // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Материалы 4 Международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого. – М: ИПКОН РАН, 2020. – С. 138-141.

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕЖБЛОКОВЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ НАРУШЕННОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В МЕТОДЕ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Дмитриев С.В., Семенова И.Э.

ГоИ КНЦ РАН, г. Анапты

При ведении горных работ как открытым, так и подземным способом, негативным фактором является тенденция усложнения горнотехнических и горно-геологических условий. Интенсивность горных работ, воздействие тектонических напряжений, а также наличие разного рода и масштаба разломных структур требуют заблаговременного учета и анализа напряженно-деформированного состояния массива горных пород при геомеханическом обосновании проектирования горных работ.

Большинство инженерных проблем связано с процессами, происходящими на контактах и при взаимодействии различных материалов на границах сред. Поведение трещиноватого массива горных пород зависит не только от типа и величины прикладываемых нагрузок, но и от механических характеристик трещин - нормальной и тангенциальной жесткости. Данные параметры определяются лабораторными испытаниями образцов на сдвиг и характеризуют отношение прикладываемой нагрузки к деформациям по контакту нарушения [1].

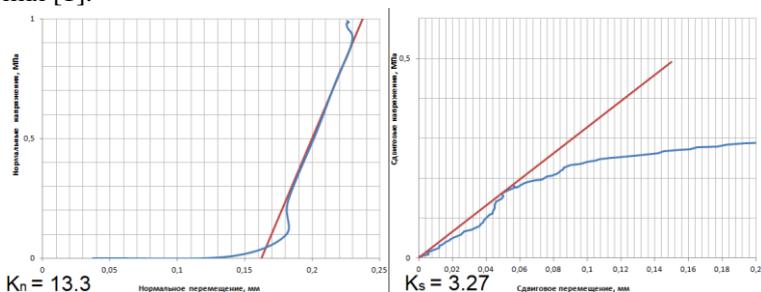


Рис 1. Результаты лабораторных испытаний образца урнита с трещиной

Сдвиг по структурным неоднородностям в нарушенном массиве представляет собой относительные смещения разномодульных блоков друг относительно друга. В рамках конечно-элементного моделирования НДС с учетом геологических структур возможно применение специальных контактных элементов, позволяющих задавать прочностные параметры интерфейса между отдельными блоками. Внедрение контактного элемента в модель нарушенного неоднородностями массива горных пород позволяет оценить сдвиговый характер моделируемой структурной неоднородности по оценке значений узловых перемещений.

При реализации трехмерной модификации контактного элемента, выявлены его особенности и ограничения по внедрению в конечно-элементные модели месторождений и участков массива горных пород, предложены пути их решения. В результате проведенных исследований обоснован подход, позволяющий интегрировать контактные элементы на границах неоднородностей с сохранением структурированной регулярной сетки конечных элементов. Предложен алгоритм выведения матрицы жесткости фиктивного «нулевого» элемента и проведен ряд численных экспериментов, подтверждающих допустимость использования данного подхода. Реализованный фиктивный «нулевой» элемент обеспечивает физическую непрерывность участка массива на границе контактных элементов и может быть использован в дальнейших численных исследованиях как инструмент учета трансформации поля напряжений и деформаций в окрестности геологических и техногенных нарушений массива горных пород.

На основе проведенных численных экспериментов проведена оценка параметров нормальной и тангенциальной жесткости в широком диапазоне и их взаимное влияние на распределение напряжений в окрестности структурных неоднородностей. Исходя из анализа графиков и табличных значений, были выбраны две серии численных экспериментов дающих наиболее контрастные картины полей напряжений. С более низкими величинами нормальной и тангенциальной жесткостями, деформации по контакту структуры увеличились, что привело к более существенному изменению полей напряжений в окрестности разлома (Рис. 2).

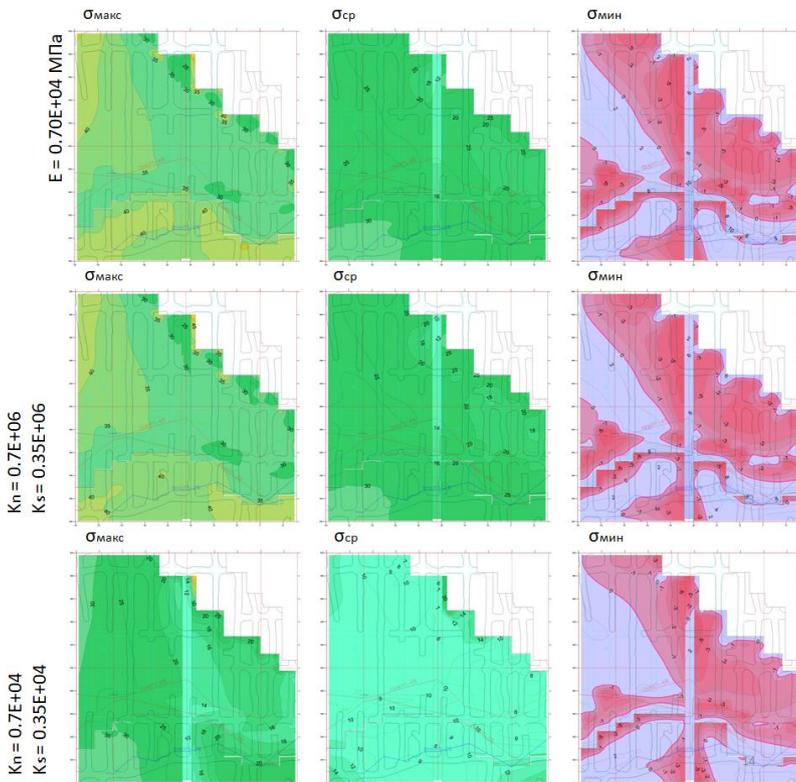


Рис 2. Распределение полей компонент главных напряжений модели с различными параметрами жесткости разлома

Анализ результатов расчетов НДС блока в трехмерной постановке, с использованием двенадцати вариантов контактных жесткостей и деформационных характеристик блоков показал:

- В случае, когда заполняющий материал разломной структуры близок по упругим свойствам к вмещающему массиву, внедрение контактных элементов по её поверхности оказывает большой эффект на поле напряжений в самом массиве.
- При внедрении контактных элементов по поверхности разломной структуры, представленной более ослабленными породами, ранжирование нормальной и тангенциальной жесткости (даже в пределах двух порядков) не оказывает особого эффекта на поле напряжений вмещающего массива.

• Значения компоненты напряжений, вектора которой близки к простиранию самой разломной структуры, при внедрении контактных элементов по её поверхности, подвергаются более существенным изменениям. Данный эффект становится менее заметным, при снижении прочностных характеристик разломной структуры [2].

Также в определенной мере подтверждено соотношение нормальной и тангенциальной жесткости моделируемых структур, которое использовалось в нескольких проанализированных работах [3,4] и было получено по результатам лабораторных испытаний образцов.

Список литературы

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

2. Дмитриев, С.В. Выявление особенностей распределения напряженно-деформированного состояния массива при вариации контактной жесткости разлома / С.В. Дмитриев, И.Э. Семенова // *Горная промышленность*. – 2023. – № S1. – С. 110-115. – DOI 10.30686/1609-9192-2023-S1-110-115. – EDN WIGCTL.

3. Костюченко, В.Н. Деформационные характеристики межблоковых промежутков различного масштаба / В.Н. Костюченко, Г.Г. Кочарян, Д.В. Павлов // *Физическая мезомеханика* - Томск :Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, 2002. - Т. 5. - № 5. - С. 23-42.

4. Юфин С.А. Анализ напряженно-деформированного состояния трещиноватых скальных пород с использованием численных методов / С.А. Юфин., Е.В. Ламонина// *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*- М.: Горная книга, 2008. № 10. С. 268-277.

УДК 622.235

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ЗАМЕДЛЕНИЯ МЕЖДУ СБЛИЖЕННЫМИ СКВАЖИННЫМИ ЗАРЯДАМИ

Ковальчук И.О., Кондрашов А.В.

ГК «Эвобласт», г. Санкт-Петербург

Вопрос выбора замедлений при проектировании схемы монтажа взрывной сети является с одной стороны достаточно изученным, однако на сегодняшний день нет чёткого понимания какое максимально допустимое время замедления следует применять между

сближенными скважинными зарядами для конкретных марок эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) в условиях реального месторождения, горные породы которого имеют свои отличительные свойства. Например, нет прямого ответа на вопросы - можно ли применить замедление 67 мс между скважинными зарядами ЭВВ расположенными на расстоянии 3-3,5 м между ними или оптимальным ли окажется замедление 109 мс между скважинными зарядами ЭВВ на расстоянии 4-5 м между ними? Или, какое минимальное расстояние должно быть между параллельными, парносближенными скважинами, заряженными конкретными ЭВВ, чтобы взрыв одного заряда не оказал никакого негативного влияния на детонационный процесс в соседнем, ближайшем заряде?

С целью уточнения оптимального времени замедления между сближенными скважинными зарядами ЭВВ были проведены замеры скорости детонации ЭВВ в зарядах при проведении массовых взрывов в условиях карьеров Коашвинского и Ньюоркпахкского месторождений.

Измерения скорости детонации ЭВВ в скважинах, в виду отсутствия аналогичного прибора отечественной разработки, проводили, используя австралийский прибор SHOTTRACK VOD 305, технические данные которого приведены в табл. 1. Во время экспериментов использовали один или два прибора данной марки, в том числе при одновременном измерении скорости детонации ЭВВ в разных зарядах.

Таблица 1

Характеристики прибора SHOTTRACK VOD 305

| Наименование характеристики | Параметр, описание |
|------------------------------------|---|
| 1 | 2 |
| Тип прибора | одноканальный рефлектометр кабельных линий |
| Тип кабеля | стандартный коаксиальный кабель |
| Питание | 7,6 В, литий-ионная батарея |
| Время работы, час | 12 |
| Габаритные размеры, см | 18 x 7 x 4 |
| Вес, кг | 0,75 |
| Дисплей | 4 символа, 7 сегментов, светодиодный дисплей с подсветкой |
| Индикаторы | светодиодный индикатор в кнопке вкл/выкл, индикатор заряжения батареи |
| Частота дискретизации, кГц | 256 |

продолжение табл. 1

| | |
|-------------------------|-----------------|
| 1 | 2 |
| Длина триггера, м | 1 |
| Степень защиты оболочки | IP 67 |
| Средства коммуникации | USB и Bluetooth |

Для исследования детонационного процесса в скважинном заряде ЭВВ коаксиальный кабель размещали в одну из сближенных скважин, подключая его к одному из приборов, а при установке коаксиальных кабелей сразу в две сближенные скважины кабели от каждого заряда подключали к своему прибору. Оба прибора работали в автономном режиме.

Качество детонационного процесса в ЭВВ оценивали по характеру кривой графика, который был получен на основе обработанных данных замеров с использованием программного обеспечения ShotTrack VOD Monitor. В качестве основного оценочного критерия было принято подтверждение непрерывности детонационного процесса в зоне колонки скважинного заряда ЭВВ и соответствие фактической длины участка детонации номинальной.

Замеры скорости детонации в скважинных зарядах ЭВВ выполняются начиная с 2016 г. по настоящее время. В качестве ЭВВ используется «Фортис-Эдвантедж-70» по ТУ 7276-001-23308410-2006, основные физико-химические и взрывчатые характеристики которого приведены в табл. 2.

ЭВВ «Фортис-Эдвантедж-70» - взрывчатое вещество 1 класса по условиям применения. Данное ЭВВ предназначено для производства взрывных работ на земной поверхности при отбойке сухих и обводнённых горных пород с коэффициентом крепости по шкале профессора М.М. Протодияконова до 20, методом скважинных зарядов в температурном диапазоне окружающей среды от минус 50°С до плюс 50°С.

Таблица 2.

Технические характеристики ЭВВ «Фортис-Эдвантедж-70»

| Наименование характеристики | Параметр |
|-----------------------------|------------|
| 1 | 2 |
| РАСЧЁТНЫЕ | |
| Кислородный баланс, % | минус 1,22 |
| Теплота взрыва, Ккал/кг | 793 |
| МДж/кг | 3,320 |

продолжение табл.2

| 1 | 2 |
|---|---|
| Объёмная концентрация энергии, ккал/дм ³ | 713-951 |
| Объём газообразных продуктов, л/кг | 1012 |
| Тропиловый эквивалент по теплоте взрыва (к гранулолу при насыпной плотности) | 0,82 |
| ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ | |
| Плотность состава в зависимости от сухой фазы, г/см ³ : - пористая аммиачная селитра - гранулированная аммиачная селитра | 1,07-1,3 1,1-1,25 |
| Скорость детонации, км/с (в пластмассовой трубе диаметром 110 мм) | 5,57 |
| Чувствительность к удару по ГОСТ 4545-88: - нижний предел, мм - частота взрывов, % | 500 0 |
| Чувствительность к трению на копре К-44-III (максимальное давление прижатия): МПа | >400 |
| Чувствительность к нагреву (метод дифференциального термического анализа) | отсутствие разложения до температуры 170°C; интенсивное разложение при температуре 200-220°C |
| Чувствительность к первичным средствам инициирования: - импульс от ЭД-8, 2-х ниток ДШЭ-12 - луч огня от ОШ | не чувствительно не чувствительно |
| Рекомендуемый минимальный инициатор | тротиловая шашка весом не менее 600 г или две тротиловые шашки весом 400 г каждая. Для других боевиков требуются исследования, испытания |

В выполненных замерах диапазон значений скорости детонации составил от 4049 до 6075 м/с. Длина зарядов ЭВВ составила от 6,0 до 20,7 м. Расстояние между сближенными скважинами составило от 1,3 до 4,7 м, при этом время инициирования между сближенными зарядами принималось от 0 до 114 мс. В качестве систем инициирования применялись неэлектрическая система инициирования «Эксэл MS» и электронные системы инициирования «i-кон II» и «ЦЭД KAS1».

Результаты замеров показали, что в некоторых случаях график скорости детонации был прерывистый и фактическая длина замера была значительно меньше номинальной. Данный факт предполагает вероятность, что взрыв одного заряда оказывает негативное влияние на детонационный процесс в соседнем заряде, т.е. сближенном.

На сегодняшний день продолжается сбор и анализ данных по замерам скорости детонации ЭВВ в скважинных зарядах в условиях Коашвинского и Ньюркапхкского карьеров, на основании чего в дальнейшем будут разработаны рекомендации по выбору оптимального времени замедления относительно определенных расстояний между скважинными зарядами.

УДК 622.831.322:63

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ГАЗОНОСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Радченко А.Г.

ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк

В статье рассмотрены особенности изменения напряженного состояния и газоносности в призабойной части угольных пластов при проведении подготовительных и очистных выработок

В работе [1] приведена новая модель проявления внезапных выбросов угля и газа в угольных шахтах. Указанная геомеханогазотермодинамическая модель отличается от модели В. В. Ходота тем, что в ней учитывается влияние геомеханических и технологических процессов на изменение напряженно-деформированного состояния-(НДС) и газокинетического состояния-(ГКС) угольного пласта. Влияние технологических процессов (гидрорыхления, торпедирования и дегазации) на свойства и состояния угольных пластов Донбаса детально рассмотрено в работе [2]. В тоже самое время, в многочисленной литературе недостаточно внимания уделено вопросам влияния геомеханических процессов на изменения НДС и ГКС угольных пластов.

Поэтому **целью настоящей работы** является исследование влияния геомеханических процессов на изменения напряженно – деформированного и газокинетического состояний в призабойной

части угольных пластов в проводимых подготовительных и очистных выработках.

Подготовительные выработки. Шахтные экспериментальные исследования, выполненные в шахтах «Любовская» и «Смородинская» ПО «Новомосковскуголь», показали, что удельное электрическое сопротивление вмещающих угольные пласты пород при проведении подготовительных выработок изменяется волнообразно, квазипериодически (Н.Я. Азаров, 1978 г.).

Шахтные экспериментальные исследования по изменению начальной скорости газовыделения из шпуров - ($g_{нач}$, л/мин, измеряемая по методике ведения текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов) и изменению параметров акустического сигнала - (коэффициента выбросоопасности угольного пласта - K_g , измеряемого с помощью аппаратуры АПСС) были проведены в условиях ш/у «Покровское» в блоке № 10 пласта d_4 . Пласт d_4 .

свиты C_1^4 на площади блока № 10 характеризуется волнистым залеганием. Мощность пласта $m = 1,35-1,69$ м; углы падения $a = 2-6^\circ$; весовой выход летучих веществ $V^{daf} = 30-26\%$; толщина пластического слоя $y = 9-11$ мм; крепость угля $f = 1,1$ ед.; природная газоносность $X_{np} = 8-17,9$ м³ / т.с.б. м.;

глубина разработки $H, м$ составляла от минус 500 м до минус 675 м. Следует отметить, что у Котлинского надвига наблюдается повышенная изменчивость в залегании углепородного массива, где $a = 30-40^\circ$. В блоках № 6 и № 8 пласт d_4 отнесен к опасным по выбросам угля и газа. В блоке № 10 по пласту d_4 измерения проводились в следующих подготовительных выработках: вентиляционный штрек 1-й южной лавы; 3-й, 4-й, 5-й южные конвейерные штреки; вентиляционный ходок 1-й северной лавы. В результате выполненных шахтных измерений было установлено квазипериодическое чередование участков с повышенными и пониженными значениями параметров: а) суммарных значений начальной скорости газовыделения из шпуров - $\Sigma g_{нач}$, л/мин; б) коэффициентов выбросоопасности угольного пласта - K_g , [2, 3].

Очистные выработки. В работе Канлыбаевой Ж. М. [4] приведены результаты выполненных фундаментальных шахтных экспериментальных исследований, в результате которых были установлены при работе лавы факты поднятия над пластом основной кровли впереди зоны опорного давления.

Шахтные экспериментальные исследования, выполненные в условиях шахты им. Героев Космоса ПО «Павлоградуголь», показали, что впереди действующей лавы образуются перемещающиеся зоны разгрузки и пригрузки, кроме того наблюдается чередование зон разрыхленных и уплотненных пород [2]. Согласно данным д.т.н. Гавриленко Ю.Н. (1997 г.) в зонах разрывных геологических нарушений наблюдаются скачкообразные сдвигения горного массива, в результате этого разрабатываемый угольный пласт испытывает динамические пригрузки.

На периодические сдвигения пород кровли при проведении лав указывали исследователи: А.А. Орлов, В.Ю. Сетков, С.Г. Баранов (1976 г.); И.Л. Черняк, В.Е. Зайденварг (1993 г.); И.Л. Черняк, С.А. Ярунин (1995 г.); В открытии № 188 (2008 г., авторы: В.Я. Кириченко, Е.Л. Звягильский, А.В. Левшин и др.) указывается на волнообразное изменение электросопротивления вмещающих пород под влиянием образования перемещающихся зон разгрузки и пригрузки впереди проводимой лавы.

В результате выполненных исследований Полевщиков Г.Я., Козырева Е.Н., Писаренко М.В. (2001 г.) установили волнообразные изменения метанообильности высокопроизводительных выемочных участков, которые обусловлены периодическими сдвигениями пород основной кровли.

Обзор литературы показал, что особенности процесса сдвигения подрабатываемого массива горных пород зависят от ряда следующих параметров:

глубины ведения горных работ- H , м; мощностей, углов падения и крепости угольного пласта и вмещающих пород; степени влажности, трещиноватости и нарушенности угольного пласта и вмещающих пород; структурно-тектонического и структурно-литологического строения углепородного массива, степени метаморфизма углей, степени катагенеза вмещающих пород, характера сдвигения горного массива (плавный, скачкообразный); углов сдвигения горного массива и т. д. Из работы [5] следует, что геомеханические процессы оказывают непосредственное воздействие на прилегающую к лаве призабойную часть угольного массива и влияют на формирование величин зоны отжима, максимума опорного давления и определяют расстояние до максимума опорного давления. Согласно [5], с учетом сводообразования при движении очистного забоя, расчетные значения изменения напряжений и газоносности в угольном пласте имеют волнообразный характер.

В работе [6] указывается, что впереди действующей лавы за счет изгиба труднообрушаемой кровли в призабойной части выбросоопасного угольного пласта образуется зона пониженного горного давления и происходит образование в ней «газового мешка». При вторичных посадках горного массива возникают знакопеременные колебания основной кровли впереди очистного забоя, которые вызывают усиление метаноотдачи угля и рост газового давления в пласте впереди лавы. В призабойной части угольного массива в лавах при работе комбайнов наблюдается рост давления газа, на это явление указывают в своих работах Карагодин Л.Н., Розанцев Е.С., Петросян А.Э. и др.

Шахтные экспериментальные работы были выполнены Н.Е. Волюшиным в условиях угольного пласта h_8 «Прасковиевский» на шахте № 7/8 им. М. И. Калинина, ПО «Донецкуголь», которые зафиксировали скачки давления газа, возникающие в призабойной части лавы при работе комбайна [2].

В результате выполненных шахтных экспериментальных исследований на шахтах Донецко-Макеевского геолого-промышленного района были установлены волнообразные изменения впереди выработок следующих показателей: 1) для лав - $g_{нач}$, л/мин; $X_{пр}$; концентрация гелия в скважинах, He , %;

2) для подготовительных выработок - $g_{нач}$, л/мин; концентрация гелия в скважинах, He , %; температура угля, измеряемая в скважинах $-T_{уг}^{\circ}$ [2].

Выводы. Выполненный обзор литературы, обобщение экспериментальных данных и опыта ведения горных работ в сложных горно-геологических условиях на шахтах Донбасса позволили: 1) установить сложный волнообразный характер изменения напряжений и газоносности пластов в призабойной части проводимых подготовительных и очистных выработок; 2) определить новое перспективное направление шахтных экспериментальных исследований: геомеханическая газотермодинамика газоносных нарушенных угольных пластов. Указанное направление необходимо развивать с целью дальнейшего повышения уровня безопасного ведения горных работ на больших глубинах.

Список литературы

1. Радченко, А.Г. Новые модели формирования выбросоопасных зон в угольных пластах на региональном и текущем уровнях [Текст] / А.Г. Радченко, Н.Н. Киселев, С.М. Федотов, Т.А. Решетняк, А.А. Радченко // Журнал теоретической и прикладной механики. – Донецк, ДонНУ, 2021. – № 3(76). С. 53–68.

2. Минеев, С.П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: [монография], [Текст] / С.П. Минеев, А.А. Рубинский, О.В. Витушко, А.Г. Радченко // Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010. – 603 с.

3. Рубинский, А.А. О выбросоопасности угольных пластов [Текст] / А.А. Рубинский, А.Г. Радченко // Уголь Украины. – 2008. – № 5. – С. 10–14.

4. Канлыбаева, Ж.М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве [Текст] / Ж.М. Канлыбаева. – Изд-во «Наука», Алма-Ата, 1968. – 108 с.

5. Шинкевич, М.В. Метановыделение из отработываемого длинным очистным забоем угольного пласта под влиянием геомеханических процессов во вмещающем массиве [Текст] / М.В. Шинкевич. Автореф. дисс.... канд. техн. наук. Специальность 25.00.20., Ин-т угля и углехимии СО РАН. Кемерово, 2010. – 21 с.

6. Балашова, Т.А. Исследование динамических нагрузок на интенсификацию десорбции метана и выбросоопасность пласта [Текст] / Т.А. Балашова. Автореферат дисс... канд. техн. наук. Специальность 05.15.11. Кузбасский гос. технич. ун-т. – Кемерово, 1998. – 23 с.

ВНУТРЕННИЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ В НИЗКОЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ

Салюков В.С.

НИТУ МИСИС, г. Москва

Научная проблема, на решение которой направлена данная работа, относится к области исследования внутренних механических потерь в горных породах и закономерностей их изменения при циклических деформациях и нагружениях различной длительности, частоты и интенсивности. При механических испытаниях горных пород традиционно исследуются модули упругости, деформаций и сдвига, а также коэффициенты поперечного расширения и Пуассона. Внутренние механические потери оцениваются либо добротностью Q , либо обратной величиной - коэффициентом механических потерь Q^{-1} . В горных породах они проявляют себя при циклических нагрузках, возникающих в результате землетрясений, взрывных работ или воздействий различных машин [1, 2, 3], приводящих к усталостным явлениям и последующему разрушению. Усталостные свойства горных материалов обычно изучаются с помощью циклических испытаний на нагрузку–разгрузку, а развитие деформации и повреждений отражает их характеристики ослабления [4, 5, 6]. Изучение усталостных свойств и механизма разрушения горных пород, которое характеризуется коэффициентом Q^{-1} , имеет решающее значение для прогнозирования долгосрочной устойчивости горных инженерных

сооружений. Данное исследование предусматривает определение потерь в зависимости от частоты механических воздействий. Одной из моделей описания такой зависимости является Рэлеевская модель, которая учитывает две составляющие. Одна из них характеризует рост потерь при увеличении частоты воздействия. Вторая составляющая характеризует их возрастание при уменьшении частоты. Механические потери в горных породах при низкочастотных периодических воздействиях изучены недостаточно.

Целью исследования является выявление закономерностей изменения коэффициента потерь Q^{-1} в низкочастотной области периодических воздействий для различных горных пород.

Решаемые задачи:

- оценка коэффициента потерь в различных горных породах при их циклическом нагружении в низкочастотной области 0,01–1 Гц;
- установление связей коэффициента потерь с частотой циклической нагрузки.

В экспериментах использовались образцы габбро и долерита в форме прямоугольного параллелепипеда размерами 120x40x40 мм. Образцы циклически нагружались при изгибе по трехточечной схеме на прессе в заданном режиме деформирования. Испытания проводились с использованием специально разработанного приспособления для циклических нагружений по рекомендациям ISRM, позволяющего минимизировать трение в опорах, а также измерять прогиб непосредственно на образцах. Нагрузка измерялась тензометрическим динамометром, а прогиб баки – LVDT–преобразователями. Также до и после испытаний измерялась скорость продольных и поперечных волн в образцах. Для планирования экспериментов, а также для интерпретации их результатов проводилось моделирование методом конечных экспериментов в среде COMSOL Multiphysics всего процесса деформирования образца. Механические потери в образце задавались с помощью коэффициентов Рэлеевской модели, которые могут быть выражены через степень демпфирования ξ на частоте f :

$$\xi = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_{дМ}}{2\pi f} + \beta_{дК} 2\pi f \right),$$

где ξ – степень демпфирования на частоте f ; $\alpha_{дМ}$, $\beta_{дК}$ – коэффициенты, характеризующие обратно и прямо пропорциональную зависимости затухания от частоты соответственно. Для данного случая коэффициент $\beta_{дК}$ приравнивается нулю, а затухание в низкочастотной области задавалось коэффициентом $\alpha_{дМ}$. Коэффициент ξ связан в свою очередь с Q^{-1} [7].

Образец нагружался с заданной скоростью до значения 0.2 МПа, после чего происходила циклическая нагрузка в диапазоне от 0.2 МПа до 0.3 МПа (8 циклов), далее образец нагружался до значения 0.4 МПа, после чего происходила циклическая нагрузка в диапазоне от 0.4 МПа до 0.5 МПа (8 циклов). Скорости нагружения образцов составляли: 0.05, 0.075, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1 мм/мин. В результате были получены гистерезисные петли для каждого образца на каждой скорости нагружения.

Коэффициент потерь оценивался через петли гистерезиса [8]. В результате было установлено, что с увеличением частоты циклической нагрузки уменьшается коэффициента потерь.

Список использованных источников

1. Han, J. [и др.]. Damage evolution of granite under ultrasonic vibration with different amplitudes // *Shock and Vibration*. 2022. С. 1–14.

2. Liu, Y., Dai, F. A review of experimental and theoretical research on the deformation and failure behavior of rocks subjected to cyclic loading // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2021. (13). С. 1203–1230.

3. Chunde, M. [и др.]. Research and microscopic analysis of seepage characteristics of sandstone under low-frequency cyclic loading // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. С. 570–584.

4. Zhang, C. [и др.]. The strain characteristics and corresponding model of rock materials under uniaxial cyclic load/unload compression and their deformation and fatigue damage analysis // *Arch Appl Mech*. С. 2481–2496.

5. Scholz, C. & Koczyński, T. Dilatancy anisotropy and the response of rock to large cyclic loads // *Journal of geophysical research*. 1979. С. 5525–5534.

6. Zhou, Z. [и др.]. Permeability Evolution of Fractured Rock Subjected to Cyclic Axial Load Conditions // *Geofluids*. 2020. С. 1–12.

7. Вознесенский А. С.. Моделирование физических процессов горного производства: учебник / А.С. Вознесенский. – Москва : Издательский Дом НИТУ МИСИС, 2023. – 291 с.

8. ГОСТ Р 56801-2015. Пластмассы. Определение механических свойств при динамическом нагружении. Издание официальное – М.; Стандартинформ, 2015. – 19 с.

УДК: 622.235

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРАНУЛИТОВ С УГЛЕРОДНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Франтов А.Е., Мингазов Р.Я., Никитин Г.Б.

ИПКОН РАН, г. Москва

Аннотация. В работе исследована морфология порошков графена и кокса, экспериментально определена чувствительность к уда-

ру модельного состава гранулита с добавками графеновых порошков RG-S и RG-T. На основании сравнения показателей чувствительности к удару гранулитов с добавками углеродных материалов сделано предположение о механизме снижения чувствительности к удару гранулитов при использовании графеновых порошков.

Ключевые слова. Графен, кокс, гранулиты, чувствительность к механическим воздействиям, взрывные работы.

Введение.

Графеновые наноматериалы находят широкое применение в различных отраслях промышленности. В обзорах и трудах конференций [1-3] показаны области применения таких материалов: это космонавтика, энергетика, электроника, медицина, строительство, спорт и другие отрасли. В космонавтике применение графеновых наноматериалов способствует возможности изменения трибологических свойств материалов [4]. При использовании в строительной отрасли, в нефтедобыче и нефтепереработке добавки графеновых частиц модифицируют свойства материалов. В строительстве при изготовлении бетона графен способствует повышению трещиностойкости [5]. Введение в углеводороды способствует самоструктурированию графеновых пластин [6], что оказывает влияние на вязкость, смачиваемость и другие свойства углеводородных материалов. В консистентных смазках графеновые наноматериалы влияют на реологические свойства смазок [7]. В баллистических порохах углеродные материалы могут выступать катализаторами горения [8].

При переработке автомобильных шин способом «флеш»-технологии осуществляется получение графена, который может быть использован в качестве твердой горючей добавки в рецептуре простейших взрывчатых веществ (гранулитов). Настоящая статья направлена на изучение влияния графеновых материалов на взрывчатые свойства - гранулитов.

Экспериментальная часть.

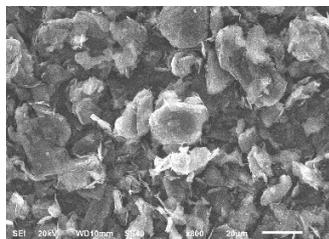
Образцы графена RG-S и RG-T были получены от научно-производственной компании Русграфен. Исследование формы и структуры частиц графена проводилось в «Центре изучения природного вещества при комплексном освоении недр» ИПКОН РАН с использованием сканирующего электронного микроскопа Jeol 6610LV. Подготовленные к исследованию пробы размещались на алюминиевом столике с закреплением на нем двухсторонним скотчем (рис. 1).

Полученные методом электронной микроскопии снимки при разном увеличении представлены на рисунках 2а и 2б.



Рис. 1. Размещение пробы графена на алюминиевом столике

а)



б)

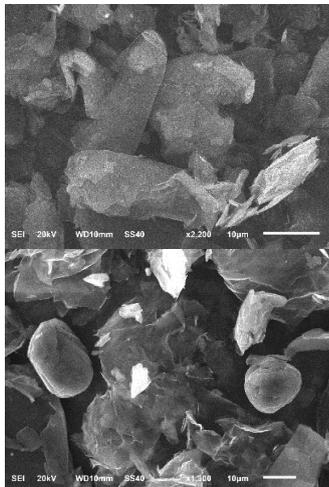
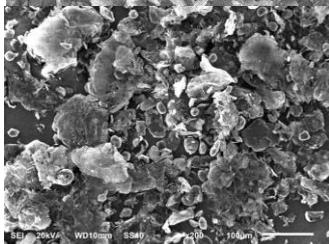


Рис. 2. Образцы микрочастиц графена RG-S (а) и RG-T (б)

При увеличении $\times 800$ (рис. 2а) видно, что графен RG-S состоит из мелкодисперсных частиц неправильной формы, сильно различающиеся по размеру, от довольно крупных частиц до мелких, игловидных. Кристаллы аморфны, мелкокристаллические и хлопьеобразные. Кристаллы различно ориентированы, не имеют четкой структуры. При увеличении $\times 2200$ выделяется мелкодисперсный материал, слоистый различно ориентированный, неправильной формы. Видны хлопьевидные частички, от целых крупных кусков до мелких, игловидных кристаллов. Кристаллы не имеют четкой структуры.

На образце графена RG-T при увеличении $\times 200$ (рис. 2б) выделяется мелкодисперсный материал, от маленьких округлых частиц до крупных кусков неправильной формы. Частицы явно слоисты, поверхность рассечена трещинами. Структура аморфна, не имеют чет-

кой направленности. При увеличении $\times 1300$ явно проявляется слоистый вид. Усиливаются различия по форме, от округлых до чешуйчатых частиц. Структура аморфна, не имеют четкой направленности, кристаллы мелкодисперсные.

Исследования взрывчатых свойств гранулитов с добавками графеновых наноматериалов (испытания на чувствительность к удару) проводились в РХТУ им. Д.И. Менделеева (Соглашение о сотрудничестве № 11.08-С-1.0-3914/2021 от 11.10. 2021 г. между РХТУ им. Д.И. Менделеева и ИПКОН РАН). Модельные составы гранулита имели соотношения компонентов (в массовых частях): кристаллический окислитель (0,95) – жидкий нефтепродукт (0–0,05) – графеновый порошок (0–0,05). Использовались графеновые порошки RG-S и RG-T. Испытания на чувствительность к удару проводились в соответствии с методическими положениями ГОСТ 4545-88 в приборе №1. Испытания включали три серии по 25 ударов в каждой серии. Для всех исследованных составов частота взрывов в приборе №1 с грузом 10 кг составила 0%.

Обсуждение результатов.

Как показывает описание графеновых порошков RG-S и RG-T, образцы различаются по размеру и форме частиц. Сравнение с фотографиями, представленными на сайте [5], показывает некоторые различия. Исследуемый графеновый порошок RG-S отличается формой частиц и кристаллов. Частицы имеют острые контуры, проявляются более четкие черты кристаллов и явная слоистость. При этом, сравниваемые порошки близки по разнице в размерах частиц, схожи по содержанию мелких, игловидных частиц. Исследуемый графеновый порошок RG-T также имеет отличия в форме частиц и кристаллов. В частицах более выражены острые контуры и проявляются признаки слоистости.

В рамках проведенных исследований не установлено влияние различий гранулометрических характеристик и структуры графеновых порошков RG-S и RG-T на чувствительность к механическим воздействиям при их использовании в рецептуре гранулитов в качестве добавки к жидким углеводородам.

Результаты испытаний на чувствительность к удару гранулитов с добавками графеновых порошков уместно сравнить с аналогичными испытаниями при использовании других углеродных материалов. Примером такого материала является кокс, имеющий содержание углерода порядка 95-97%. В работе [9] показано, что для гранулита

с добавками коксовой мелочи при испытаниях на чувствительность к удару в приборе №1 частота взрывов составила 32%.

Для анализа показателей чувствительности к механическим воздействиям гранулитов с разными углеродными добавками были дополнительно исследованы физико-механические свойства образцов коксовой мелочи. Коксовая мелочь была представлена порошковым материалом с гранулами темно-серого цвета. На фотоснимках (рис. 3) показан вид частиц.

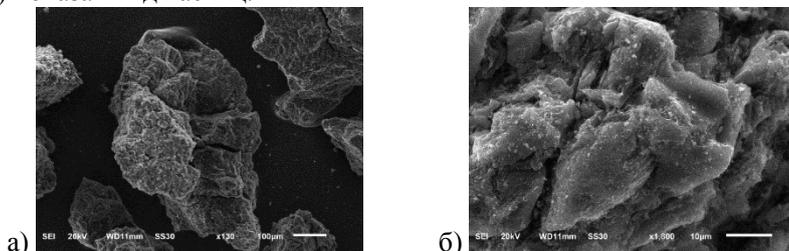


Рис. 3. Фото образцов коксовой мелочи

Как видно при увеличении $\times 130$, образец коксового порошка (рис. 3а) состоит из мелкодисперсных частиц, округлых форм, сильно различающихся по размеру. Наблюдаются вкрапления мельчайших частичек кокса. Крупные частицы трещиноваты, не слоисты, аморфны. В кусках отмечаются крупные трещины, поверхность содержит большое количество бугристых частиц. Не имеет четкой структуры. Частицы отличаются отсутствием острых граней и значительным скруглением. Увеличение $\times 1800$ позволяет подтвердить, что кристаллы (рис. 3б) аморфны и не имеют четкой структуры. Заметны мелкие частицы неопределенной формы. Наблюдаются крупные трещины. Заметна слоистость, не имеющая четкой направленности.

Гранулометрический состав порошкового образца (коксовой мелочи) имел содержание по фракциям: $-2,5+1,0 - 8,5\%$; $-1,0+0,5 - 52,3\%$; $-0,5+0,063 - 39\%$; $-0,063 - 0,2\%$. Порошок был представлен частицами различных геометрических форм: прямоугольник, трапеция, треугольник. Коэффициенты анизодиаметричности (d_{\max}/d_{\min}) частиц порошкового материала составлял 1,4-3,5.

Таким образом, для материалов одинаковой химической природы (углеродный материал) - графенового порошка и коксовой мелочи показано различие в форме, размерах частиц и других показателях порошкового материала. На наш взгляд, имеющиеся различия физико-механических характеристик исследованных материалов (графеновых

порошков и коксовой мелочи), как компонентов рецептурного состава гранулита, оказывают влияние на взрывчатые свойства и чувствительность к удару.

Выводы.

На основании анализа опубликованных работ и проведенных нами исследований графеновых порошков и коксовой мелочи, можно предположить, что механизмом изменения чувствительности гранулита к механическим воздействиям (чувствительности к удару) является созданием защитного слоя по контактной поверхности кристаллического окислителя при использовании графенового порошка, приводящее к снижению коэффициента трения.

Полученное описание графеновых порошков RG-S и RG-T очерчивает некоторые различия характеристик порошков (форма и размер частиц, слоистость, структура) по сравнению с материалами, представленными на сайте Русграфен [5].

Научная новизна исследований позволяет использовать полученные результаты в формировании прогнозной концепции для решения различных горнотехнических задач с взрывными процессами [10] для увеличения эффективности смесей аммиачной селитры с горючими углеродными добавками.

Благодарность.

Авторы выражают благодарность к.г.-м.н. Е.В. Копорулиной и сотрудникам Кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» за помощь в проведении инструментальных исследований.

Список литературы

1. 60 применений графена. [Электронный ресурс] // URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/t/TYURIN/st/Tab/60%20применений%20графен а.pdf> (дата обращения: 24.05.2023).
2. Графен и родственные структуры: синтез, производство и применение. [Электронный ресурс]: материалы III Международной научно-практической конференции: 13-15 ноября 2019. Под общей редакцией оргкомитета. – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2019. – 280 с.
3. Графен и родственные структуры: синтез, производство и применение. [Электронный ресурс]: материалы IV Международной научно-практической конференции / под общ. ред. Оргкомитета. ФГБОУ ВО «ТГТУ», 6–8 октября 2021 г. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021.

4. Стародубов А.Г. Космонавтика, трибология и новые материалы: фуллерены и интеркаляты, (перспективы использования). Известия Самарского научного центра Российской академии наук, Т. 13, №4(3), 2011.

5. РУСГРАФЕН - научно-производственная компания [электронный ресурс] <https://www.rusgraphene.ru/> (дата обращения: 24.05.2023).

6. Шабиев Ф.К., Пахаруков Ю.В., Сафаргалиев Р.Ф., Ездин Б.С., Васильев С.А. Снижение вязкости нефти с добавлением графеновых нанопластинок. Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2022. – Т. 8. – № 3 (31). – С. 106-125.

7. Шилов М.А., Столбов Д.Н., Савилов С.В., Смирнова А.И., Усольцева Н.В. Влияние структуры и концентрации малослойных графеновых фрагментов на реологические свойства дисперсий с пластичными смазочными материалами. Сб. ст.: Графен и родственные структуры: синтез, производство и применение [Электронный ресурс]: материалы IV Международной научно-практической конференции / под общ. ред. оргкомитета; ФГБОУ ВО «ТГТУ», 6–8 октября 2021 г. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – С. 39-43.

8. Сидорова П.Г. Влияние модифицированных углеродных наноматериалов на катализ горения среднекалорийного баллиститного топлива / Сидорова П.Г., Сизов В.А., Денисюк А.П. // Успехи в химии и химической технологии. 2021. – Том 35. – №10. – С. 47-49.

9. Акинин Н.И., Васин А.Я., Дубовик А.В., Аносова Е.Б., Гаджиев Г.Р., Шушпанов А.Н., Викторов С.Д., Франтов А.Е. Чувствительность к механическому и тепловым воздействиям смесей аммиачной селитры с горючими углеводородными компонентами. – Кокс и химия, 2018. – № 10. С. 40-44.

10. Закалинский В.М., Шиповский И.Е., Мингазов Р.Я. Предпосылки концепции прогнозного подхода при решении горнотехнических задач в процессах с действием взрыва. Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук, 2022. – Том 9. – № 1. – С. 19-26. DOI:10.15372/FPVGN2022090103.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СДВИЖЕНИЕМ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Кулибаба С.Б., Силевич А.С.

ИПКОН РАН, г. Москва

Инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности при подземной разработке угольных месторождения являются одним из основных источников информации о геомеханических

процессах, протекающих в подрабатываемом горном массиве. Однако традиционные методы измерения его параметров по тем или иным причинам не всегда применимы на практике. Например, отсутствие возможности закладки опорных реперов наблюдательных станций на неподрабатываемой территории может существенно повлиять на точность полученных результатов полевых измерений. Кроме того, маркшейдерские измерения в условиях труднодоступных территорий либо вообще невозможны, либо их результаты отягощены большими погрешностями.

Фотограмметрический метод, позволяющий избежать указанных недостатков, основан на использовании серии изображений для извлечения геометрической информации об объектах земной поверхности. Применение геометрических принципов и алгоритмов позволяет сформировать высоко детализированное изображение земной поверхности и цифровую модель рельефа. Доступность в настоящее время БПЛА, а также развитие методов дистанционного зондирования существенно расширяют возможности и сферы применения аэрофотосъемки. Исследования, проводимые в данной области [0,0], показывают, что этот метод успешно применяется для наблюдения за сдвижением земной поверхности при открытых разработках месторождений.

Оценим применимость фотограмметрического метода для наблюдений за оседаниями земной поверхности при подземной разработке угольных месторождений. Для этого сравним результаты измерений оседаний, полученных с помощью данного метода, с прогнозными величинами в условиях АО «СУЭК-Кузбасс».

Для выполнения исследования нами было проанализировано несколько программных продуктов, и выбран наиболее удобный – QGIS, который распространяется бесплатно и имеет большое количество различных дополнительных модулей. В результате фотограмметрической обработки был сформирован комплект материалов: ортофотоплан (визуальное ортотрансформированное изображение территории) и цифровая модель местности в виде растрового изображения. Для оценки мульды сдвижения были обработаны временные ряды за период 2019-2022 гг. Аэрофотосъемка проводилась два раза в год – весной (апрель-май) и осенью (октябрь). Величины оседаний земной поверхности вычислялись путем определения разности между соответствующими высотными отметками

рельефа местности в каждой из экспериментальных точек на разные даты измерений.

На рис. 1 показан участок плана горных работ лавы 2460 по пласту Болдыревский шахты им. С. М. Кирова, а на рис. 2 – графики оседаний земной поверхности по одному из шести экспериментальных профилей – профилю IV, за период с апреля 2019 г. по апрель 2020 г.

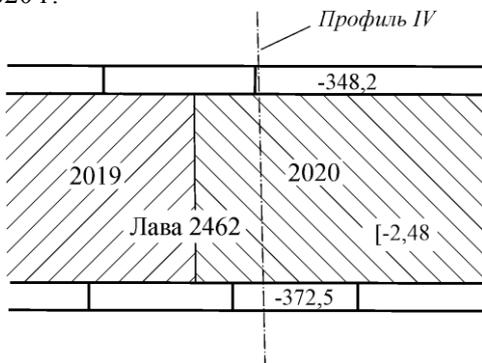
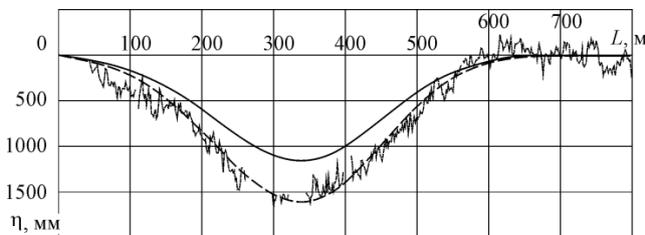


Рис. 1. План горных работ пласта Болдыревский



- - измеренные
- - прогнозируемые
- - скорректированный прогноз

Рис. 2. Графики оседания земной поверхности по профилю IV

Из сравнения графиков прогнозируемых оседаний, рассчитаным по методике [0], с измеренными величинами можно видеть, что несмотря на то, что значение последних в 1,35-1,40 раза выше, форма мульды сдвижения сохраняется. Ранее нами уже публиковались результаты исследований [0, 0], где такой же эффект в подобных условиях уже фиксировался. Причиной ошибки второго рода, которую мы здесь наблюдаем, является несоответствие методики прогноза [0] современным условиям разработки угольных пластов.

С целью оценки соответствия измеренных оседаний скорректированным прогнозным, введем коэффициент в ожидаемые оседания, равный 1,4. Кривая, полученная таким образом, также показана на графике (см. рис. 2). Очевидно, что она более точно и правдоподобно описывает распределение измеренных оседаний, даже несмотря на довольно большой их разброс (шум) относительно скорректированных прогнозных.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно заключить следующее. Фотограмметрический метод вполне применим для наблюдений за сдвижением подрабатываемой земной поверхности. Несомненным его преимуществом по сравнению с традиционным методом инструментальных наблюдений является возможность его применения на территориях, где закладка профильных линий реперов типовых и специальных наблюдательных станций, а также маркшейдерские измерения на них, затруднены (сложный мезорельеф, заболоченный участки местности и т. п.). В то же время, данный метод нуждается в некоторой корректировке и усовершенствовании с целью повышения точности определения параметров процесса сдвижения земной поверхности.

Литература

1. Зуев Н.А., Кобзев А.А. Использование беспилотных авиационных систем при проведении маркшейдерских работ на разработках открытого типа // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2018. – № 1.
2. Шоломицкий А.А., Ахмедов Б.Н., Медведская Т.М. // Исследование точности построения моделей по алгоритму sift для большепролетных сооружений // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2021. – № 3.
3. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – С.-Петербург, ВНИМИ, 1998. – 291 с.
4. Кулибаба, С.Б. О необходимости переработки правил охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния горных разработок / С.Б. Кулибаба, Е.В. Федоров // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 7. – С. 13-18. – DOI 10.24000/0409-2961-2021-7-13-18. – EDN RWWVVC.
5. Kulibaba, S. Influence of the mining depth factor on accuracy of the forecast of the earth's surface subsidence in Kuzbass / S. Kulibaba, N. Miletenko // E3S Web of Conferences : 8, Khabarovsk, 08–10 сентября 2020 года. – Khabarovsk, 2020. – P. 04009. – DOI 10.1051/e3sconf/202019204009. – EDN QLYTPC.

ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДОНБАССА

Антипенко А.В.

ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк

Интенсивная добыча угля на территории Донбасса, имеет целый спектр негативных последствий, с которыми регион будет сталкиваться на протяжении еще не одного десятилетия. Таковой, к примеру, является проблема горных выработок, имеющих выход на земную поверхность. С 20-х гг. XVIII века на территории Донбасса в общей сложности работало свыше 2,5 тысяч шахт, преимущественно на глубинах до 200 м [1]. За это время с земной поверхности были пройдены тысячи горных выработок. При этом, посчитать даже примерное количество таких выработок не представляется возможным, во многом из-за того, что значительная часть горнографической документации по старым горным работам была безвозвратно утеряна. На данный момент, по имеющейся документации, а также в результате обследований горных отводов шахт (в том числе и ликвидированных) и опросов местных жителей, на территории Донбасса достоверно установлено местонахождение свыше 13 тысяч горных выработок, имеющих выход на земную поверхность.

Старые горные выработки, имеющие выход на земную поверхность и горные работы на малых глубинах, могут представлять опасность для земной поверхности даже спустя десятилетия после окончания горных работ. Во-первых, в ликвидированных горных выработках имеют место случаи длительной усадки закладочного материала, вплоть до 40% от первоначальной высоты в течение 40-50 лет [2]. Это приводит к образованию пустот в массиве, а в дальнейшем может повлечь за собой обрушение свода пустоты с последующим повреждением земной поверхности. Немаловажную роль играет и качество выполнения ликвидационных работ. Так, в результате незаконного вскрытия наклонного ствола шахты «Игнатьевская» и последующей некачественной ликвидации в 2008 г., спустя 10 лет произошел провал почвы на территории частного домовладения (см. рис. 1). Во-вторых, в связи с нарушением гидродинамического режима подземных вод, вызванного затоплением угольных предприятий, оказавшихся нерентабельными или пострадавших от боевых действий, вновь активизировались процессы

сдвижения в массиве горных пород. Это привело к самоликвидации пустот и старых горных выработок с последующим повреждением земной поверхности, вплоть до образования провалов [3].

Поскольку многие населенные пункты Донбасса образовывались вокруг угледобывающих предприятий, то их территории в значительной степени подработаны, а зачастую подработаны многократно и на различных глубинах. Поэтому, от правильной оценки вероятности и времени возникновения провала зависит своевременность принятия мер по минимизации вреда наносимому зданиям, сооружениям и другим объектам земной поверхности.



Рис. 1. Провал почвы над наклонным стволом шахты «Игнатьевская»

В условиях нехватки достоверной информации о горно-геологических и горно-технических условиях в которых находятся горные выработки, наиболее рациональным представляется использование методов искусственного интеллекта для прогноза рисков повреждения земной поверхности.

Для этого, на первом этапе создания системы прогноза была сформирована база данных горно-геологических и горно-технических условий, при которых происходили повреждения земной поверхности. В этой базе данных собраны основные факторы, по которым и будет осуществляться прогноз. К таковым, например относятся: год ликвидации горной выработки, ее размеры, глубина и угол наклона. Также, учтены вид, время образования и параметры повреждений земной поверхности (рисунок 2).

Так, на полях 42 шахт четырех угленосных районов было обнаружено свыше 200 случаев повреждения земной поверхности, произошедших преимущественно за последние 15 лет.

| Наименование выработки | Информация о выработке | | | | Повреждение земной поверхности | | | |
|---|------------------------|-----------|---------|------|--------------------------------|-----------|---------|------------------|
| | год/ливид. | параметры | глубина | угол | дата обса. | размеры | глубина | информация |
| Шахта им Ю. А. Гагарина (г. Горловка) | | | | | | | | |
| Наклонный ствол № 3 "бис" ш I _с | 1993 | 2,6x2,4 м | 533 м | 63 | 26.03.2019 г. | 2,1x1,3 м | 1,1 м | Проседание почвы |
| Стол № 19 (шахты № 19-20) | 1993 | 3,9x2,9 м | 441 м | 90 | 26.03.2019 г. | 1,8x1,6 м | 0,8 м | Проседание почвы |
| Стол № 20 (шахты № 19-20) | 1993 | 3,4x2,5 м | 441 м | 90 | 26.03.2019 г. | 1,5x1,4 м | 1,2 м | Проседание почвы |
| Шурф пласта I ₁ * (работы шахты "София") | 1938 | 2,4x2,2 м | 40 м | 63 | 26.03.2019 г. | 2,4x3,6 м | 8,0 м | Провал почвы |

Рис. 2. Фрагмент таблицы по шахте им. Ю.А. Гагарина из базы данных горно-технических и горно-геологических условий повреждения земной поверхности

Полученные данные в дальнейшем будут использованы для формирования системы прогноза рисков повреждения земной поверхности. Данные предполагается группировать по степени их точности и достоверности, после чего наиболее достоверные данные будут использованы для «тренировки» системы, а данные с меньшей степенью достоверности будут служить для проверки системы.

Список литературы

1. Мониторинг вертикальных горных выработок, имеющих выход на земную поверхность, при реструктуризации горных предприятий / В.А.Дрибан, Б.В. Хохлов // Материалы 3-й Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса» Том 1. «Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве». – Донецк, 2017. – С. 41-46.
2. Переоценка влияния факторов на процесс активизации провалообразования / А.Н. Феофанов // Наукові праці УкрНДМІ НАН України Випуск 5 (частина I). – Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2009. – С. 18-33.
3. Славиковская Ю.О. Техногенные пустоты недр как фактор негативного воздействия на окружающую среду при разработке месторождений твердых полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2. – С. 33-44.

УДК 622.831

ГАЗОНОСНОСТЬ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Харченко А.В.

ИПКОН РАН, г. Москва

Проблема обеспечения безопасного ведения добычных работ по газовому фактору возникает при разработке как рудных, так и

нерудных месторождений. Вопросами газовой выделения занимаются многие ученые [1-2]

Для прогноза газоносности при разработке рудных месторождений необходимо учитывать большое количество различных факторов, обуславливающих распределение газов и их проявления в рудниках.

В России значительные выделения горючих газов имеют место в апатитовых (Хибины), алмазных (Якутия) рудниках, а также рудниках цветных металлов Норильска, Северного Кавказа (Уруп и др.), Магадана, и других. За рубежом такие газопроявления отмечаются в золотых (Казахстан, ЮАР), серных и урановых (Узбекистан), полиметаллических рудниках (Канады) и др. Поступления углекислого газа в горные выработки наблюдаются в некоторых рудниках Забайкалья (Балей, Тасеевский), железорудных Кривого Рога и Румынии (месторождение Харфита) [3].

Природные газы в горных выработках, могут выделяться как непосредственно из полезного ископаемого, так и из трещин и полостей во вмещающих породах. В горных выработках, согласно [4] возможны четыре вида газовой выделения: 1) из полезного ископаемого (имеет важное значение для угольных шахт), 2) слабый фильтрационный ток со стенок выработок, 3) свободные выделения суфлярного типа и 4) быстрый процесс дегазации разрушенной взрывом породы. Последние три вида являются основными для рудников.

Также различен состав газа. Для угольных месторождений основу газовой выделения составляет метан, в небольших количествах может содержаться азот и углекислый газ. В ряде случаев отмечают водород, тяжелые газообразные углеводороды и сероводород.

Отличительной чертой газов каменных солей, особенно пластов карналлита и сильвинита, является иногда наличие повышенных количеств водорода и азота. В состав газов входят: азот (47,6-74,4%), метан (12,1-43,4%), тяжелые углеводороды (0,183-14,6%), водород (8,7%), углекислый газ (0,077%), кислород (0,6%), тяжелые инертные газы (0,078-0,218%) и легкие инертные газы (0,001-0,009%).

Газы метаморфических пород характеризуются весьма разнообразным составом, который обусловлен как величиной температурного воздействия, так и вещественным составом вмещающих пород. В составе природных газов метаморфических пород преобладают азот и углекислый газ, содержание которых в ряде случаев достигает 95-99%. Большие количества углекислого газа характерны для метаморфизованных карбонатных пород. В газах метаморфизован-

ных эффузивов обычно преобладает азот. В газах метаморфизованных осадочных пород, содержащих органическое вещество, кроме азота и углекислого газа присутствуют метан (до 40%), тяжелые углеводородные газы (до 10%) и водород. Максимальные количества последнего (в отдельных случаях до 50–60%) отмечаются вблизи контактов осадочных пород с интрузивными телами. Небольшое количество водорода (первые единицы процента, редко большие) содержится в метаморфизованных эффузивных породах, гнейсах и кварцитах. Для всех метаморфических пород характерно наличие небольшого количества сероводорода. В отдельных случаях в газах метаморфических пород была установлена окись углерода. В виде примеси в них присутствуют редкие газы.

Вулканические газы представляют собой пары воды, составляющие более 90% общего количества газообразных продуктов, углекислый газ, азот, окись углерода, водород, сероводород, окислы серы, галоиды и их водородные соединения, аммиак, хлористый аммоний, борная и мышьяковистая кислоты, хлориды, фториды и сульфиды металлов. Иногда в вулканических газах содержится небольшое количество углеводородов (в основном метана), в виде примесей установлены редкие газы. Углекислый газ является основным компонентом газов на всех стадиях вулканической деятельности. Водород более характерен для высокотемпературных вулканических газов, где его содержание иногда достигает 40% (Ключевская сопка). Содержание сероводорода доходит до 20%. Сернистый газ встречается почти в таких же концентрациях, но характерен для более высокотемпературных газов. Распространение метана в вулканических газах весьма неравномерное, а в ряде случаев он вообще отсутствует. Содержание его чаще всего не превышает 1,0%.

Образование месторождений полезных ископаемых – это сложные и разнообразные геологические процессы, при которых происходит формирование и миграция газов.

Обобщение данных по изучению газового фактора позволили установить закономерности приуроченности, состава, характера и интенсивности выделений природных газов при их освоении [5]:

- газопроявления на месторождениях и в рудниках происходят не повсеместно, а лишь в пределах локальных участков или горизонтов, содержащих газы или газированные жидкости, и отмечаются, как правило, при работах первой очереди: бурение скважин, шпуров, проходка выработок;

- состав выделяющихся газов определяется типом коллектора: на газонефтеносных и угленосных рудных месторождениях они представлены углеводородами с преобладанием метана и примесями азота и водорода; в начальный период газопроявлений содержание водорода бывает высоким;

- при бурении разведочных и опережающих скважин на рудогазонефтеводоносных месторождениях (особенно на территории распространения покровной толщи многолетнемерзлых пород) происходят фонтанные флюидопроявления при вскрытии коллекторов с начальным дебитом взрывоопасных газов до 100 тыс. м³/сут и высоким содержанием H₂;

- в рудниках наблюдаются практически все возможные формы газовыделений: быстрая дегазация разрушенных при отбойке горной массы и гидратов: газовые струи, включая суфляры; истечение через обнаженные поверхности пород, в том числе содержащих газогидраты; газоотдача жидкостей; выбросы газов, а также газов и жидкостей; выбросы газов, углей и пород; характер газовыделений определяется типом коллектора и видом его насыщения;

- интенсивность газовыделений изменяется в широком диапазоне: газообильность рудников колеблется от 40–80 м³/сут до 30–42 тыс. м³/сут. Наиболее значительны дебиты газов на месторождениях с многофазовым флюидонасыщением, связанных с угле- и нефтегазоносными отложениями (при выбросах до 30–42 тыс. м³/сут, при обычных выделениях 1,5–8,0 тыс. м³/сут);

- не отмечается зависимости газообильности рудников от их производительности.

Список литературы

1. Матвиенко Н.Г. Выделение природных газов при освоении рудных месторождений / М.: Наука, 1988. – 230 с.
2. В.С. Забурдяев, О.Н. Малинникова, В.А. Трофимов. Метанообильные шахты: добыча угля, газовыделение, метановая опасность / Калуга: изд-во Манускрипт, 2020. – 334 с.
3. Янин Е.П. Природные газы рудных месторождений и необходимость их учета при проведении экологических оценок // Экологическая экспертиза. / ВИНТИ РАН.— 2020 № 1.— С. 83-98.
4. Фридман А.И. Природные газы рудных месторождений. – М., Недра, 1970. – 192 с.
5. Матвиенко Н.Г. Научные основы обеспечения безопасности освоения газоносных рудных месторождений // ГИАБ, 2011, № 1, с. 238–253.

INFLUENCE OF ISOLATED ISLAND MINING FACE LENGTH ON THE UNDERLYING MAIN ROADWAY: A CASE STUDY IN CHINA

Li Jingkai^{1,2}, Andrian S. Batugin², Wang Zhiqiang¹

¹ School of Energy and Mining Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing, China

² Mining Institute, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russia

Abstract: Taking Donghuantuo Mine in China as the engineering background, this paper compares the influence of different mining face lengths when recover isolated island coal pillar on the stability of the underlying roadway by numerical method, and the reasonable mining face length is finally determined.

Key words: Overlying isolated island coal pillar; Mining face length; Underlying main roadway; Surrounding rock control

1. Introduction

In the mining of close-distance coal seams, the high stress concentration of overlying isolated island coal pillar brings greater challenges to the surrounding rock control of underlying roadway^[1-2]. It is an effective way to relieve high stress by arranging mining face to recover isolated island coal pillar, but different mining face lengths have different effects. Therefore, it is necessary to determine the reasonable mining face length of recovering isolated island coal pillar. In this paper, taking -480m main haulage roadway and its overlying isolated island coal pillar as the research object, the ground pressure behaviors of different overlying isolated island coal pillar mining face lengths are simulated and compared by numerical software, so as to determine the reasonable isolated island coal pillar mining face length.

2. Study site

Donghuantuo Mine is located in Tangshan City, Hebei Province, east of China. As presented in Fig. 1, the section pillar forms an isolated island pillar after the mining in 2087 and 2089 faces. The -480m main haulage roadway is located below the isolated island pillar, with a vertical distance of 47m. The inclined length of the isolated island pillar is 105 m, the average thickness is 3.3 m, and the inclination angle is 20°. As presented in Fig. 2(a), under the influence of overlying isolated island coal pillar, the shotcrete layer on the roof surface of -480 m main haulage

roadway falls. Meanwhile, as presented in Fig. 2(b), the heaving floor makes the track unable to be used normally. In addition, as presented in Fig. 2(b), the surrounding rock in the shallow part of the roof is broken seriously, and the integrity of the surrounding rock becomes better with the development in depth.

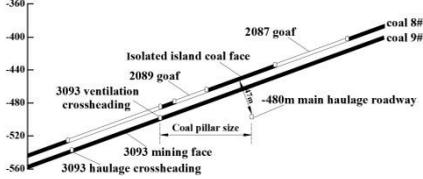
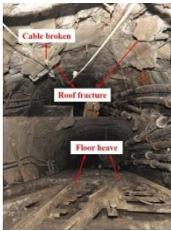
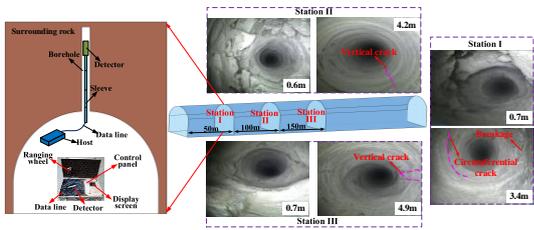


Fig. 1. Location of isolated coal pillar and underlying roadway



(a) Macroscopic strata behaviors



(b) Roof breakage zone

Fig. 2. Damage of -480m main haulage roadway

3. Numerical simulation

Through FLAC3D software, the influence of overlying isolated island coal pillar mining face length on the -480m main haulage roadway is simulated, Fig. 3 to Fig. 6 present the numerical results. Affected by the superposition of abutment pressures, the isolated island coal pillar has high stress concentration after the mining of 2087 and the 2089 faces. Moreover, the high stress of the coal pillar is transferred to the floor strata, so that the -480 m main haulage roadway is also in the high stress influence area. The pressure relief effect of isolated coal pillar mining is obvious. With the increase of mining face length, the stress and displacement of the roof and floor of the -480 m main haulage roadway gradually decrease. At the same time, the damage range of plastic zone in -480 m main haulage roadway also decreases. When the length of the overlying isolated island coal pillar mining face is increased to 100 m, the displacement of the -480 m main haulage roadway and the damage range of the plastic zone are small, which shows that leaving small coal pillars in the overlying isolated island coal pillar mining face can effectively

alleviate the stress concentration and thus reduce the impact on the underlying roadway.

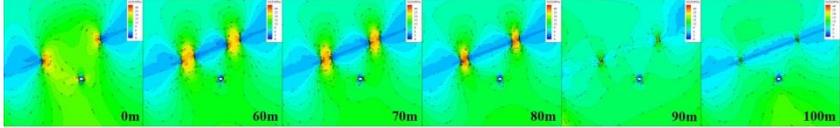


Fig. 3. Stress nephogram

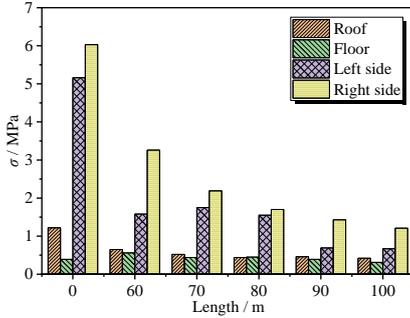


Fig. 4. Stress statistics

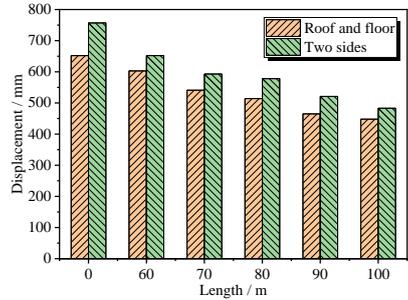


Fig. 5. Displacement statistics

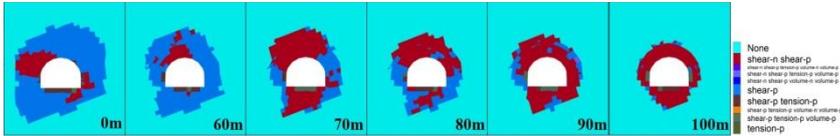


Fig. 6. Plastic zone nephogram

4. Conclusion

The high stress concentration caused by the overlying isolated island coal pillar will seriously damage the underlying roadway. Arranging the mining face to recover the isolated island coal pillar can not only improve the coal recovery rate, but also release the high stress of the isolated island coal pillar, thus reducing the damage to the underlying roadway. The longer the mining face is, the better the pressure relief effect will be.

References

1. Mu HW, Bao YS, Song DZ, et al. Investigation of strong strata behaviors in the close-distance multiseam coal pillar mining. *Shock and Vibration*, 2021: 1263275.

2. Wang ZQ, Xu CH, Wang P, et al. Study on numerical simulation of stress transfer law of isolated working face in top and bottom plate. Journal of Mining Science and Technology, 2020, 5(01): 67-75.

УДК 622.235

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГОРНОЙ МАССЫ, ВЗОРВАННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ СРЕДСТВ ИНИЦИИРОВАНИЯ

Брухавецкая А.О.

НИТУ МИСИС, г. Москва

Оценка качества дробления горной массы является основным показателем произведенных буровзрывных работ. При правильной трактовке результатов гранулометрического состава можно оценить, насколько прогнозируемые параметры отличаются от фактически полученных [1]. При производстве взрывных работ передовые горнодобывающие предприятия уделяют особое внимание на полученные показатели фрагментации, так как повышенный выход негабарита или наоборот, переизмельчение горной массы может сигнализировать об ошибках или сбое технологического процесса, совершенных в ходе выполнения буровзрывных работ. Горнодобывающие предприятия сами определяют какой показатель фрагментации наиболее подходит под добываемое полезное ископаемое. Например, переизмельчение горной массы при добыче рудных ископаемых приветствуется, так как в данном случае это облегчает процесс дальнейшего дробления и обогащения, из-за того что чем мельче фракция, тем проще раскрываются частицы минералов, противоположный эффект наблюдается на строительных карьерах, так как при производстве щебня, гравия и т.д., важно выдерживать определённый размер фракции, при чрезмерном дроблении появляется «мелочь» которая в дальнейшем не пригодна и отправляется в отвал.

Вопрос определения параметров БВР, влияющих на качество дробления горной массы является актуальным, и в данному вопросу посвящено не мало исследований [2]. Данное исследование будет посвящено влиянию систем инициирования на гранулометрический состав.

На сегодняшний день широко распространены неэлектрические системы инициирования (далее – НСИ), они характеризуют себя как

надежные, безопасные при эксплуатации, удобные при монтаже взрывных сетей системы. Начиная с середины 90-х годов началось внедрение НСИ [3], первые попытки внедрения были локальными, порой неудачными приводившие к отказам. Потребовалось время, чтобы НСИ использовалось повсеместно.

Несмотря на представленное разнообразие средств инициирования, на сегодняшний день наблюдается ситуация с нехваткой НСИ. В силу сложившейся сложной геологической ситуацией возникают логистические сложности с доставкой НСИ из-за рубежа, данные проблемы ведут к ограниченному ввозу неэлектрических систем инициирования, комплектующих и компонентов для их производства. В связи с этим некоторые предприятия вернулись к использованию детонирующего шнура далее – ДШ) для монтажа взрывной сети.

Задача данного исследования заключается в сравнении результатов гранулометрического составов при взрывании с использованием НСИ и ДШ, выявление закономерностей влияния выбранных средств инициирования на гранулометрический состав, рекомендации для использования средств инициирования в тех или иных геологических условиях.

В результате произведенного сравнительного анализу будут установлены закономерности и определены условия, при которых взрывание с применением детонирующего шнура будет близко по качеству гранулометрического состава при взрывании с использованием НСИ. Также будут определены условия, при которых использование ДШ не рекомендуется.

Список литературы

1. Брухавецкая А.О. Анализ современных разработок в области оценки качества дробления взорванной горной массы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 5. – С. 18–31. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_0_18.

2. Вохмин С.А., Курчин Г.С., Шевнина Е.В., Кирсанов А.К., Костылев С.С. Прогнозирование гранулометрического состава отбитой горной массы при отработке месторождений открытым способом/ «Известия вузов. Горный журнал», № 1, 2020,14–24 с.

3. Григорьев А.В., Листопад Г.Г., Доильницын В.М., Попов В.К., Андреев В.В., Гусев А.Г. Опыт и перспективы применения неэлектрических средств инициирования на карьерах ОАО «Апатит». Горный информационно-аналитический бюллетень-2001;(8):37-40 с.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ И ВЛАЖНОСТИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ И УПРУГИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Кочанов А.Н.¹, Кочанов С.А.²

¹ *ИПКОН РАН, г. Москва,*

² *Санкт-Петербургский государственный
технологический институт (технический университет)*

Неоднородность, под которой понимается пространственную изменчивость строения, состояния и свойств горных пород, является их характерной особенностью и объективным фактором, влияющим на процессы деформирования и разрушения. Полимнеральный состав горных пород, наличие микродефектов и остаточных локальных напряжений обуславливает проявление неоднородности при изучении образцов, например, при ультразвуковом контроле.

Проведенные нами ультразвуковые исследования на образцах различных горных пород с размерами 15-50 см свидетельствуют о значительной вариации значений скорости продольных волн в отдельных измерительных точках. В качестве примера в таблице 1 приведены результаты таких исследований на образце известняка при базе прозвучивания 15,4 см с шагом 3 см по профилям, разбитым на поверхности образца площадью 31,7x20,2 см.

Таблица 1.

Распределение скорости продольных волн (м/с) в образце известняка по данным ультразвукового прозвучивания

| № | Профиль 1 | Профиль 2 | Профиль 3 |
|---|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 4810 | 5130 | 4810 |
| 2 | 4160 | 4280 | 4280 |
| 3 | 4050 | 4280 | 4530 |
| 4 | 4160 | 4530 | 4160 |
| 5 | 4530 | 4670 | 4160 |
| 6 | 5130 | 5130 | 5130 |

Наличие в большинстве случаев корреляционной связи между скоростью продольных волн и прочностью позволяет рассматривать и вариацию значений прочности, что важно при моделировании процесса разрушения. Следует также отметить, что упругая анизотропия горных пород влияет на устойчивость выработок [1].

Для оценки микроструктурной неоднородности и свойств горных пород и минералов возможно применение метода микро и наноиндентирования. Основные результаты по оценке локальных свойств минералов и их границ представлены, например, в работе [2].

Рассмотрим далее экспериментальные исследования, связанные с оценкой влияния воды на деформируемость и прочность горных пород. В последние годы система вода - горная порода привлекает внимание ученых, и данная проблема имеет как фундаментальное так и прикладное значение [3-5]. Вода может проникать в горные породы различными путями, например, по границам раздела между минералами, что приводит к образованию на них адсорбционных пленок связанной воды. Из-за этого может происходить снижение поверхностной энергии кристалла и, как следствие, облегчаться как зарождение решеточных «дефектов-носителей» пластической деформации, так и их движение под действием внешних напряжений. Практически все свойства горных пород меняются в той или иной степени в зависимости от наличия в них связанной воды, но наиболее важно с практической точки зрения ее влияние на прочность.

Основные физико-механические свойства горных пород, а также значения предела прочности на одноосное сжатие при испытаниях в «сухом» и водонасыщенном состоянии приведены в таблице 2. Образцы изготавливались в форме куба и имели размер 4-5 см. Сначала на них проводились ультразвуковые измерения, а затем испытания на одноосное сжатие по стандартной методике.

Таблица 2.

Физико-механические свойства горных пород и изменение прочности на одноосное сжатие при водонасыщении

| Порода | Плотность, кг/м ³ | Пористость, % | Скорость продольных волн, м/с | Предел прочности на сжатие, МПа | |
|-----------|------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| | | | | «Сухие» | Водонасыщенные |
| Доломит | 2270-2500 | 9,0-14,2 | 2590-4180 | <u>76-84</u> 80,3 | <u>44-85</u> 60,8 |
| Доломит | 2370-2570 | 4,0-13,6 | 3610-5800 | <u>85-135</u> 100,6 | <u>52-132</u> 84,0 |
| Известняк | 2390-2530 | 2,0-5,9 | 4530-5570 | <u>54-91</u> 72,6 | <u>29-57</u> 47,6 |
| Песчаник | 2380-2529 | 0,46-3,26 | 2500-3200 | <u>126-232</u> 179,5 | <u>142-223</u> 177,6 |
| Известняк | 1870-2060 | 16,6-21,7 | 2810-4420 | <u>20-29</u> 22,8 | <u>10-29</u> 17,8 |

Ультразвуковые измерения скорости продольных волн в образцах проводили при помощи прибора УК-14П и датчиков с собственной частотой 100 кГц по трем взаимно перпендикулярным направлениям. Это позволило определить показатель акустической анизотропии, который трактовался как отношение максимально измеренной скорости в образце к ее минимальному значению. Этот показатель для образцов доломита составлял 1,0 - 1,27, для образцов известняка -1,04-1,19, для образцов песчаника 1,06-1,39.

По результатам исследований в образцах доломита и известняка при их водонасыщении установлено снижение прочности соответственно в 1,2-1,32 и 1,28-1,53, а в образцах песчаника прочность практически не изменялась. В образцах доломита с пористостью 9,0-14,2% в большинстве случаев скорость увеличивалась по трем измеряемым направлениям в 1,2 раза, в тоже время в отдельных образцах наблюдалось снижение скорости по одному направлению или по трем направлениям, а также значения скорости могли не изменяться. В образцах доломита с пористостью 4,0-13,6% скорость всегда увеличивалась примерно в 1,15 раза. В образцах известняка наблюдалось незначительное увеличение скорости до 1,04 раза, а в образцах песчаника скорость могла возрасти в 1,5-1,7 раза.

Заключение

По результатам эксперимента представляется перспективным для оценки структурной неоднородности образцов использовать ультразвуковые методы и микро и наноиндентирования. При экспериментальном исследовании, связанном с оценкой влияния воды на свойства горных пород, получены ожидаемые результаты в виде снижения прочности и увеличения скорости продольных волн. Следует лишь отметить, что при закономерном увеличении скорости в большинстве случаев на отдельных образцах доломита наблюдается ее снижение, а также показано, что от величины исходной пористости в образцах известняка не зависит абсолютная величина снижения их прочности при водонасыщении. Результаты экспериментов могут быть полезными при описании процессов деформирования и разрушения горных пород как структурно неоднородной среды.

Список литературы

1. Головатая О.С. Влияние упругой анизотропии пород на устойчивость горных выработок (на примере Кольской сверхглубокой скважины) // ГИАБ. 2003. №9. С.60-63.

2. Викторов С.Д., Головин Ю.И., Кочанов А.Н., Тюрин А.И., Шуклинов А.В., Шуварин И.А., Пирожкова Т.С. Оценка прочностных и деформационных характеристик минеральных компонентов горных пород методом микро- и наноиндентирования // ФТПРПИ.2014. №4. С.46-54.

3. Шварцев С.Л. Фундаментальные механизмы взаимодействия в системе вода-горная порода и внутренняя геологическая эволюция //Литосфера. 2008.№6. С.3-24.

4. Одинцев В.Н., Милетенко Н.А. Прорыв воды в горные выработки как следствие самопроизвольного гидроразрыва массива горных пород // ФТПРПИ. 2015. №3. С.3-16.

5. Панфилов П.Е., Панфилов Г.П., Зайцев Д.В., Кочанов А.Н. Исследование влияние воды на прочность и деформирование скальных пород // Новые идеи в науках о Земле. Материалы XIV Международной научно-практической конференции. РГГУ. 2019. Т. 2. С.345-348.

УДК 622.12

УПРАВЛЕНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРИ ОТРАБОТКЕ И РЕКУЛЬТИВАЦИИ КАРЬЕРА ПО ДОБЫЧЕ КВАРЦЕВЫХ ПЕСКОВ

Багаутдинова Б.Р.

ООО НВК «Горгеомех», г. Москва

В статье приведены результаты исследований деформационных процессов в районе рабочего борта Раменского ГОКа. Результаты могут быть полезными при анализе устойчивости бортов песчаных карьеров.

Ключевые слова: геомеханические процессы, моделирование нарушений, песчаный карьер, устойчивое состояние.

Цель исследований: обоснование угла рабочего борта карьера Раменского ГОКа для наиболее полного извлечения полезного ископаемого при более жестких требованиях к методам расчета устойчивости откосов в карьере, которые должны быть достаточно надежными для обеспечения безопасного производства горных работ одновременно с рекультивацией вскрышными породами и иловыми остатками и охраны части Володарского шоссе, попадающего в зону влияния, а также предложение по дальнейшей эксплуатации участка.

Объект исследований: рабочий борт Чулковского месторождения кварцевых песков, расположенного на правом берегу р. Москвы, между поселком Чулково, селом Еганово и деревней Каменное Тяжино

в Раменском районе Московской области на землях, находящихся в собственности ОАО «Раменский ГОК» и ООО «Геоэкотехстрой».

В геологическом строении Чулковского месторождения принимают участие отложения юрского, мелового и неоген-четвертичного возраста.

Вскрышные породы представлены суглинками, глинами и песками (K1br), (K1a), (g II ms), (f, lg s II ms), рг III – IV) [1].

Наибольшую опасность на данном объекте представляло обрушение борта карьера из-за потери устойчивости. Проводилось как инструментальное наблюдение, так и цифровое моделирование.

В процессе моделирования были получены следующие результаты:

- максимальная величина вертикального смещения (оседания) горных пород составила 300 мм;
- максимальная величина горизонтального смещения горных пород (по направлению склона) составила 50 мм;
- максимальная величина полных смещений – 340 мм;
- зона влияния полных смещений в сторону Володарского шоссе – 12 м от верхней бровки первого уступа;
- зона влияния на дно карьера – 19 м от основания последнего уступа;
- коэффициент запаса устойчивости борта карьера $K=2,18$.

В ходе реализации наблюдений за развитием деформационных процессов в районе рабочего борта было проведено визуальное обследование уступов и берм. В ходе визуального обследования на верхних уступах были выявлены нарушения целостности массива горных пород (промоины), вызванные воздействием поверхностных вод, стекающих в карьер.

Местами эти нарушения достигают 30 см в ширину и более полуметра вглубь массива, особенно на тех участках, где уступы пройдены в песчаных породах. Участки массива горных пород, ограниченные такими нарушениями, могут быть потенциально опасными с точки зрения потери устойчивости (возможности их обрушения).

Аналогичные нарушения (промоины) можно наблюдать и на других бортах карьера, которые были отработаны ранее. В тоже время визуально обрушений там не было зафиксировано. Это можно объяснить разным геологическим строением верхних уступов. На ранее отработанном борту, верхний уступ сложен преимущественно

глинистыми породами, а на обследуемом (рабочем) борту верхние уступы сформированы в песчанике.

Для проверки устойчивости указанных нарушений в песчаной и глинистой среде было реализовано моделирование рассматриваемой ситуации с применением специализированного программного комплекса MIDAS GTS NX.

Смоделировано развитие нарушения массива (промоины) на двух участках борта карьера: первом, сооруженном в суглинках, втором – в песчаных породах. Для геомеханического расчета в программном комплексе была выбрана модель Мора-Кулона, которая описывает упругопластическое поведение материала. Такая модель наиболее подходит для описания геомеханического состояния рассматриваемого массива, поскольку он сложен осадочными породами и не является трещиноватой средой. Физико-механические свойства, используемые для моделирования, представлены в таблице.

Таблица

Физико-механические свойства, принятые в модели

| | Объёмный вес кН/м ³ | Сцепление, Кн/ м ² | φ, град |
|----------|-----------------------------------|----------------------------------|---------|
| ПРС | 18 | 10 | 25 |
| Суглинок | 18,9 | 28 | 23,5 |
| Песок | 19,6 | 1,5 | 41,5 |

При формировании и развитии нарушений массива (промоин) на участках, сложенных суглинками коэффициент запаса устойчивости составил 8,6, а на аналогичных участках, сложенных песками коэффициент запаса устойчивости снижается в четыре раза и составляет 2,3. Одним из видов мероприятий по устранению таких причин, может быть обустройство дренажной канавы вдоль борта карьера. Поскольку поверхностные воды, стекая с Володарского шоссе, скапливаются на локальных участках, после чего перетекают в карьер, вызывая размывтия уступов.

Полученные в результате инструментальных наблюдений величины сдвижений горных пород на отдельных участках составляют 32% от максимально возможных величин, по достижению которых борт находится в устойчивом состоянии (полученных из моделирования). Измеренные максимальные величины сдвижения приурочены к левой стороне борта, на остальных наблюдаемых участках величины сдвижения не превышают точности проводимых измерений.

Деформационные репера, размещенные непосредственно вдоль Володарского шоссе, также находятся в устойчивом состоянии, что может свидетельствовать об отсутствии влияния горных работ за период проводимых наблюдений.

По результатам проводимого визуального обследования конструктивных элементов наблюдаемого борта карьера также не обнаружено признаков, свидетельствующих об активации процесса сдвижения. Отдельные нарушения зафиксированы на верхних уступах, связанные с размывом породы, вызванным воздействием поверхностных вод, стекающих в карьер. За период наблюдений установлено, что данные нарушения носят локальный характер и существенного влияния на устойчивость борта карьера не оказывают. [2]

Предложение по дальнейшей эксплуатации участка

В распоряжении ОАО «Раменский ГОК» имеется обогатительная фабрика и «иловые» карты, на которые из хвостохранилища намывается глинисто-алевритистая фракция (<0,1мм, составляющая в хвостах 1,51%), далее дренируется вода. К полученным иловым остаткам можно добавить органические остатки, производимые ближайшими фермами, для получения биогаза, за счёт чего будет обеспечиваться автономность хозяйства, например, тепличного. Именно таким образом будет решаться одна из острых проблем современности на локальном масштабе – плотно населённые Москва и Московская область производят большое количество канализационных илов [3].

В качестве альтернативного варианта стоит рассмотреть создание лесопарка с зонами для занятия спортом. Стоит учитывать, что можно часть объекта отвести для хозяйственной деятельности, а другую – для рекреационной.

Список литературы

1. Прогноз развития геомеханических процессов в районе рабочего борта Раменского ГОКа методом математического моделирования. ООО «НВК Горгеомех», Москва 2018 г. / с. 10
2. Наблюдение за деформационными процессами в районе рабочего борта Раменского ГОК. ООО «НВК Горгеомех», Москва 2019 г. / с. 3-41
3. Технический проект разработки юго-восточной части Чулковского месторождения кварцевых песков в Раменском районе Московской области. Отработка оставшихся запасов. Дополнение №1 в части корректировки календарного плана добычных и вскрышных работ. 13/2016. Том 1.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ДОБАВОК ДЛЯ ПРОСТЕЙШИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Франтов А.Е., Белоусов Ф.С.

ИПКОН РАН, г. Москва

Простейшие взрывчатые вещества (смеси АС-ДТ, английская аббревиатура ANFO) широко используются в геотехнологиях за счет более низкой себестоимости разрушения, дробления и перемещения горных пород. Потребление таких смесей в мировом масштабе составляет порядка 46%, а в отдельных горных отраслях, например, в технологии добычи угля в США достигает 70%. Ожидается, что с учётом роста добычи полезных ископаемых, производство простейших взрывчатых веществ будет увеличиваться каждый год. К преимуществам простейших ВВ следует отнести высокую безопасность при использовании, механизацию производства и применения зарядной техники. Слабой стороной простейших ВВ является недостаточная физическая стабильность при использовании определенных видов аммиачной селитры [1] и низкая водоустойчивость.

Перспективным методом улучшения сбалансированности состава является добавление твердого горючего (например, угольный порошок или коксовая мелочь). Выбор горючего зависит от его теплоты сгорания, адгезии с окислителем, цены и доступности [2]. В исследованиях [3] показан потенциал взрывчатого вещества «Гранулит ИСУ», разработанного совместно ИПКОН РАН и АО «СУЭК», в котором в качестве твердого горючего добавки используется угольный порошок, коксовая мелочь и резиновая крошка.

В работе [4] исследовался гранулометрический состав коксовой мелочи и угольного порошка, распределение материала по фракциям, определение формы и размера частиц. Ввиду актуальности применения резиновой крошки в составе «Гранулита ИСУ» проведены исследования его физических характеристик.

Резиновая крошка отобралась из мешка массой 25кг из верхней и нижней частей мешка. Ситовой анализ проводился с использованием решет с размерами ячеек 3,15; 2,5; 1,0; 0,5 и 0,63 мм. Рассортировка производилась с использованием вибрационного грохота Fritsch Analysette 3 Spartan при времени обработки 10 минут. Результаты ситового анализа резиновой крошки приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты ситового анализа резиновой крошки

| Опыт | Фракции, % | | | | | |
|----------------------|------------|-----------|----------|----------|------------|--------|
| | +3,15 | -3,15+2,5 | -2,5+1,0 | -1,0+0,5 | -0,5+0,063 | -0,063 |
| 1 | 0,23 | 0,81 | 32 | 58 | 5,93 | 0,11 |
| 2 | 0 | 1,52 | 40,95 | 53,21 | 5,16 | 0 |
| 3 | 0 | 0,3 | 47,09 | 48,96 | 4,39 | 0 |
| 4 | 0 | 0,17 | 44,55 | 51,14 | 5,08 | 0 |
| 5 | 0 | 0,45 | 40,31 | 54,37 | 6,02 | 0 |
| D _{ср} | 0 | 0,61 | 43,23 | 51,92 | 5,16 | 0 |
| Округленное значение | 0 | 0,5 | 43 | 51,5 | 5 | 0 |

Для определения формы частиц резиновой крошки проводились фотографирование материала фракции -0,5+0,063 мм. На рисунке показаны частицы резиновой крошки при увеличении x250.

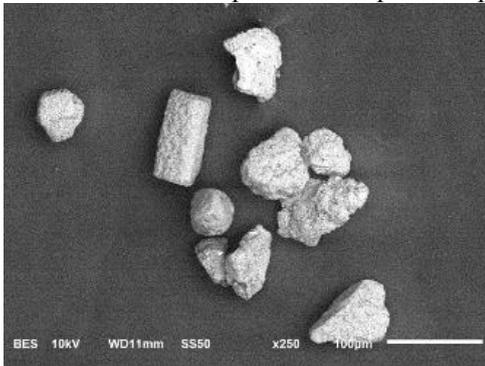


Рис. Частицы фракции - 0,063 мм резиновой крошки

Данные по форме и размерам (в мкм) коксовой мелочи, угольного порошка и резиновой крошки представлены в таблице 2. У коксовой мелочи выявлено преобладание форм частиц близких по соотношению граней к прямоугольнику, трапеции и ромбу, у частиц угольного порошка к квадрату, прямоугольнику, трапеции и равнобедренному треугольнику. Частицы резиновой крошки по ТУ 2511-001-33068450-2014 имеют форму прямоугольника, квадрата, трапеции. Встречаются отдельные частицы округлой или неправильной формы. Коэффициент анизодиаметричности (d_{\max}/d_{\min}) частиц равен 1-2,5.

Таблица 2.

Данные по размерам для частиц различной формы твердых горючих добавок

| Твердые горючие добавки | | Коксовая мелочь | Угольный порошок | Резиновая крошка | |
|----------------------------|----------------------------|-----------------|------------------|------------------|--------|
| Форма и размер частиц, мкм | Квадрат | мин | - | 4,7x4,7 | 60x60 |
| | | макс | - | 10x10 | 80x80 |
| | Прямоугольник | мин | 7,8x15,7 | 3,1x6,3 | 30x70 |
| | | макс | 29,7x60,4 | 8,4x29,4 | 40x100 |
| | Ромб | мин | 13,1x16,8 | - | - |
| | | макс | 33,9x49,3 | - | - |
| | Трапеция | мин | 10,5x14,3 | 2,0x3,7 | 50x60 |
| | | макс | 31,5x49,1 | 10,4x20,9 | 70x80 |
| | Равнобедренный треугольник | мин | - | 1,8x3,3 | - |
| | | макс | - | 13,5x19,7 | - |
| | Неправильная форма | мин | - | - | 30x50 |
| | | макс | - | - | 60x100 |

Анализ данных табл.2 показывает, что форма и размеры частиц резиновой мелочи имеют существенные отличия в сторону увеличения от параметров частиц коксовой мелочи и угольного порошка. С учетом этого и на основании ранее известных экспериментальных данных [5] следует ожидать хорошее адгезионное сцепление частиц резиновой крошки с гранулами аммиачной селитры в составах «Гранулита ИСУ».

Список литературы

1. Cook M.A. The Science of Industrial Explosives. Ireco Chemicals Salt Lake City, UTAH, 1974, 407 с.
2. Викторов С.Д., Франтов А.Е. Простейшие гранулированные ВВ местного изготовления: характеристики и направления совершенствования // Взрывное дело. М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН». - 2014. - № 112/69 – С. 178-201.
3. Викторов С.Д., Франтов А.Е. и др. Инновационные направления совершенствования простейших ВВ с добавками, возвращаемыми в производственный оборот рециклингом материалов // Уголь. 2020. № 11. С. 17-21.
4. Франтов А.Е., Белоусов Ф.С. Исследование некоторых свойств твердых горючих компонентов для простейших взрывчатых веществ // Инженерная физика. – М.: Издательство «НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ», 2019. – №11 – С. 51–57.
5. Зимой А.Д. Адгезия пыли и порошков. Изд. 2-е, пер. и доп. М., «Химия», 1976.

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ УГЛЕЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СКЛОННОСТИ К САМОВОЗГОРАНИЮ

Докучаева А.И., Коцюба В.Е., Малинникова О.Н.

ИПКОН РАН, г. Москва

При разработке угольных месторождений подземным способом всегда существует риск возникновения эндогенных пожаров, вызванных самовозгоранием угля. Самонагревание угля в шахте может спровоцировать воспламенение метановоздушной смеси и, как следствие, аварийную ситуацию при добыче угля. Определение склонности угля к самовозгоранию является актуальным вопросом для угольной отрасли, поскольку до сих пор нет единого метода для определения этого показателя.

При определении показателя склонности угля к самовозгоранию необходимо понимать, что мы подразумеваем под этим. Склонность угля к самовозгоранию является его внутренним свойством, которое обусловлено исходным материалом, характеризующим его способность взаимодействовать с кислородом, и определяется химической активностью угля. Склонность шахтопласта к самовозгоранию определяет потенциальную опасность возникновения эндогенных пожаров при отработке угольного пласта в конкретных горно-геологических условиях, характеризуется вероятностью возникновения эндогенных пожаров в шахтах и зависит от ряда природных и горнотехнических факторов. Наша работа направлена на определение склонности угля к самовозгоранию, то есть на способность исследуемого угля самовозгораться.

Уголь – сложное вещество с большой неоднородностью свойств и состава. Известно, что самовозгорание происходит в результате окисления угольного вещества [1], элементы С, Н, О, N, S которого активно участвуют в окислительных реакциях и влияют на интенсивность протекания этих реакций. Поэтому элементный анализ угля является первостепенным при определении склонности углей и шахтопластов к самовозгоранию. Образование уголь-кислородных комплексов при сорбции углем кислорода и их последующее термическое разложение играют важную роль в окислении угля при низких температурах и запуске реакции самонагревания угольного вещества [2].

В данной работе определение содержания элементов в образцах углей проводилось на CHNS-анализаторе Eurovector EA-3100 при температуре реактора сжигания 950 °С и температуре колонки и детектора 95°С. В качестве стандартного образца для калибровки использовался 2,5-бис (5-трет-бутил-2-бензоксазоллил) тиофен. Результаты приведены в табл. Образцы № 1-3 не склонные к самовозгоранию, образцы № 4-8 склонные к самовозгоранию [3].

Таблица.

Элементный анализ образцов углей

| № | С, % | Н, % | Н, % | S, % | О, % |
|---|-------|------|------|------|-------|
| 1 | 73,64 | 4,31 | 2,06 | 0,95 | 19,68 |
| 2 | 74,65 | 4,23 | 2,08 | 1,02 | 18,70 |
| 3 | 66,73 | 3,72 | 1,79 | 1,15 | 27,38 |
| 4 | 77,00 | 4,49 | 2,36 | 0,93 | 15,84 |
| 5 | 77,31 | 4,66 | 2,43 | 0,86 | 15,32 |
| 6 | 68,20 | 4,03 | 1,87 | 1,02 | 25,56 |
| 7 | 75,55 | 4,43 | 2,37 | 1,01 | 17,32 |

Согласно табл. в выборке углей, не склонных к самовозгоранию, содержание С составило 66,73-74,65%, а для углей, склонных к самовозгоранию, С варьирует от 68,20 до 77,31%. Величина S не склонных к самовозгоранию углей находится в диапазоне 0,95-1,15% и в интервале 0,86-1,02% – для склонных (№4-7). Содержание N в образцах углей №1-3 составило 1,79-2,08%; в образцах №4-7: 1,87-2,43%. Содержание O рассчитывалось по разнице 100-(C+H+N+S).

Элементный анализ необходим при изучении свойств углей, но не показателен в качестве самостоятельного метода определения склонности углей к самовозгоранию.

Список литературы

1. Zhang Y., Wu J., Chang L., Wang J., Xue Sh., Li Z. Kinetic and thermodynamic studies on the mechanism of low-temperature oxidation of coal: A case study of Shendong coal (China) / International Journal of Coal Geology. – 120. – 2013. – P. 41-49.
2. Веселовский В.С. Физические основы самовозгорания угля и руд. — М.: Наука, 1972. — 148 с.
3. Докучаева А.И., Малинникова О.Н., Палкин А.Б. Усовершенствованный метод оценки химической активности углей при определении их склонности к самовозгоранию // Химия в интересах устойчивого развития. — 2022. — Т. 30. — № 5. — С. 483–487.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ИНТЕРВАЛА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СКЛОННОСТИ УГЛЕЙ К САМОВОЗГОРАНИЮ ТГ-МЕТОДОМ

Докучаева А.И., Малинникова О.Н., Долгова М.О.

ИПКОН РАН, г. Москва

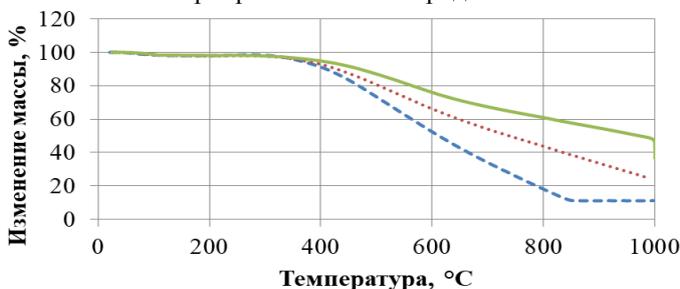
При оценке склонности углей к самовозгоранию при помощи термогравиметрического анализа необходимо выбрать температурный интервал, в котором окажется возможным обнаружить различие в поведении углей, склонных и не склонных к самовозгоранию. В проведенных нами исследованиях [1,2] были обоснованы ТГ-показатели, отвечающие за склонность углей к самовозгоранию, и выбраны скорости нагрева при ТГ-анализе. Известно, что на термограмме потеря массы образцов каменных углей до 100°C характерна для процесса выход влаги, прирост массы в диапазоне 100-300°C объясняется окислительно-восстановительными реакциями в угольном веществе под действием окислителя, а при высоких температурах на изменение массы образца влияют дополнительные реакции в угольном веществе, протекающие параллельно. Поскольку для стадии окисления характерен прирост массы, на термограммах представляют интерес пики кривой.

Данная работа предполагала подбор температурного интервала, позволяющего определять склонность углей к самовозгоранию ТГ-методом. Эксперимент проводился в термогравиметрическом анализаторе TGA 701 LECO. Отличия в поведении углей, склонных и не склонных к самовозгоранию, фиксировали в каждом из температурных интервалов: 20-100°C, 100-300°C и 300-1000°C при скоростях нагрева 3, 5 и 10 °C/мин. Величину и скорость изменения массы определяли для выборки образцов углей, не склонного (№1), склонного (№2) к самовозгоранию и образца (№3), склонного к самовозгоранию, показавшего наибольшую величину прироста массы при ТГ-анализе. В таблицах приведены результаты потери массы и скорости изменения массы. На рис. приведены термограммы образца №1 при разных скоростях нагрева камеры прибора. Результаты эксперимента представлены в табл. 1,2.

Характерные температуры в пиках ($T_{\text{макс}}$) термограмм образца №1 в каждой температурной зоне при скорости нагрева 10, 5 и 3°C/мин

составили 587, 537 и 527°C; для образца №2: 549, 543 и 525°C; для образца №3: 579, 533 и 498 °С.

Интервал температур 20-100°C не представляет ценности для вычисления количества сорбированного кислорода.



— при 3°C/мин; - - - при 5°C/мин; — при 10°C/мин

Рис. Термограммы образца 1 при разных скоростях нагрева

Таблица 1.

Потеря массы в диапазоне высоких температур

| Образец № | диапазон температур 300-1000 °С | | |
|-----------|---------------------------------|-------------------|--------------------|
| | $\Delta m(3)$, % | $\Delta m(5)$, % | $\Delta m(10)$, % |
| №1 | 85 | 72 | 61 |
| №2 | 92 | 82 | 63 |
| №3 | 91 | 91 | 67 |

Таблица 2.

Скорость потери массы исследуемых углей (отн.ед.)

| Образец № | 20-100 °С | | | 300-1000 °С | | |
|-----------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| | $\Delta m/\Delta t(3)$ | $\Delta m/\Delta t(5)$ | $\Delta m/\Delta t(10)$ | $\Delta m/\Delta t(3)$ | $\Delta m/\Delta t(5)$ | $\Delta m/\Delta t(10)$ |
| №1 | 0,11 | 0,15 | 0,19 | 0,63 | 0,74 | 1,17 |
| №2 | 0,13 | 0,22 | 0,25 | 0,73 | 0,85 | 1,13 |
| №3 | 0,15 | 0,21 | 0,26 | 0,71 | 0,94 | 1,18 |

Примечание: в таблице не указан диапазон температур 100-300 °С, поскольку на этом участке происходит прирост массы

С увеличением скорости повышения температуры в камере термобалана растет и величина скорости изменения массы образца (табл.2), при этом потеря массы при температурах 300-1000°C демонстрирует обратную зависимость от скорости нагрева (табл.1).

Наиболее благоприятный участок на ТГ-кривых потери массы и кривых скорости потери массы - это температурная зона 100-300°C. При любых скоростях нагрева траектории термограмм схожи.

По величине потери массы в высокотемпературной области образцы нельзя разделить образцы углей, склонные и не склонные к самовозгоранию.

Список литературы

1. Докучаева А.И., Малинникова О.Н., Палкин А.Б. Усовершенствованный метод оценки химической активности углей при определении их склонности к самовозгоранию // *Химия в интересах устойчивого развития*. — 2022. — Т. 30. — № 5. — С. 483–487.

2. Докучаева А.И., Малинникова О.Н., Долгова М.О. Влияние скорости нагрева на распределение температуры в образце угля при определении склонности к самовозгоранию ТГ-методом // *сб. тез. докл. Угледохимия и экология Кузбасса: XII Международный российско-казахстанский симпозиум*. Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН, 2023. – С. 31.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

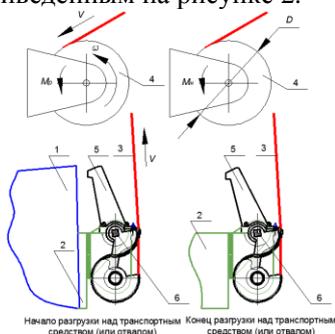
ЗАВИСИМОСТЬ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МЕХАНИЗМА РАЗМЫКАНИЯ ГРУЖЕНОГО КОВША С ЛЮЛЬКОЙ ВЫЕМОЧНО-ПОГРУЗОЧНОГО ДРАГЛАЙНА ОТ КАТЕГОРИИ ЭКСКАВИРУЕМЫХ ПОРОД

Клементьева И.Н.¹, Куулар О.О.²

¹НИТУ МИСИС, г. Москва, ²ФГБОУ ВО «ТувГУ», г. Кызыл

Авторами рассматривается известная конструкция рабочего органа выемочно-погрузочного драглайна [1] при оснащении его рычажно-торсионным механизмом размыкания люльки с опрокидным ковшом, установленным на её задней стенке (рис. 1). Разгрузочный канат 3, огибая отклоняющий и головной блоки, связан с двуплечим рычагом рычажно-торсионного механизма. Фиксация опрокидного ковша 1 после его разгрузки относительно люльки 2 осуществляется стопорами 5 рычажно-торсионного механизма автоматически под действием упругого момента торсиона 6.

Размыкание опрокидного ковша 1 с люлькой 2 происходит только в момент разгрузки и осуществляется разгрузочным канатом 3 натяжной лебедки 4 в строгом соответствии с требуемым изменением угловой скорости – $\omega(t)$ и момента – $M(t)$ на её барабане в течение элементарного цикла работы выемочно-погрузочного драглайна, приведенным на рисунке 2.



**Рис. 1. Положения элементов
рычажно-торсионного механизма
размыкания ковша с люлькой
в момент начала и конца
разгрузки над транспортным
средством**

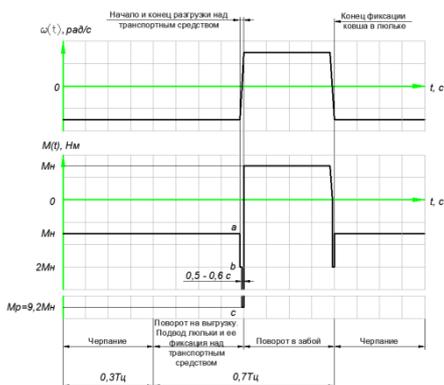


Рис. 2. Изменение угловой скорости – $\omega(t)$ и момента – $M(t)$ на барабане натяжной лебедки в течение элементарного цикла работы выемочно-погрузочного драглайна

При черпании и при повороте драглайна на выгрузку для исключения провисания (слабины) разгрузочного каната 3 (см. рис. 1) якорь электродвигателя натяжной лебедки 4 постоянно (с момента подачи напряжения) находится под слабым током, значительно меньшим номинального, создавая момент (точка «а» на рис. 2) на барабане натяжной лебедки 4. Момент на барабане натяжной лебедки при размыкании груженого ковша от люльки в соответствии с расчетной схемой, приведенной на рисунке 3, определится как

$$M_p \geq l f \frac{aD}{b d} (1 + k_k)(1 + k_T) E \frac{1+\lambda}{k_p} \rho g, \text{ Нм} \quad (1)$$

где l – расстояние от оси торсиона до линии действия силы сопротивления R_f повороту стопоров ковша, м;

f – коэффициент трения стопора 5 о верхний торец задней стенки ковша 1 при трении сталь о сталь, $f = 0,5$;

a/b – отношение плеча действия силы тяжести груженого ковша G к ее реакции на стопорах ковша R_G ;

D/d – отношение диаметра барабана натяжной лебедки к диаметру шкива-рычага, м, причем

$$D \approx 0,18d, a/b \approx 0,395, l = 0,4d \quad (2)$$

k_k – безразмерный коэффициент, учитывающий крутильную жесткость торсиона, $k_k = \alpha K / l R_f \approx 0,01 \div 0,02$ для материала торсиона с $\sigma_b = 1100 \div 1300$ МПа;

k_T – отношение веса ковша с люлькой к весу горной породы в ковше – коэффициент тары; в зависимости от категории экскавируемой породы может составлять $k_T = 0,4 \div 0,7$ [2];

E – вместимость ковша, м^3 ;

ρ – плотность горной породы в целике, кг/м^3 ;
 k_p – коэффициент разрыхления горной породы в ковше;
 λ – отношение объёма призмы волочения к объёму ковша [2].

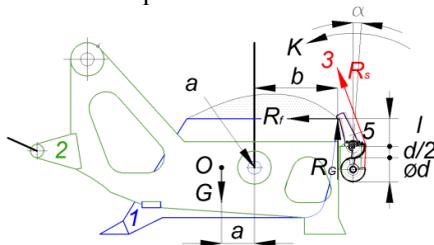


Рис. 3. Расчетная схема определения момента на барабане натяжной лебедки при размыкании груженого ковша от люльки

В свою очередь мощность электродвигателя механизма размыкания опрокидного груженого ковша определится как средневзвешенная мощность в течение элементарного цикла работы выемочно-погрузочного драглайна

$$\bar{N}_3 = \sum_{i=1}^n N_i t_i / T_{ц}, \text{ Нм/с (Вт)} \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^n N_i t_i$ – сумма произведений мощности привода N_i , затраченной за время i -того элемента цикла;

$T_{ц}$ – длительность элементарного цикла работы выемочно-погрузочного драглайна, с.

Далее, с учетом результатов (1) и (2) выражение (3) после соответствующих алгебраических преобразований с учетом ординаты точки «с» на рис. 2 определится как

$$\bar{N}_3 = 0,217 V_{max} f \frac{a}{b} \frac{l}{d} (1 + k_k)(1 + k_r) E_i \frac{1 + \lambda_i}{k_{pi}} \rho_i g, \text{ Нм/с (Вт)} \quad (4)$$

где V_{max} – максимальная скорость разгрузочного каната, м/с,
 $V_{max} \approx 2 \text{ м/с}$ [2]

Причем λ_i – отношение i -го объёма призмы волочения к объёму ковша, величины коэффициента разрыхления и плотности экскавируемых пород принимаются равными при экскавации: лёгких ($K_F = 0,12 \cdot 10^6$ Па) пород $\lambda = 0,4$ при $k_p = 1,25$, $\rho = 2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; средних ($K_F = 0,29 \cdot 10^6$ Па) пород $\lambda = 0,3$ при $k_p = 1,3$, $\rho = 2,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; тяжёлых ($K_F \geq 0,3 \cdot 10^6$ Па) пород $\lambda = 0,2$ при $k_p = 1,37$, $\rho = 3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ соответственно [2].

Графическая интерпретация зависимости (4) для погрузочного драглайна с ковшом вместимостью от 6 м^3 до 16 м^3 при экскавации лёгких, средних и тяжёлых пород приведена на рисунке 4.

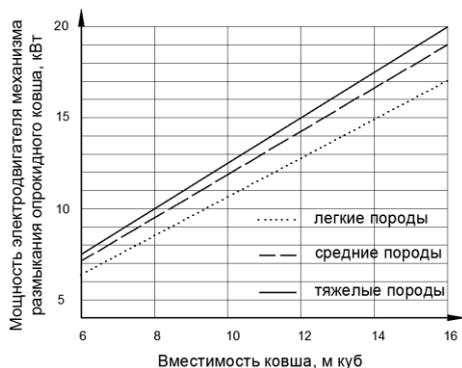


Рис. 4. Зависимость мощности электродвигателя механизма размыкания груженого ковша с люлькой выемочно-погрузочного драглайна от категории экскавируемых пород

Анализ результатов, приведенных на рис.4, свидетельствует, что выбор мощности электродвигателя для каждого типоразмера ковша выемочно-погрузочного драглайна следует принимать по средне-взвешенной мощности при экскавации тяжелых пород с последующим уточнением с каталожной величиной в сторону ближайшего большего значения.

Список литературы

1. Клементьева И.Н. Новое техническое решение рабочего органа выемочно-погрузочного драглайна. Сборник материалов 14 международной научной школы молодых ученых и специалистов «ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР В XXI ВЕКЕ ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ», М.: ИПКОН РАН, 2019 – С. 280-283.
2. Чулков Н.Н., Чулков А.Н. Расчёт приводов карьерных машин. – М.: «Машиностроение», 1979, 104 с.: ил.

УДК 622.2

МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В ШАХТЕ ВЬЕТНАМА

До Чи Тхань¹, Чан Суан Фуонг²

^{1,2}Кафедра электротехники и электроники,
Восточноазиатский технологический университет (EAUT), Вьетнам

В последние годы, в прогнозировании широко используются методы искусственного интеллекта, такие, как экспертные системы,

искусственные нейронные сети и т.д. Существует много моделей нейронных сетей. В прогнозировании чаще всего используются методы нейронной сети прямого распространения и нейронные сети Элмана с обратными связями, в которых применяется скользящее окно над последовательностью [2], [5]. Целью данной работы является сравнение строения нейронных сетей Элмана и нейронной сети прямого распространения для прогнозирования временных рядов.

1. Прогнозирования временных рядов и раздвижные окна

Временной ряд представляет собой последовательность векторов, $x(t)$, $t=0,1,\dots$, где t истекшее время. С целью упрощения мы будем рассматривать здесь только последовательности скаляров, хотя рассматриваемые методы легко обобщить вектору серии. Теоретически x может быть значением, которое изменяется непрерывно с t таких, как температура, но на практике, для любой заданной физической системы, x будет выбран, так, чтобы дать серию дискретных точек данных, равномерно распределенных во времени. Например, временных рядов по часам, по дням, по неделям, по месяцам. Метод скользящего окна помогает нам создавать учебный набор данных, например: $x(1)$, $x(2)$, $x(3)$ $x(n)$ является вектором временных рядов. После использования скользящего окна, размер которого равен d , мы можем создать это отображение набора данных ввода-вывода.

2. Эксперименты

Для эксперимента, у нас есть набор данных временных рядов, который дает почасовую информацию о концентрации метана. Этот набор данных содержит информацию о концентрации метана в шахте Мао Хе (Вьетнаме) по минутам ($t = 120$ мин). Мы используем 85% данных для обучения сети и 15% данных для тестирования. Мы используем 85% данных для обучения сети и 15% данных для тестирования. В учебном процессе мы используем алгоритм метода обратного распространения Levenberg-Маркуарт. Результаты были получены с помощью библиотеки Neural Network Toolbox IDE MatLab. В MatLab есть специальные сети для прогнозирования временных рядов. К ним относятся: NARX (Нелинейная авторегрессия с внешним источником) сеть основанная на нейронной сети Элмана, сеть НЮ (Нелинейная ввода-вывода) на основе нейронной сети прямого распространения.

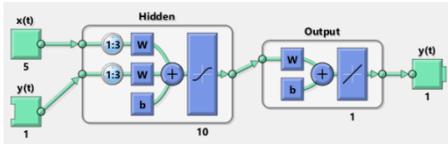


Рис 1. Структура сети NARX

Для осуществления прогнозирования наиболее приемлемой оказалась сеть следующей структуры: $N(i_5, h_{10}^1, o_1)$, $\Delta t = 3$.

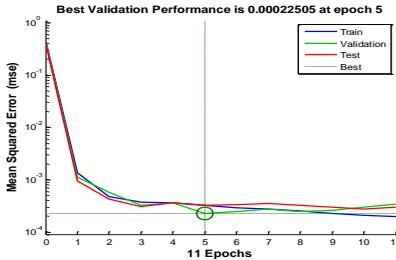


Рис 2. Процесс обучения нейросети с сетью NARX

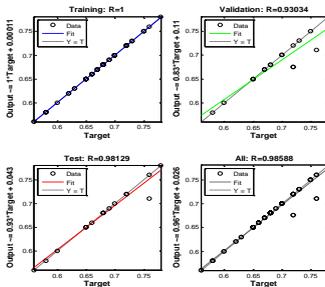


Рис 3. Регрессионный анализ обучения нейронной сети

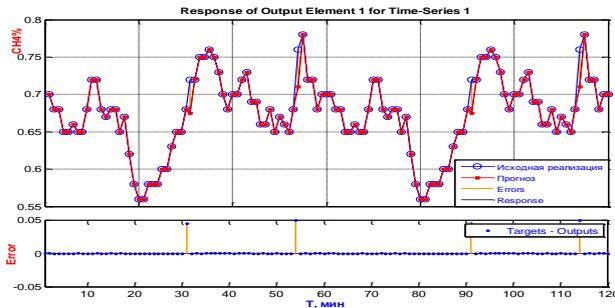


Рис 4. Результаты прогнозирования концентрации метана с сетью NARX

Показатели ошибок прогнозирования временного ряда следующие: среднеквадратическая ошибка (буровзрывные работы $SS_E(S_1) = (MSE) = 2.2505e-4$), средняя абсолютная ошибка на обучающей выборке. Коэффициент корреляции (R) является мерой того, насколько хорошо цели нейронной сети могут отслеживать изменения в выходных сигналах (0 не коррелируют вообще и 1 полностью коррелиции). Было обнаружено, что коэффициент корреляции близок к 1. (на рисунке 4, $R = 0.98588$)

4. Заключение

Наше исследование показало, что нейронные сети прямого распространения и нейронные сети Эльмана хорошо применимы для прогнозирования временных рядов. Для обучения мы использовали алгоритм обратного распространения для нейронных сетей Levenberg-Marquart. Наши эксперименты показывают, что модель нейронной сети NARX более эффективна, чем модель нейронной сети NIO и, что процесс обучения также не занимает больше времени в модели нейронной сети NARX, чем в модели нейронной сети NIO. В нашем эксперименте наборов данных мы используем только последние 15 % данных в тестировании. Такой подход помогает нам выбрать наилучшую структуру сети для задач прогнозирования.

Список литературы

1. Хужаев О.К., Ядгаров Ш.А., Пак В.С. Сравнение моделей нейронной сети для прогнозирования временных рядов // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. XXXV междунар. науч.-практ. конф. № 6(31). – Новосибирск: СибАК, 2014.
2. Jeffery D. Martin, Yu T. Morton, Qihou Zhou. Neural network development for the forecasting of upper atmosphere parameter distributions. *Advances in Space Research* 36 (2005) 2480—2485 p. *Expert Systems with Applications* 39(2012) 4344-4357.
3. Liang Yongchun. Application of Elman Neural Network in Short-Term Load Forecasting. *International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence* 2010.
4. Mehdi Khashei, Mehdi Bijari. A new class of hybrid models for time series forecasting. *Expert Systems with Applications* 39(2012) 4344—4357.
5. Mehdi Khashei, Mehdi Bijari. An artificial neural network (p.d.q) model for timeseries forecasting. *Expert Systems and Applications* 37(2010) 479-499 p.
6. Zaiyong Tang, Paul A.Fishwick. Feed-forward Neural Nets as Models for Time Series Forecasting. Department of Computer & Information Sciences, University of Florida

7. Armando Bernal, Sam Fok, Rohit Pidaparathi. Financial Market Time Series Prediction with Recurrent Neural Networks, December 14, 2012

8. Yi Zheng, Qi Liu, Enhong Chen, Yong Ge, and JL Zhao. Time Series Classification Using Multi-Channels Deep Convolutional Neural Networks. Web-Age Information Management, pages 298–310, 2014.

ИНЖЕКЦИЯ ПЕРЕГРЕТОГО ВОДЯНОГО ПАРА В ПРИРОДНЫЙ ПЛАСТ

Хасанов М.К.¹, Бородин С.Л.^{1,2}, Столповский М.В.^{1,3}

¹ *Стерлитамакский филиал Уфимского университета
науки и технологий, г. Стерлитамак,*

² *Тюменский филиал Института теоретической и прикладной
механики им. С.А. Христиановича СО РАН, г. Тюмень,*

³ *Уфимский государственный нефтяной
технический университет, г. Уфа*

В последнее десятилетие в мире наблюдается достаточно устойчивая тенденция к росту потребления углеводородного сырья для нужд энергетики и химической промышленности [1]. При этом в нефтегазовой отрасли широко используется тепловое воздействие на насыщенный пористый пласт [2]. Чаще всего нагрев пласта применяется для снижения вязкости нефти и очистки призабойной зоны скважины от склеротических бляшек [3]. Тепловые методы (отдельно или в комбинации с другими методами) могут использоваться также при разработке месторождений природных газогидратов [4]. Наиболее распространенным способом нагрева пласта является закачка различных теплоносителей, а наиболее простым, широкодоступным экологически чистым и химически инертным теплоносителем является вода или ее пар. При этом теплосодержание у водяного пара в несколько раз выше, чем у горячей воды. Это обусловлено достаточно большим значением скрытой теплоты парообразования (около 3 МДж/кг). Поэтому инжекция пара в природный пласт позволяет внести значительно больше количество тепла в пласт по сравнению с горячей водой.

В работе было проведено численное исследование инжекции перегретого водяного пара в природный пласт. Была рассмотрена следующая постановка задачи. Пористый пласт постоянной толщины (с непроницаемыми кровлей и подошвой) в начальный момент времени насыщен метаном. Начальное давление и температура одинаковы во всех точках пласта. Через границу пласта закачивается водяной

пар, температура которого превышает равновесную температуру парообразования для данного давления инъекции. В результате инъекции пара в пласте возникают три характерные области. В первой (ближней) области поры насыщены водяным паром, во второй области – водой, в третьей области — метаном. Соответственно существуют две подвижные поверхности: между первой и второй областями (первая граница), на которой происходит конденсация пара, между второй и третьей областями (вторая граница), где происходит вытеснение метана. Для указанной постановки задачи на основе уравнений механики многофазных сред выполнена математическая формализация задачи в виде замкнутой системы дифференциальных уравнений в частных производных с соответствующими начальными и граничными условиями. Полученная система основных уравнений включает в себя уравнения сохранения массы и энергии, закон Дарси и уравнения состояния (а также дополняется зависимостью фазовой проницаемости от насыщенности и условиями фазовых равновесий). Для нахождения значений параметров на границах между областями и законов движения этих границ использованы условия баланса массы и энергии на этих границах. При этом в отличие от классической задачи Стефана температуры на границах фазовых переходов были заранее неизвестны, а определялись из распределения давления.

Построены автомодельные решения для случая, когда пласт имеет бесконечную протяженность. Получены распределения давления и температуры в пласте от автомодельной координаты, а также зависимости автомодельных координат фронтальных границ конденсации водяного пара и вытеснения метана водой от давления инъекции и проницаемости пласта.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00202, <https://rscf.ru/project/23-29-00202/>.

Список литературы

1. Z. Hai-Ling, L. Chang-Xin, Z. Meng-Zhen, and S. Yi. Economics, fundamentals, technology, finance, speculation and geopolitics of crude oil prices: an econometric analysis and forecast based on data from 1990 to 2017 // *Petroleum Science*. 2018. Vol. 15, No. 2, pp. 432-450.
2. J. Bourger, P. Sourieau, and M. Combarous *Recuperation Assistee du Petrole. Les Methodes Termiques*. Paris: Technip, 1984.
3. Н.К. Байбаков, А.Р. Гарушев *Тепловые методы разработки нефтяных месторождений*. М.: Недра, 1977.

4. H. Sun, B. Chen, Z. Zhu, L. Zhang, M. Yang, and Y. Song. Research Development in the Traditional Methods and Water Flow Erosion for Natural Gas Hydrate Production: A Review // Energy Technology. 2023. Vol. 11, No. 1.

УСИЛЕНИЕ ОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ФОНОВОГО ПОЛЯ (ПОЛЯ ПОДСВЕТКИ)

Савватеев Я.В.¹, Ильяхин С.В.², Корнилов Б.А.³

¹ИФЗ РАН им. О.Ю.Шмидта, ²РГГРУ им. С. Орджоникидзе,

³НТК «Диоген», г. Москва

Аннотация

Под воздействием фонового поля при георадиолокационном зондировании повышается временная разрешенность записи, облегчающей поисковые задачи. При определении наличия аномалий, связанных с опережающим картированием кристаллов в породе, необходимо точно локализовать объекты поиска с целью их дальнейшего выбуривания. Одним из методов решения подобной задачи является георадиолокационное зондирование, с получением отраженного сигнала под дополнительным действием фонового поля (поля подсветки)

Ключевые слова: частотный спектр; временной спектр, локальные объекты; прямое Фурье-преобразование, обратное Фурье-преобразование.

Теория

Разрешающая способность метода определяется различным расстоянием между пиками на шкале. Исходный спектр в процессе измерения прибором искажается, пики расплываются, т. е. их ширина увеличивается, и разрешающая способность процесса измерения ухудшается. Функцию, характеризующую степень искажения формы пика прибором, принято называть аппаратной функцией [1]. Очевидно, что для эффективного решения рассматриваемой задачи необходимо восстановить исходный спектр, неискаженный аппаратной функцией [2, 3]. Задача восстановления сигналов, искаженных прибором с конечной разрешающей способностью [4, 5], и при наличии шумов измерений в общем случае сводится к решению линейного интегрального уравнения 1-го рода

$$\int_a^b h(x, y)s(y)dy + n(x) = u(x) \quad (1)$$
$$c \leq x \leq d$$

в котором $h(x, y)$ — аппаратная функция, $s(y)$ — искомая функция (сигнал), $u(x)$ — зарегистрированный прибором спектр, $n(x)$ — случайный шум измерения. Если параметры прибора не зависят от времени, то аппаратная функция зависит только от разности аргументов

$$h(x, y) = h(x - y), \quad (2)$$

и интеграл в уравнении (1) становится интегралом свертки или конволюции (convolution). Поэтому задачу восстановления сигнала называют деконволюцией [6]. Наличие составляющей шума в уравнении (1) обуславливает то, что задача восстановления сигнала является некорректной математической задачей [7, 8]. Основой рассматриваемого способа является фильтр Винера [9]:

$$W(\omega) = \frac{H^*(\omega)}{|H(\omega)|^2 + \frac{P_N(\omega)}{P_S(\omega)}} \quad (3)$$

где $H(\omega)$ — фурье-образ аппаратной функции $h(t)$, $H^*(\omega)$ — сопряженная величина, а $P_S(\omega)$ и $P_N(\omega)$ — спектральные плотности энергии соответственно сигнала и шума. Аппаратная функция $h(t)$ в рассматриваемой задаче соответствует по форме и ширине спектральному пику [10].

Методика измерений

В целом, задачей поставленного эксперимента было проверка возможности определения наличия кристалла во вмещающей породе при помощи высокочастотного излучения георадара в отсутствии фонового поля [11], и при наличии поля подсветки. В качестве источника высокочастотного излучения использовался бетоноскоп производства группы компаний «Логис-Геотех» АБ-1700 с центральной частотой 1,7 ГГц. Объекты поиска – три кристалла берилла различного размера были вставлены внутрь специально высверленных отверстий в блоке газобетона (блок газобетонный Bonolit D500 600*200*100 мм).

Наличие фонового поля повышает разрешающую способность за счет смещения спектра полезного сигнала в сторону высокочастотной составляющей, облегчая задачу выявления аномалий, связанных с локальными объектами [12]. У нас появляется возможность сравнить запись отраженных сигналов без действия фонового поля, и с включенным генератором фонового поля.

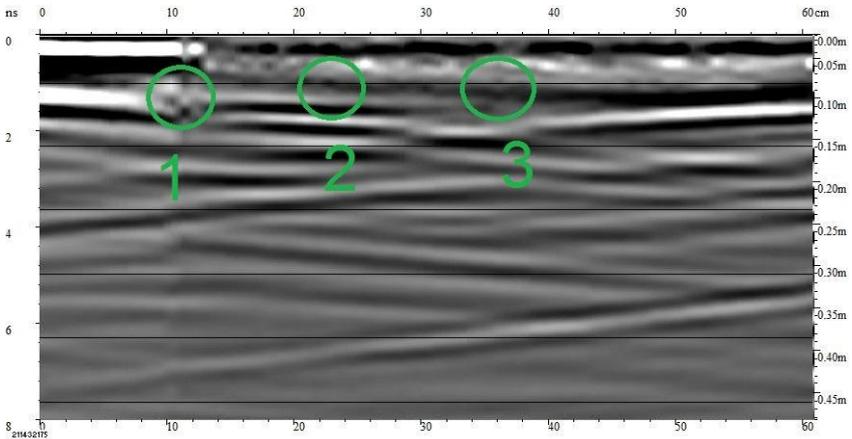


Рис. 1. Профиль георадиолокационного зондирования в отсутствии фонового поля (зеленым цветом показаны объекты, связанные с гиперболами дифрагированных волн)

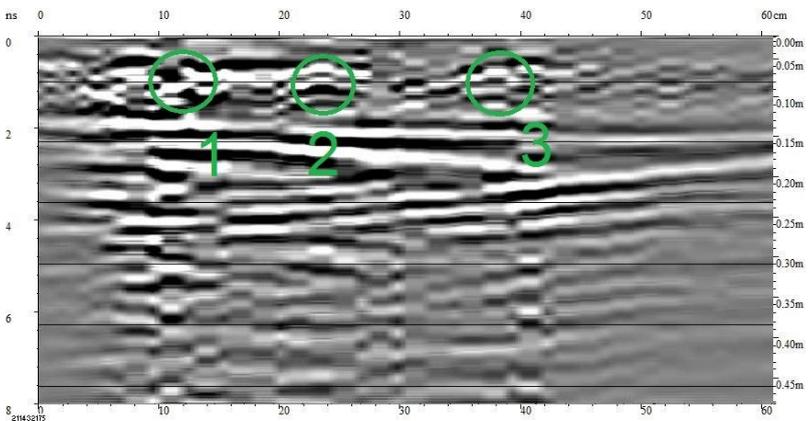


Рис. 2. Запись радарограммы профиля георадиолокационного зондирования при действии генератора фонового поля

Результаты измерений

Рассмотрим спектральные характеристики полученного сигнала, при наличии фонового поля энергия перемещается в сторону более высокочастотной составляющей.

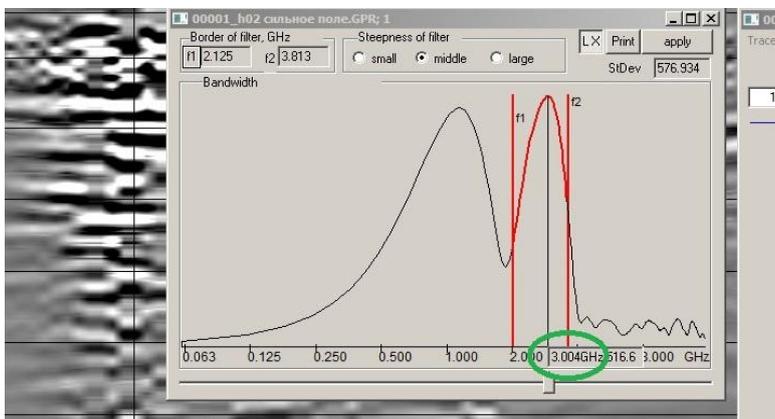


Рис. 3. Исходная радарограмма и полученный спектр с фоновым полем (объект №1). Пик частоты спектра составил 3,004 ГГц

Таким образом, распределение пиковых значений в спектре при наличие фонового поля становится более контрастным, максимальные величины смещаются к более высокочастотной компоненте.

Выводы

При проведении георадиолокационного зондирования действие фонового поля облегчает поиск локальных объектов. Практически на всех выявленных локальных объектах произошло уточнение положения при наличии фонового поля за счет смещения спектра к более высокочастотным составляющим, в том числе появились преотражения, облегчающие картирование положения кристаллов.

Список литературы

1. Варенков В.В., Волкомирская Л.Б., Гулевич О.А., Кривошеев Н.В., Резников А.Е., Сахтеров В.И. «О связи кругизны фронта зондирующего электромагнитного импульса в среде с поглощением и дисперсией эффективности обнаружения аномалий диэлектрической проницаемости» Инженерный вестник Дона, №4, 2018.
2. Набатов В.В., Вознесенский А.С. «Георадиолокационное обнаружение полостей в заобделочном пространстве тоннелей метрополитенов» //Изв.вузов. Горный журн. – 2015 - №2. - С.15-20.
3. Чиж М.А. «Разработка методов обработки радиолографических данных для неразрушающего контроля диэлектрических покрытий» // Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) / диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, 2018.

4. Бардин Б.В. «Способ деконволюции спектрометрической информации и обнаружения спектральных пиков». // НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, 2017, том 27, № 2, с. 75–82.

5. Вайнштейн Л.А. «Распространение импульсов». // УФН 1976г., т.18, вып.2, 339 с.

6. Керюгян А.С. «Пикосекундное переключение высоковольтных обратнорасположенных – структур в проводящее состояние при импульсном освещении». // Физика и техника полупроводников – 2014, т.48, вып.12, 1686 с.

7. Гудмен Дж. Введение в Фурье-оптику / Пер. с англ. под ред. Косурова Г. И. // М.: Мир, 1970. — С. 2-182.

8. Месяц Г.А., Насибов А.С., Кремнев В. В. «Формирование наносекундных импульсов высокого напряжения» Москва, «Энергия», 1970

9. C.S.Bristov and H.M.Jol «Ground Penetrating Radar in Sediments», 2003 Published by The Geological Society, London. «Influence of antenna configuration for GPR survey: information from polarization and amplitude versus offset measurements», page 299

10. Van Gestel, J.-P. and Stoffa, P.L. 2001.Application of Alfort rotation to ground-penetrating radar data. Geophysics, 66, 1781-1792.

11. Boyer A.L. Reconstruction of ultrasonic images by backward propagation // Acoustic Holography. New York: Plenum. — 1970. — Vol. 3. — P. 333-384.

12. Sverre Brandsberg-Dahl , Nizar Chemingui , Alejandro Valenciano , Jaime Ramos-Martinez, and Lingyun Qiu, «FWI for model updates in large-contrast media», January 2017 THE LEADING EDGE, page 81-87

УДК 622.273.2

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ РУД ФОСФОРИТА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСОЛИДИРУЮЩЕГОСЯ ЗАКЛАДЧНОГО МАССИВА ПРИ ОСВОЕНИИ ГРЕМЯЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Татарников В.И.

ИПКОН РАН, г. Москва

По результатам научных исследований 2022 года, выполненных в ИПКОН РАН по договору с ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий», установлено, что для эффективного формирования монолитов закладочного массива на Гремячинском месторождении калийных солей, с целью сохранности водозащитной толщи (ВЗТ), а также увеличения полноты выемки полезного компонента, является способ формирования закладочного массива требуемой прочности на основе обезвоженных

солеотходов [1-2]. Наибольшую полноту заполнения отработанных камер консолидирующей смесью сформированных на месте укладки отходов обогатительной фабрики возможно достичь утрамбовкой формируемого массива в момент закладки. Предел прочности на одноосное сжатие стандартных кубических образцов, заполненных смесью из солеотходов и затворителя, в стандартные кубические формы размером 70*70*70 мм, составляет около 3 МПа на 90 сутки твердения, что уже является удовлетворительным для решения поставленных технологических задач. В соответствии с проектом на разработку Гремячинского месторождения, объем пустот отработанных камер составляет 3,4 млн м³ в год. С условием вибрационного уплотнения, формируемого в подземных камерах закладочного массива, требуемый объем обезвоженных солеотходов обогатительной фабрики составляет около 3 млн м³ [3]. Поэтому для максимально плотного заполнения камеры необходимо подобрать компенсирующий заполнитель, не разупрочняющий формируемый массив.

Для решение поставленных задач было предложено изучение отходов фосфогипсов Кингисеппского месторождения фосфоритов. Благодаря внесением изменениям в ФЗ N 598, стало возможным применение фосфогипсов, как закладочный материал [4]. Изначально были изучены вяжущие свойства образцов закладочной смеси на основе солеотходов и фосфогипса, при помощи иглы Вика согласно ГОСТу 23789-79. Исследования приготовленных с изменением расхода фосфогипса образцов показали, что схватываемость их начинается через 5 дней, а затвердевание начинает происходить на 20 сутки, что хуже соответствующих показателей у образцов без добавления фосфогипса. Поэтому было решено провести предварительную термическую обработку фосфогипса для повышена его вяжущих свойств. После сушки при температуре 105°С в течении 24 часов образцы начинали схватываться в течении 3 минут, а начало процесса затвердения происходит через 6 минут. Аналогичные результаты были получены обжигом фосфогипсов при температуре 250 и 400°С в течении 4 часов.

Для проведения эксперимента с изучением влияния расхода фосфогипса прочность образцов закладочного массива, смешивается с солеотходом и рассолом фосфогипс измельчался на конусной дробилке расход компонентов смеси представлен в таблице 1. Растваривание форм с образцами проводилось на 5 сутки. После этого образцы

выдерживались 40, 60 и 90 дней в климатической камере с установленными атмосферными параметрами, соответствующими рудничным условиям Гремячинского ГОКа. По истечению заданного срока твердения, образцы подвергались испытанию на прессе на одноосное.

Таблица 1

Расход компонентов закладочной смеси

| № пробы | Расход, кг/м ³ | | | Термическая обработка, °С | Предел прочности, МПа | Модуль деформации, МПа |
|---------|---------------------------|-------------|------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|
| | Солеотходы | Затворитель | Фосфогипсы | | | |
| 1 | 1700 | 250 | 0 | 27 | 3,1 | 155 |
| 2 | 1550 | 250 | 250 | 27 | 0,9 | 90 |
| 3 | 1550 | 250 | 250 | 105 | 4,9 | 260 |
| 4 | 1550 | 250 | 250 | 250 | 3,12 | 156 |
| 5 | 1550 | 250 | 250 | 400 | 2,9 | 143 |

Образцы, изготовленные с добавлением фосфогипса без обжига на 90 сутки, показали предел прочности 0,9 МПа, что ниже прочности соответствующих образцов без фосфогипса. Прочностные характеристики образцов свидетельствуют о том, что добавление фосфогипса в смесь солеотходов просушенного естественным способом, разупрочняют консолидированный закладочный массив из отходов обогащения силвинита.

Образцы, заготовленные с добавлением термически обработанных фосфогипсов обеспечили предел прочности на одноосное сжатие от 3 до 5 МПа на 90 сутки. Необходимо отметить, что наибольший результат был получен при сушке фосфогипсов до температуры 105°С, в тот момент, когда заполнитель обжигался результат испытаний на сжатие был аналогичным с исходным образцом без добавления заполнителя. Результаты определения прочностных характеристик представлены на рисунке 1.

Проведя анализ полученных результатов можно сделать вывод, что добавление в состав смеси фосфогипса в естественном состоянии разупрочняет закладочную смесь. При термической обработке фосфогипса образцы набирают предел прочности соизмеримый с базовыми составами закладочной смеси без добавления фосфогипса, а при обжиге до 400°С превосходя ее. Однако принятием решения о возможном и целесообразном добавлении фосфогипсов в состав закладочной смеси необходимо изучить факторы негативного воздействия обжига фосфогипса его присутствие в составе смеси на здоровье человека и состояние рудничной атмосферы.

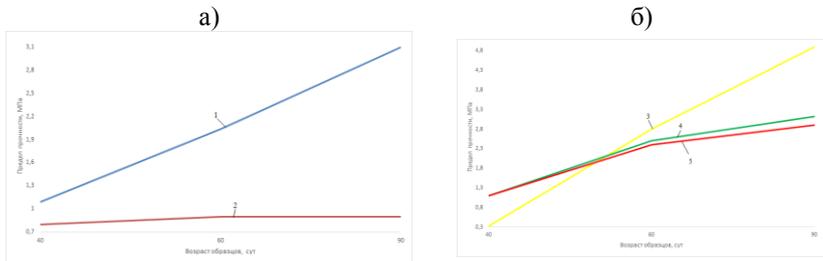


Рис. 1 Динамика набора прочности с добавлением фосфогипсов с различной термической подготовкой: а) 1 – без фосфогипса 2 – с добавлением фосфогипса естественно высушенного; б) термически обработанные фосфогипсы: 1) при температуре 105°С в течении 24 часов; 2) при температуре 250°С в течении 4 часов; 3) при температуре 400°С в течении 4 часов

Список литературы

1. Радченко, Д.Н. Обоснование новой технологии формирования высокоплотных закладочных массивов на основе солеотходов для обеспечения высокой полноты выемки калийных солей при подземной добыче / Д.Н. Радченко, В.И. Татарников, В.В. Гавриленко // Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых: Материалы научно-практической конференции, Магнитогорск, 23–28 мая 2023 года. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2023. – С. 103-106. – EDN QYMPNQ.

2. Рьльникова М.В., Яковлев И.В., Сахаров Е.М., Бергер Р.В. Обоснование структуры и параметров логистической схемы подземного рудника при разработке глубокозалегающих месторождений калийных солей системами с закладкой выработанного пространства. Горная промышленность. 2023;(2):134–139.

3. Бергер, Р.В. Использование солеотходов в закладке выработанного пространства подземного рудника - средство полной утилизации сформированных на поверхности солеотвалов / Р.В. Бергер, В.И. Татарников // Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых: Материалы научно-практической конференции, Магнитогорск, 23–28 мая 2023 года. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2023. – С. 106-109. – EDN ZVYQYE.

Федеральный закон от 29.12.2022 N 598-ФЗ «О внесении изменений в Закон Российской Федерации «О недрах» и статью 2 Федерального закона «Об отходах производства и потребления».

ОСОБЕННОСТИ МНОГОСТАДИЙНОЙ ВЫЕМКИ РУДЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ковальский Е.Р., Конгар-Сюрюн Ч.Б.

Санкт-Петербургский горный университет

Калийные месторождения служат источником сырья для производства минеральных удобрений. Рост населения планеты приводит к необходимости наращивания объемов сельскохозяйственного производства, а значит – к увеличению добычи данного вида полезного ископаемого. В целом по запасам калийных солей, а также по объемам их добычи Россия входит в первую тройку стран мира наряду с Канадой и Республикой Беларусь [1].

Специфика отработки калийных месторождений подземным (шахтным) способом связана со следующими основными аспектами: а) легкая растворимость в воде добываемой руды и вмещающих пород, что предопределяет применение на абсолютном большинстве месторождений камерно-столбовых систем разработки с удержанием кровли на рудных целиках; б) высокая пластичность/текучесть соляных пород, вследствие чего деформирование несущих элементов системы разработки (междукамерных целиков, междупластовых потолочин, кровли камер) неостановимо и необратимо развивается во времени в режиме установившейся ползучести, пусть даже и с небольшой скоростью (квазистатично); в) достаточно низкий предел длительной прочности соляных пород, который для сильвинитов может составлять всего 35% от мгновенной прочности, а для карналлитов – 20%; г) относительно невысокая стоимость конечного продукта, что затрудняет внедрение более дорогостоящих систем разработки с закладкой выработанного пространства на основе цементного вяжущего.

По этим причинам добыча калийной руды в мире характеризуется одними из самых низких коэффициентов извлечения среди всех твердых полезных ископаемых (зачастую не превышает 35%), а также весьма высокой аварийностью, связанной с разрушением несущих элементов системы разработки, нарушением сплошности водо-защитной толщи (ВЗТ) и прорывами в выработанное пространство

надсолевых вод и рассолов, что может привести к полной потере рудника [2, 3].

С целью решения вопросов, связанных с нерациональным использованием ресурсов недр и повышенной региональной опасностью калийных рудников, предлагается рассмотреть перспективу внедрения на калийных рудниках систем разработки с многостадийной выемкой руды. Под многостадийной выемкой понимается последовательная отработка запасов выемочного участка с применением камерно-столбовой системы, включающая чередование очистных и закладочных работ на выемочном участке и доизвлечение запасов руды, оставленных ранее в междуканальных целиках.

Применение многостадийной выемки на калийных месторождениях провоцирует появление ряда сложных горно-геомеханических и технологических вопросов, не возникающих при традиционном способе разработки. К ним относятся: проблема недозаклада камер; прогноз техногенно-измененных физико-механических свойств дорабатываемых пластов и вмещающих пород; влияние многократной подработки, имеющей место при многостадийной выемке, на водопорные свойства ВЗТ; роль фактора времени в развитии геомеханических процессов; рациональный состав и рецептура приготовления закладочных смесей; организационные вопросы взаимоувязки закладочных и очистных работ на участке; собственно технико-экономическая целесообразность многостадийной выемки.

В условиях современных калийных горнодобывающих и перерабатывающих предприятий имеются предпосылки для разработки экономичных составов закладочных смесей, которые могут обеспечить нормативную прочность закладочного массива, требуемую для реализации многостадийной выемки калийной руды [4].

Исследования физико-механических свойств массива в выработанных пространствах [5, 6], проведенные специалистами на Верхнекамском и Старобинском месторождении, показали, что на затухающих стадиях процесса сдвижения соляные породы благодаря ярко выраженным реологическим свойствам практически возвращаются к своему первоначальному состоянию в результате процессов переуплотнения, что также позволяет положительно судить о возможности реализации многостадийной выемки.

Для успешной реализации рассматриваемой технологии необходимо разработать методы оценки степени и интенсивности процес-

сов изменения во времени и пространстве физико-механических свойств массива в зонах ведения очистных работ при многостадийной выемке. Особого внимания требует изучение геомеханического состояния доизвлекаемых целиков и перекрывающих пород (степень их нарушенности; изменение их прочностных и деформационных свойств в результате переуплотнения по мере опускания кровли на закладочный массив), т.к. оно напрямую связано с безопасностью ведения работ в камерах последующих стадий.

Применение многостадийной выемки в условиях калийных рудников позволит достигнуть следующих положительных эффектов: повышение коэффициента извлечения руды; повышение безопасности подработки водозащитной толщи за счет замещения калийных пластов сплошным закладочным массивом; утилизация отходов переработки калийных руд; продление сроков службы калийных рудников.

Для более глубокой оценки совокупности горно-геомеханических процессов в зонах ведения очистных работ и технико-экономических показателей при реализации системы разработки с многостадийной выемкой калийной руды требуется возвести прочный научный и методический фундамент, допускающий реализацию такой технологии системы разработки на калийных месторождениях, что несомненно должно являться предметом исследований профильных специалистов.

Список литературы

1. Земсков А.Н., Максимович Н.Г., Мещерякова О.Ю. Современные тенденции в развитии калийной промышленности в мире. Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2022. Вып. 3. С. 369 – 382.
2. Барях А.А., Губанова Е.А. О мерах охраны калийных рудников от затопления. Записки Горного института. 2019. Том 240. С. 613-620.
3. Зубов В.П. Применяемые технологии и актуальные проблемы ресурсосбережения при подземной разработке пластовых месторождений полезных ископаемых // Горный журнал, 2018, №6, С. 77–83. DOI: 10.17580/gzh.2018.06.16.
4. Щербань П.С. Проектирование системы обратной закладки нового калийного предприятия. Существующие проблемы и пути их решения. Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2022. Вып. 1. С. 388-403.
5. Токсаров В.Н. Определение механических свойств соляных пород отработанной части шахтного поля рудника БКПРУ-2 / В.Н. Токсаров, А.В. Евсеев, В.С. Кузьмин. Научные исследования и инновации. 2011. Том 5. № 2. С. 154-156.

6. Петровский А.Б. Технология выемки оставленных и подработанных запасов по IV сильвинитовому слою на руднике Третьего рудоуправления ОАО «Беларуськалий». Горный журнал. 2018. № 8. С. 64–69.

УДК 622.271

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ САД СИСТЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

**Масальский С.С., Петров К.Д., Задорина Д.С.,
Назарова Д.С., Баскаков А.Д.**

*Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург*

В работе рассматриваются области применения САД систем на этапе создания проекта разработки месторождений.

Актуальность исследования. Проектирование открытых горных работ в наше время неразрывно связано с использованием программного обеспечения. Изучение информационных технологий, внедрённых в горнодобывающую промышленность, позволяет расширить научное знание о функционале программных комплексов.

Методы исследования. Исследование проводилось методами анализа научных работ по теме исследования, изучения функциональных возможностей САД систем.

Основная часть. При проектировании месторождений полезных ископаемых наибольшее распространение получили средства САПР и ГГИС [1, 2]. Их использование в горнодобывающей промышленности позволяет решать проблемы, возникающие при обосновании выбранного метода разработки [3, 4].

Основной идеей данного исследования является изучение САД систем. В ходе исследования было выбрано условное месторождение нерудных полезных ископаемых и создана необходимая горнографическая документация к проекту разработки.

Исследования показало, что для создания топографического плана, положений горных работ и геологических разрезов на конец каждого года разработки, генерального плана, проекта рекультивации, карьера с относительно невысокой производственной мощностью

использование функционала САД систем является эффективным методом проектирования.

В сложных горно-геологических условиях, в случае неравномерного распределения полезного ископаемого в пределах карьерного поля эффективность САД систем снижается, в связи с отсутствием блочного моделирования, являющейся особенностью ГГИС систем.

Применение САД систем при расчёте устойчивости бортов карьера методом предельного равновесия показало наличие достаточного функционала, определяемого необходимостью построения криволинейной поверхности скольжения и последующем подсчёте площадей каждого из выделенного блока [5].

Выводы. В ходе исследования была обоснована область применения САД систем при создании горно-графической документации к проекту разработки условного месторождения, что показывает объективную практическую значимость работы.

Обоснована эффективность применения САД систем при проектировании разработки строительных месторождений.

Выделены достоинства и недостатки применения САД систем при малой и большой производственных мощностях условного карьера, в разных горно-геологических условиях.

Список литературы:

1. Наговицын, О.В. Компьютерные технологии для проектирования и планирования открытых горных работ / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S56. – С. 104-115.

2. Наговицын, О.В. Горно-геологические информационные системы, область применения и особенности построения / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 7. – С. 71-83.

3. Глазунов В.В., Бурлуцкий С.Б., Шувалова Р.А., Жданов С.В. Повышение достоверности 3D-моделирования оползневого склона на основе учета данных инженерной геофизики // Записки Горного института. 2022. Т.257. С.771-782. DOI:10.31897/PMI.2022.86

4. Чернышов С.Е., Попов С.Н., Варушкин С.В., Мелехин А.А., Кривошеков С.Н., Шаоран Рен. Научное обоснование методов вторичного вскрытия фаменских отложений юго-востока Пермского края на основании геомеханического моделирования // Записки Горного института. 2022. Т.257. С.732-743. DOI:10.31897/PMI.2022.51

5. Методические указания по определению параметров бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов. – М.: ИПКОН РАН, 2022. – 80 с.

**ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО АВТОТРАНСПОРТА
В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ НА ОТКРЫТЫХ
ГОРНЫХ РАБОТАХ**

**Петров К.Д., Масальский С.С., Задорина Д.С.,
Назарова Д.С., Баскаков А.Д.**

*Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург*

В работе рассматриваются вариации технологических схем с использованием гидравлического экскаватора типа обратная лопата и гусеничным автосамосвалом, имеющим поворотный механизм при разработке месторождений в трудных горногеологических условиях.

Актуальность исследования. Изучение и внедрение новых технологий позволяют повысить безопасность ведения работ и увеличить производственные показатели [1]. Многие учёные изучали принцип работы звена экскаватор-самосвал и выделили основные технологические схемы, однако, именно применение гусеничных самосвалов с поворотным механизмом является актуальной задачей данного исследования [2-4].

Методы исследования. Исследование проводилось методами анализа технических характеристик и способов применения рассматриваемых видов карьерных экскаваторов и автотранспорта, эмпирическим сравнением челночной и автомобильной техники через обоснование формул, описывающих ширину рабочих площадок при применении разных типов и схем подачи под погрузку автотранспорта.

Основная часть. Основной идеей данного исследования является продолжение изучения выемочно-погрузочной техники, рассмотренной в работе «Исследование технических характеристик серийно выпускаемых моделей выемочно-погрузочного оборудования разных типов», где коллективом авторов были выделены основные модели выемочно-погрузочной техники и произведена классификация в зависимости от вместимости ковша [5].

Исследование комплекса выемочно-погрузочной техники и автотранспорта неразрывно связано с изучением схем подачи самосвалов под погрузку. Наиболее распространённые схемы: сквозная,

кольцевая, тупиковая – рассмотрены в работе при условии отработки забоя верхним черпанием и нормальной ширины заходки.

При работе по сквозной схеме необходимо обеспечить доступ на горизонт на нескольких участках, что в свою очередь не всегда возможно при стесненных условиях разработки.

Применение гусеничных самосвалов с поворотным механизмом имеет свои достоинства: мобильность самосвала особенно в трудных горнотехнических условиях, максимальный преодолеваемый уклон может достигать 200-250%; возможность уменьшения ширины рабочей площадки.

Недостатками схемы выступают: малая грузоподъемность, высокая стоимость оборудования и технического обслуживания.

Основной целью данного исследования является обоснование технологических схем применения гидравлических экскаваторов типа обратная лопата в комплексе с современными видами автотранспортных средств. В ходе исследования были получены значения ширины рабочей площадки при челочно-тупиковой и челочной схеме подачи под погрузку 28,1 и 23,2 м соответственно.

Выводы. В ходе исследования были получены значения ширины рабочей площадки при использовании комплекса экскаватор-автотранспорт при различных вариантах подачи транспортных средств под погрузку.

Обоснована возможность применения гусеничного самосвала с поворотным механизмом при челочно-тупиковой и челочной схеме.

Выделены достоинства применения современных гусеничных самосвалов с поворотным механизмом, за счет сокращения времени при маневрировании.

Список литературы:

1. Loginov E.V., Tyuleneva T.A. Control of quarry parameters to improve the efficiency of hydraulic backhoes // Ugol. 2021, vol. 12, pp. 6-10. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.
2. Fomin S.I., Ivanov V.V. Improving the reliability of opencast system for complex structure ore deposits // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018, vol. 9, no. 13, pp. 36-43
3. Fomin S.I., Ivanov V.V., Semenov A.S., Ovsyannikov M.P. Incremental open-pit mining of steeply dipping ore deposits // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2020, vol. 11, no. 15, pp. 1306-1311.
4. С.Р. Кузнецов, М.А. Васильева (2014) Параметры, определяющие энергоэффективность карьерных автосамосвалов. Записки Горного института. Том 209. С. 185.

5. Логинов Е.В., Масальский С.С. Исследование технических характеристик серийно выпускаемых моделей выемочно-погрузочного оборудования разных типов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. №1. С. 15-23. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-1-15-23>

УДК 622.2

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАЗВАЛА РУДНОЙ МАССЫ С УЧЕТОМ МИНЕРАЛОСОДЕРЖАЩИХ ФОРМАЦИЙ

Хапсироков А.С., Белодедов А.А.

Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова (НПИ)

В настоящее время разработку полиметаллических месторождений открытым способом невозможно себе представить без применения буровзрывных работ (БВР) ввиду высокой крепости как вмещающих горных пород, так и полезного ископаемого. В последние годы наблюдается тенденция увеличения количества рудных формаций в пределах не только месторождения, но и взрываемого блока, поэтому имеет важное значение корректное прогнозирование параметров развала рудной массы (р/м), чтобы снизить или вовсе исключить потери полезного компонента. БВР имеют значительное влияние на процессы отделения массива рудной массы и их дробления, а, следовательно, и на формирование развала. Важным элементом точного прогнозирования параметров развала, определяющим форму, размеры и пространственное расположение рудных формаций в развале, является определение областей смещения рудной массы (рис. 1).



Рис. 1. Области смещения рудной массы

Следует отметить, что точное прогнозирование параметров развала рудной массы влияет на обеспечение высокой степени селективности при обработке рудного блока. Многолетний опыт прогнозирования параметров развала с помощью математического моделирования показал, что существующая точность прогнозирования не соответствует требованиям в современных условиях разработки полиметаллических месторождений и нуждается в совершенствовании [1]. Основная цель работы заключается в математическом моделировании развала с предварительным установлением областей смещения рудной массы. В данной работе для решения поставленных задач применены следующие методы исследования: аналитическими и математическими методами определены зоны воздействия взрыва и их радиусы для конкретного рудного блока [2]; на основе зон воздействия энергии взрыва аналитическими, аксиоматическими и графическими методами установлены области смещения р/м (рис. 1); математическим методом определены параметры областей смещения и расчетных зон (табл. 1); методом практического моделирования осуществлена графическая визуализация результатов (рис. 2) [3].

Таблица 1

Результаты расчетов

| Параметры областей смещения рудной массы | | | | | |
|--|---|--|------------------------------------|----------------------|------|
| Области / Параметры | Скорость смещения р/м на свободную поверхность, м/с | Скорость смещения р/м на пригруз, м/с | Угол вылета кусков рудной массы, ° | | |
| Область 1 | процесс сдвигания | процесс сдвигания | 0 | | |
| Область 2 | 10,2 | 5,8 | 78,75 | | |
| Область 3 | 10,5 | 6 | 90 | | |
| Область 4 | 6,3 | 3,6 | 44 | | |
| Область 5 | 5,8 | 3,31 | 20 | | |
| Область 6 | - | - | 0 | | |
| Область 7 | - | - | 0 | | |
| Параметры расчетных зон | | | | | |
| Расч. зоны | h_{\max} , м | $T_{\text{под}},$ с | $T_{\text{пад}},$ с | $T_{\text{полн}},$ с | L, м |
| 1.1 | 13,78 | Рудная масса после рассеивания энергии взрыва образуют насыпь с естественным углом откоса (38°). | | | |
| 1.2 | 11,05 | | | | |
| 1.3 | 8,7 | | | | |
| 1.4 | 6,25 | | | | |
| 1.5 | 3,75 | | | | |
| 1.6 | 1,25 | | | | |
| 1.7 | -1,32 | | | | |
| 2.1 | 19,52 | 1,05 | 2,25 | 3,3 | 6,58 |

продолжение табл. 1

| Расч. зоны | h_{\max} , м | $T_{\text{под}}$, с | $T_{\text{пад}}$, с | $T_{\text{полн}}$, с | L , м |
|------------|----------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---------|
| 2.2 | 13,2 | 0,6 | 1,7 | 2,3 | 2,6 |
| 2.3 | 10,3 | 0,34 | 1,5 | 1,84 | 1,2 |
| 3.1 | 19,5 | 1,07 | 2,26 | 3,33 | 0 |
| 3.2 | 19,5 | 1,07 | 2,26 | 3,33 | 0 |
| 3.3 | 13,4 | 0,6 | 1,76 | 2,36 | 0 |
| 3.4 | 13,4 | 0,6 | 1,76 | 2,36 | 0 |
| 4.1 | 15,6 | 0,45 | 1,84 | 2,29 | 10,4 |
| 4.2 | 13,14 | 0,45 | 1,7 | 2,15 | 9,8 |
| 4.3 | 10,33 | 0,26 | 1,5 | 1,76 | 4,6 |
| 5.1 | 11,8 | 0,2 | 1,56 | 1,76 | 9,6 |
| 5.2 | 10,4 | 0,2 | 1,5 | 1,7 | 9,2 |
| 5.3 | 8,86 | 0,115 | 1,35 | 1,465 | 4,56 |
| 5.4 | 8 | 0,2 | 1,3 | 1,5 | 8,2 |
| 5.5 | 6,77 | 0,115 | 1,18 | 1,295 | 4,03 |
| 5.6 | 5,9 | 0,115 | 1,1 | 1,215 | 3,78 |
| 5.7 | 5,5 | 0,2 | 1,08 | 1,28 | 6,98 |
| 5.8 | 4,32 | 0,115 | 0,95 | 1,065 | 3,3 |
| 5.9 | 4,09 | 0,115 | 0,92 | 1,035 | 3,22 |
| 5.10 | 3,54 | 0,2 | 0,87 | 1,07 | 5,8 |
| 5.11 | 1,95 | 0,115 | 0,64 | 0,755 | 2,35 |
| 5.12 | 1,71 | 0,115 | 0,6 | 0,715 | 2,2 |
| 5.13 | 0,25 | 0,115 | 0,254 | 0,369 | 1,15 |
| 6 | 0,54 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | -1,43 | 0 | 0 | 0 | 0 |

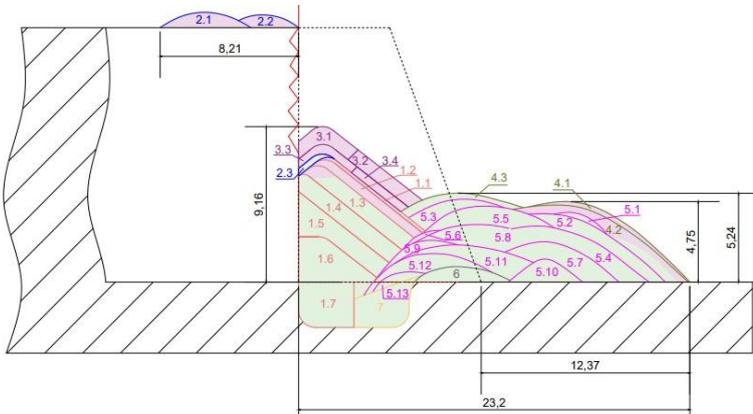


Рис. 2. Модель развала рудной массы

По итогам проведенного исследования можно отметить, что моделирование развала р/м, содержащей различные формации руды, по методу многозонной модели с предварительным определением областей смещения обеспечивает высокую точность прогнозирования баллистических параметров расчетных зон и тем самым увеличивает более высокую степень селективности при отработке рудного блока. Следует учитывать и тот факт, что расчетные зоны можно разделять по другим критериям – крепость, трещиноватость, содержание полезного компонента или примесей, тип рудной формации и т. д. Также ясно, что чем меньше размер расчетной зоны, тем точнее определяется смещение р/м. Учитывая современное состояние разработки полиметаллических месторождений, требующее прогнозировать смещения рудных контуров и блока в целом с погрешностью $\leq 0,3$ м., то, следовательно, размеры расчетных зон должны соответствовать требуемому уровню точности – то есть $0,3 \times 0,3$ м и меньше.

Литература

1. Парамонов Г.П., Лисевич В.В. Прогнозирование параметров развала горной массы при производстве взрывных работ // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. - №4 (46). С. 100-103.

2. Лапиков И.Н. Связь энергии дробления с размерами раздробленных взрывом кусков породы // Взрывное дело, № 103/60. – М.: МВК по взрывному делу АГН, 2010–С. 141–145.

3. Хохлов С.В., Виноградов Ю.И., Носков А.П., Баженова А.В. Прогнозирование смещения рудных контуров при формировании развала взорванной горной массы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 3. – С. 40–56.

УДК 550.834:622.12

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ПРОГНОЗА ЗОН ВЕРОЯТНОГО СКОПЛЕНИЯ МЕТАНА В УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ

Ребенок Е.В, Глухов А.А.

ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк

Выбросоопасность угольных пластов является одним из основных факторов, которые негативно влияют на безопасность труда и снижают эффективность добычи угля [1]. В частности, выделение метана в горные выработки может привести к взрывам метановоздушных смесей и угольной пыли. Места скопления метана приурочены к областям

дробления пород, к зонам повышенной трещиноватости. В первую очередь это зоны влияния дизъюнктивных нарушений, которые могут быть выделены методами наземной сейсморазведки на основе использования отраженных волн [1]. Если зоны трещиноватости образованы иными причинами, они могут образовывать локальные области произвольной формы. Для подобных случаев использование отраженных волн в методическом плане затруднено.

В данной статье рассмотрена целесообразность комплексирования различных методов сейсморазведки для прогноза зон дробления и повышенной трещиноватости горных пород.

Общая схема исследований заключается в следующем. На первом этапе выполняется расчет теоретических сейсмограмм для заданной модели среды в соответствии с выбранной схемой наблюдений. Затем сейсмограммы загружаются в программный модуль обработки результатов сейсморазведки и выполняется обработка по методу общей глубинной точки (ОГТ) и методу дифрагированных волн (МДВ) [2]. Результат обработки сравнивается с модельными данными. Представленные в данной статье расчеты проводились на основе использования обобщенных сейсмических разрезов на участке «Кальмиусский Рудник» поля шахты «Им. А.Ф. Засядько» [3].

В настоящем исследовании моделировались сейсмические поля с учетом зон развития мелкоамплитудной тектонической нарушенности и повышенной трещиноватости горных пород в интервале угольного пласта m_3 . Обобщенный разрез схематически изображен на Рис. 1а. Расположение породных прослоев и параметры пород взяты из монографии [3]. Вся толща представлена в виде монотонно переслаивающихся аргиллитов, алевролитов и песчаников с равнозначным вкладом каждого из этих литотипов пород. Зона нарушенности размещается на уровне плотных слоев песчаника на глубине около 1000 м.

Имитировался полный цикл проведения сейсмических наблюдений по стандартной схеме на профиле с одной расстановкой приемников на свободной поверхности. Подробное описание данной схемы приведено в [1]. Сейсмоприемники (СП) располагаются стационарно с шагом 10 м вдоль профиля наблюдений. В расстановке всего 24 СП. Первый пункт возбуждения (ПВ) сейсмических колебаний расположен с выносом 50 м перед СП№1. Последующие

ПВ моделировались с интервалом 20 м в направлении расстановки СП (всего 19 ПВ).

На рис. 1б представлена мгновенная картина волнового поля SH волн. На границах раздела сред формируются отраженные и преломленные волны. Область аномалии представляет собой зону рассеяния волн, которые распространяются к поверхности практически сферическим фронтом. На рис. 2 представлены результаты обработки данных моделирования по методам ОГТ и МДВ.



Рис. 1. Обобщенная модель разреза углеродного массива (а) и мгновенная картина распространения SH волн (б) для участка «Кальмиусский Рудник» поля шахты «Им. А.Ф. Засядько»

Представленные рисунки представляют собой копии окон отображения информации программного модуля обработки результатов сейсморазведки. По вертикальной шкале сейсмического разреза ОГТ откладываются отсчеты по времени (длина каждой сейсмотрассы составляет 2000 отсчетов). По вертикальной шкале изображения МДВ откладываются расстояния в локальной системе координат (песчаник располагается на 200м, дневная поверхность -1200м). Масштаб иллюстраций для наглядности выбран таким, чтобы позиции характерных особенностей приблизительно соответствовали друг другу.

На сейсмическом разрезе ОГТ (см. рис. 2а) зона трещиноватости проявляется как зона потери синфазности отраженных волн. Результаты численного моделирования показывают, что к такому эффекту может привести понижение скоростей распространения сейсмических волн в зоне серии мелкоамплитудных нарушений на 15-20%. Этот результат не противоречит ранее полученному (см. [3]).

Использование МДВ дополняет картину. На сейсмическом изображении отчетливо проявляются области границ раздела сред. В области аномалии на уровне песчаника наблюдается характерный

разрыв полос синфазности отраженных волн. Верхняя граница зоны аномалии проявляется как область синфазности, образованная при суммировании рассеянных волн.

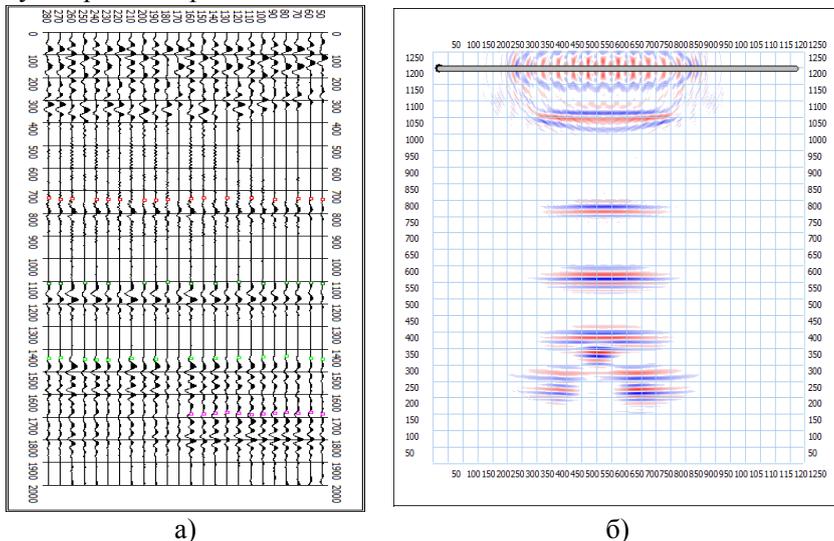


Рис. 2. Сейсмический разрез ОГТ (а) и изображение углепородного массива на основе использования МДВ (б) для участка «Кальмиусский Рудник» поля шахты «Им. А.Ф. Засядько»

Была проведена серия циклов «моделирование-обработка». Варьировались параметры угле вмещающих пород для различных стадий эпигенеза (отвечающих переходу от углей марки Г к углям марки Ж). Результаты исследований в целом свидетельствуют о целесообразности применения ОГТ в комплексе с МДВ для прогноза зон вероятного скопления метана.

Литература

1. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки / Донецк, ООО «Алан», 2002. – 312 с.
2. Глухов, А.А. Алгоритм метода дифрагированных волн по прогнозу дизъюнктивов угольных пластов [Текст] / А.А. Глухов // Журнал теоретической и прикладной механики. - 2021. - №1. - С. 73 - 83.
3. Тиркель М.Г., Анциферов В.А., Глухов А.А. Изучение газоносности угленосных формаций / Донецк, «Вебер», 2008. – 208 с.

ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ СУХИХ КОМПОНЕНТОВ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ В КАЛИЙНЫЙ РУДНИК

Яковлев И.В.

ИПКОН РАН, г. Москва

Главной особенностью современных трендов развития геотехнологии подземной добычи месторождений калийных солей является усложнение условий разработки: наличие водоносных горизонтов, рост глубины залегания продуктивных пластов полезных ископаемых, их протяженности, невыдержанность конфигурации, морфологии и мощности, флексурные нарушения параметров залегания. Указанные факторы предопределяют необходимость применения систем разработки с закладкой выработанного пространства для поддержания водозащитной толщи (ВЗТ) и обуславливают усложнение логистической схемы подземного рудника, что налагает дополнительные технико-технологические требования к основным и вспомогательным процессам транспортирования горно-рудной массы и закладочных материалов, а также применяемому горно-шахтному оборудованию. Основным направлением развития отечественной горнодобывающей промышленности является повышение производительности труда за счет технического перевооружения предприятий на базе новой высокопроизводительной техники и внедрения передовых технологий ведения горных работ. Развитие техники и технологии добычи калийных солей базируется на применении комплексов машин и оборудования, обеспечивающих высокую степень механизации и автоматизации всех производственных процессов на больших глубинах, обеспечение высоких требований промышленной и экологической безопасности, экономическую эффективность добычи калийной соли.

Выбор оптимальной схемы транспортирования и применяемого оборудования для доставки компонентов закладочной смеси влияют на качество компонентов смеси и сохранность в ходе транспортирования к месту укладки. Независимо от способа, ключевым условием любой транспортной схемы является сохранность технологически обоснованных физико-механических свойств основных составляющих компонентов закладочной смеси - солеотходов для формирования закладочного

массива с требуемыми прочностными и деформационными характеристиками. Для достижения данной цели разработан комплекс защитных мероприятий, учитывающий процессы изменения свойств солеотходов в ходе транспортировки. Поэтому для повышения эффективности процесса транспортирования сухих компонентов закладочных смесей при перепуске по трубопроводному транспорту на глубину свыше 1000 м требуется обоснование условий их транспортирования в подземный рудник с сохранением заданных физико-механических характеристик и технологических параметров компонентов закладочной смеси, таких как гранулометрический состав, структура материала, физико-механические и реологические свойства.

Рекомендуемая технологическая схема предусматривает последовательное выполнение следующих работ. Солеотходы от солеотвала до ствола подают конвейерной линией поверхностного закладочного комплекса (ПЗК). Для предотвращения выбросов пыли в атмосферу конвейеры монтируются в крытых галереях, что сокращает потери сырья, пылевыведение в атмосферу, обеспечивая экологически безопасные условия транспортирования. Для обеспечения бесперебойной и надежной работы логистической схемы ПЗК по маршруту солеотвал-флотационная обогатительная фабрика – ствол требуется прокладка двух конвейерных линий. Перед подачей солеотходов в горизонтальный трубопровод предусмотрено предварительное обезвоживание отходов обогащения сильвинита в поверхностном солеотвале. После отстаивания хвостов в солеотвале массовое содержание влаги в солеотходах составляет 8% [1].

В ходе исследований, выполненных в ИПКОН РАН, установлена зависимость уплотнения солеотходов при перемещении по вертикальному трубопроводу при влажности 0,5%, 4%, 8%. Исследование влияния влажности солеотходов при различных режимах нагрузки показало, что чем выше значения влажности испытуемых образцов, тем меньшую нагрузку требуется приложить для увеличения показателей уплотнения при транспортировке по закладочному вертикальному трубопроводу. Для обеспечения контроля и управления потока закладочного материала при перепуске по вертикальному трубопроводу без потери физико-механических свойств солеотходов в трубопуске планируется устанавливать пружинный демпфер (рис.1), который способен уменьшить энергию падения высокоскоростных частиц закладочного состава и, тем самым, избежать измельчения

частиц солеотходов, снизить ударное воздействие на бункер-накопитель, исключить формирование воздушно-ударной волны, обеспечив безопасную и эффективную транспортировку частиц закладочного материала с дневной поверхности в подземный рудник.

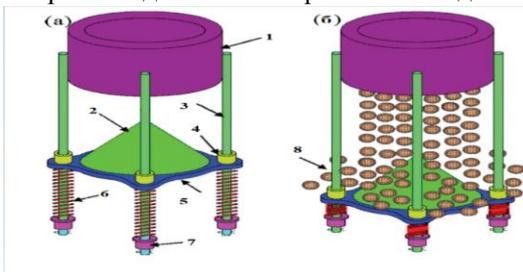


Рис. 1. Основные конструктивные элементы демпферного устройства: 1 – вертикальный транспортный трубопровод; 2 – конический гаситель энергии падения частиц; 3 – направляющие; 4 – верхний ограничитель; 5 – демпферная база; 6 – амортизирующие пружины; 7 – нижний ограничитель; 8 – транспортируемый материал.

Демпферный механизм обеспечивает многократное гашение скорости падения частиц и восстановление под действием амортизирующей пружины. По проведенным оценкам, коэффициент гашения доходит до 60% в зависимости от скорости падения частиц и жесткости пружинного механизма. Стоит заметить, что требуют уточнения в ходе модельного и опытно-промышленного эксперимента параметры демпфирующего устройства, но принцип его работы уже проверен экспериментально на моделях в лаборатории ЭЖОН.

В результате проведенных исследований определены ключевые условия эффективного транспортирования сухих компонентов закладочных смесей в калийный рудник, обоснованы технологические рекомендации по контролю и управлению свойствами транспортирования потоков с сохранением стабильности и непрерывности закладочных работ, позволяющие обеспечить рост производительности рудника и экологическую безопасность освоения месторождения калийных солей.

Список литературы

1. Д.Н. Радченко, В.И. Татарников, В.В. Гавриленко. Обоснование новой технологии формирования высокоплотных закладочных массивов на основе солеотходов для обеспечения высокой полноты выемки калийных солей при подземной добыче. Комбинированная геотехнология: комплексное освоение

техногенных образований и месторождений полезных ископаемых: Материалы научно-практической конференции, Магнитогорск, 2023 года. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2023. – С. 103-106.

УДК 622.03.05

АНАЛИЗ СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ФУТЕРОВКИ СКИПОВ РУДНИЧНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Фролова А.Ю., Зотов В.В.

НИТУ МИСИС, г. Москва

Увеличение объема добычи полезного ископаемого на предприятии горнодобывающей отрасли тесно связано не только с изменением технологии и применением более производительного добычного оборудования, но и с сокращением времени переходных операций [1] на стационарных подъемных установках. Замена добычных комплексов и транспортных машин происходит постепенно и неизбежно по мере износа основного оборудования, однако темп добычи не может превышать скорость откатки отработанной породы и полезного ископаемого из забоя и выдачи его на склад рудничного поверхностного комплекса [2]. Поскольку замена главного подъема на предприятии в большинстве случаев не целесообразна экономически, а подчас невозможна по техническим причинам, единственным путем повышения производительности является снижение затрат времени на сервисные и переходные операции узлов и агрегатов главного подъемного механизма [3].

В предыдущих статьях был проведен сравнительный анализ основных причин износа футеровочных элементов транспортных емкостей скиповых подъемных установок рудников. Как показывают статистические данные, износ элементов футеровки в 70% случаев вызван ударными нагрузками, возникающими при перегрузке породы в емкость. Моделирование показывает, что при массе куска породы от 100 кг возникают высокие деформации в точках крепления футеровочных пластин, приводящие к износу посадочных отверстий, болтов и изменениям геометрии пластины вплоть до полного разрушения элемента футеровки. Было замечено, что стойкость новых видов сталей типа «HARDOX tm» к такого вида нагрузкам сопоставима с классическими отечественными образцами, повышение устойчивости к нагрузкам происходит только с увеличением толщины

образца. Однако увеличение массогабаритных параметров футеровки не целесообразно с точки зрения ухудшения коэффициента тары и уменьшения грузоподъемности скипов [4;8].

На основании результатов моделирования было высказано предположение, что изменение формы образца способно перераспределить напряжения, возникающие внутри образца при ударных нагрузках и соответственно влиять на точки высокой деформации в пределах как отдельного образца, так и групп образцов футеровки, расположенных в определенном порядке. В данной работе проведено моделирование ударного нагружения образцов футеровки, имеющих полусферические элементы формы, и выполнен сравнительный анализ результатов моделирования величин деформации исследуемых образцов (рис.1).

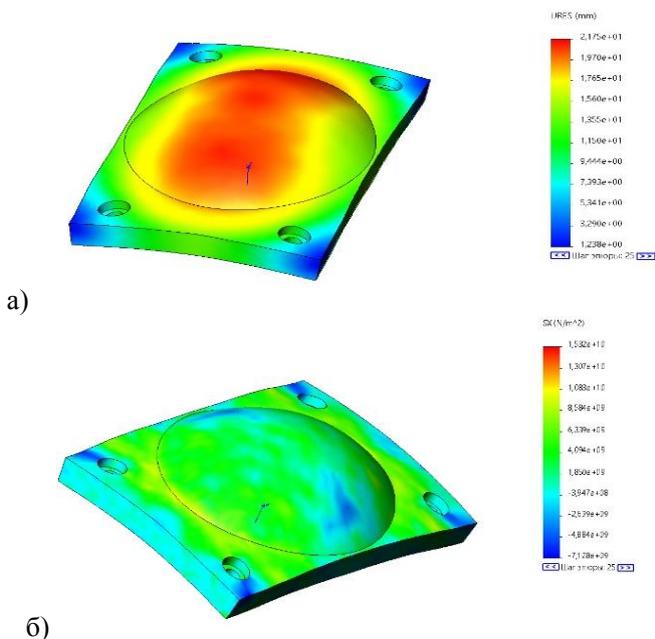


Рис. 1. Эшоры деформаций (а) и напряжений (б) футеровочного элемента полусферической формы

Результаты работы показывают, что футеровочные пластины такого типа позволяют снизить их толщину на 0,7мм. Это влияет на уменьшение количества металла, расходуемого на изготовление футеровки [5,9]. Однако для решения проблемы избыточной загруженности точек

крепления необходимо введение дополнительных демпфирующих нагрузок элементов в конструкцию элементов футеровки.

С учетом развития современных систем контроля состояния исполнительных механизмов [6;7], стоит проработать вариант применения композиционных элементов конструкции на дальнейших этапах исследования.

Список литературы

1. Зотов В.В., Кузиев Д.А., Рыжов И.М. Основные направления повышения технического уровня шахтных подъемных установок // Горная Промышленность. 2014. №2 (114). С. 111.

2. Волков В.В. Значительное повышение производительности скиповых подъемных установок может быть получено минимальными затратами//Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2000. №4. — 6 с.

3. Волков В.В. Повышение производительности скиповой подъемной установки//Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2005. №3.— С. 306-309.

4. Прушак В.Я. Комплекс оборудования скиповой подъемной установки//Горный информационно-аналитический бюллетень. — Москва, 2014. № S6.— С. 176-178.

5. Вагин В.С., Гуров М.Ю. Совершенствование привода подъемных установок, применяемых при строительстве предприятий по добыче природного камня подземным способом//Сборник научных трудов. Под редакцией Першина Г.Д., Магнитогорск, 2006.

6. Вагин В.С., Коперш А.А., Оценка возможности применения следящих систем управления гидроприводом подъемной машины при проходке стволов шахт при добыче природного камня//Сборник научных трудов Международной технической конференции. Под редакцией Першина Г.Д. 2018.

7. Формализация процесса выбора технологий отработки месторождений полезных ископаемых / П. А. Каунг, В. В. Зотов, М. А. Гаджиев [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 2. – С. 124-138. – DOI 10.25018/0236_1493_2022_2_0_124.

8. Kuziev, D.A., Zotov, V.V., Sazankovaa, E.S., Muminov R.O., PERFORMABILITY OF ELECTRO-HYDRO-MECHANICAL ROTARY HEAD OF DRILL RIG IN OPEN PIT MINING: A CASE-STUDY Eurasian Mining, 2022, 37(1), pp. 76–80.

9. Malakhov, V.A., Tropakov, A.V., Dyachenko, V.P., ROLLING RESISTANCE COEFFICIENT OF BELT CONVEYOR ROLLERS AS FUNCTION OF OPERATING CONDITIONS IN MINES Eurasian Mining, 2022, 37(1), pp 67–71.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЦЕЛИК-ЗАКЛАДКА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КОНСОЛИДИРОВАННЫХ ЗАКЛАДОЧНЫЙ МАССИВОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Кирков А.Е., Зубков П.О.

ИПКОН РАН, г. Москва

Гремячинское месторождение калийных солей характеризуется достаточно сложными горно-геологическими, гидрогеологическими, геомеханическими, газодинамическими и горнотехническими условиями разработки, что связано с большой глубиной залегания - около 1000 м, крайней неоднородностью структуры и литологического состава продуктивного пласта и вмещающих пород. Кроме этого, месторождение характеризуется сложной морфологией продуктивной толщи.

Разработка Гремячинского месторождения калийных солей предусмотрена с сохранением водоупорной толщи без нарушения ее целостности и сплошности среды. Для разработки Гремячинского месторождения справедливо определена камерная одностадийная система разработки с закладкой выработанного пространства солеотходами. Исследования проводились с применением геомеханического моделирования участка месторождения. Для моделирования и определения напряженно-деформированного состояния геомеханической системы «целики-закладочный массив» с учетом технологии ведения закладочных работ потребовались создание полноценной геомеханической модели участка, учет реальных данных маркшейдерских наблюдений за конвергенцией горных выработок, проработка вариантов выемки сильвинита камерами различной высоты и определение многих других факторов, отражающих реальные горно-геологические и горнотехнические условия.

В основу моделирования ползучести соляного массива положен метод переменных модулей, позволяющий реализовать модель наследственной линейной ползучести. Для обеспечения адекватности геомеханической модели реальным горно-геологическим условиям разработки Гремячинского месторождения, обработаны данные маркшейдерских наблюдений за конвергенцией горных выработок. Для калибровки геомеханической модели получена зависимость, которая с коэффициентом корреляции 0,92 характеризует процесс развития деформаций ползучести во времени и учитывает

наличие анкерного крепления в горных выработках. Получено уравнение для расчетов деформации массива горных пород методом переменных модулей, позволяющая определять исследуемый параметр в зависимости от задаваемого момента времени. Сравнение результатов калибровки модели с результатами мониторинга показало высокую сходимость данных.

С учетом результатов исследований контакта «целик-закладочный массив» сделаны выводы о напряжениях на контакте в зависимости от прочностных и деформационных характеристик закладочного массива. Определена целесообразность проведения дополнительных исследований свойств закладочных массивов с определением дополнительных деформационных характеристик, что позволит повысить достоверность геомеханической модели.

Установлено, что выбор конструктивных параметров систем разработки на базе моделирования позволяет обосновать направления фронта выемки и оценить перспективу повышения уровня извлечения запасов полезного ископаемого в зависимости от конкретных условий разработки и свойств применяемых составов закладочных смесей. Исследованиями убедительно доказано, что при обосновании условий и параметров технологии выемки запасов с целью повышения уровня извлечения сильвинита требуется не только и не столько обоснование требуемых характеристик закладочного массива, сколько выбор параметров систем разработки, обеспечивающих по мере согласованного развития фронта очистных и закладочных работ условия для перераспределения напряжений в конструктивных элементах системы разработки, позволяющих вести безопасную выемку дополнительных запасов.

УДК 550.834:622.12

ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗА СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Трофимов В.В.

ФГБНУ «РАНИМИ», г. Донецк

Одним из основных негативных факторов, затрудняющих ведение горных работ, являются тектонические нарушения, которые существенно влияют на технологию и процесс отработки угольных пластов, уменьшают эффективность и безопасность труда. Необходимость надежного прогноза горно-геологических условий залегания

угольных пластов привела к разработке современных геофизических методов прогнозирования, особое развитие среди которых получила сейсморазведка [1]. Тем не менее существующие подходы к проведению сейсмоакустических экспериментов и интерпретации их результатов не учитывают влияние сближенного угольного пласта на регистрируемые сейсмоакустические сигналы, что в некоторых случаях приводит к недостоверным результатам или снижает информативность получаемых прогнозов. Данный вопрос актуален для условий Донбасса, где до 70% угольных пластов рабочей мощности характеризуются сложным строением и не менее 40% имеют сближенный пласт с выполнением условий формирования волновода сложного строения [2].

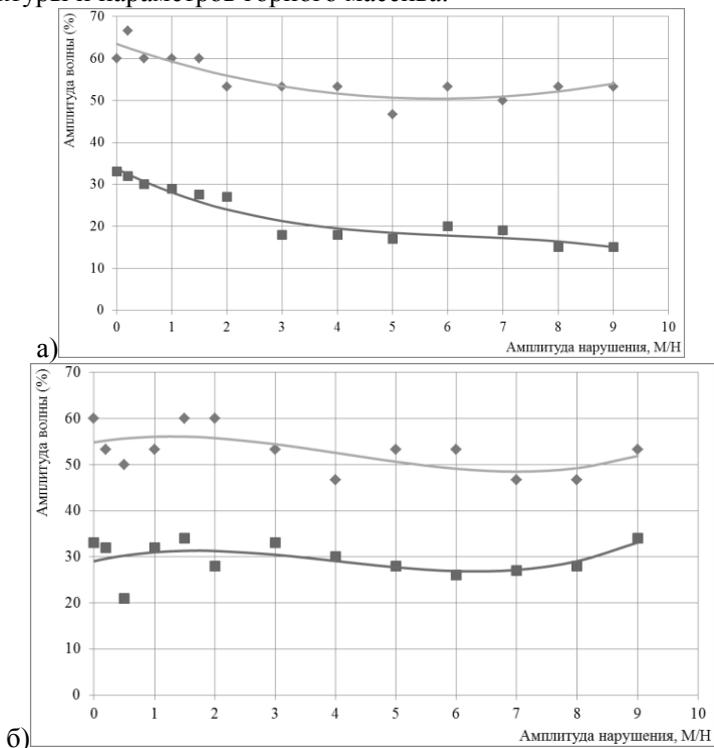
Для решения указанной проблемы в первую очередь были разработаны сейсмогеологические модели типичных для региона горно-геологических условий залегания угольных пластов и модели распределения физических параметров среды в зонах влияния геологических нарушений в условиях сближенных пластов, отражающие тип и параметры тектонических нарушений и зону их влияния. Разработана конечно-разностная схема моделирования, основанная на общем использовании модификации метода Кондратьева и метода эффективных модулей упругости, для математического описания сейсмических колебаний в угленосном массиве с учетом его реологических свойств и пространственного распределения характеристик. Данная схема послужила основой разработанного программного обеспечения моделирования и анализа сейсмических волновых полей в угленосном массиве, позволяющего исследовать структуру волнового поля, кинематические и динамические характеристики информативных волновых пакетов, выполнять расчет общепринятых характеристик и фильтрацию сейсмограмм. При разработке программного обеспечения использованы принципы многопоточной обработки данных. Анализ быстродействия реализуемых алгоритмов показал высокую эффективность применяемых принципов и оптимизации вычислений, а сравнение расчетных сейсмограмм с реально наблюдаемыми на практике подтверждает достоверность получаемых результатов.

Для оценки влияния сближенного угольного пласта на информативные характеристики сейсмических волновых полей выполнено моделирование и анализ полученных результатов с использованием программного обеспечения и моделей горного массива с геологическими нарушениями. Установлено, что наибольшую информацию о

строении и параметрах горного массива со сближенными угольными пластами несут боковые волны сдвига со скоростью поперечных волн во вмещающих породах и частотой 50–300 Гц, боковые волны сжатия, распространяющиеся со скоростью продольных волн во вмещающих породах в частотном диапазоне 30 – 300 Гц, каналовые волны, образованные волноводом сложного строения, с частотой 50–450 Гц и скоростью в диапазоне между скоростями волн сдвига в угле и породном прослое. Для различных параметров тектонических нарушений горного массива со сближенными угольными пластами установлена связь с отклонениями амплитудных и частотных характеристик регистрируемых волновых полей относительно нетронутого массива.

Из полученных результатов следует выделить тот факт, что при прогнозе амплитуды нарушения типа сброс наибольшую информацию несут характеристики боковых волн сдвига (рис. 1, амплитуда нарушения нормирована на мощность угольного пласта), для которых характерно резкое уменьшение амплитуды при величине смещения нарушения более половины мощности волновода сложного строения. С учетом разной мощности и характеристик пород, залегающих ниже или выше волновода сложного строения, в зависимости от положения источника со стороны лежащего или висящего крыла, падение амплитуды боковых волн сдвига может отличаться на 10–20%. Такую впервые установленную закономерность можно объяснить следующим. Основная колебательная энергия «каналуется» волноводом сложного строения, образованным сближенными угольными пластами и пластом породы между ними. Нижележащие или вышележащие пласты пород вместе с угольными пластами могут также образовывать вторичные волноводы сложного строения. Постепенное увеличение амплитуды нарушения приводит к тому, что часть волновых пакетов, претерпевая изменения в зоне дробления, переходит из второстепенных волноводов в угольный пласт и близлежащие породы, и продолжает распространяться по волноводу сложного строения. Но из-за асимметрии характеристик пород, залегающих выше и ниже волновода сложного строения, существенное значение имеет взаимное расположение источников и приемников сигнала. При этом не малую роль играет мощность волновода сложного строения. Таким образом, с учетом геологоразведочных данных возможно определение не только амплитуды нарушения, но и направления смещения вдоль нарушения.

Полученные результаты могут быть использованы геофизическими службами и геологоразведочными организациями для обработки и анализа данных сейсмических исследований при прогнозе структуры и параметров горного массива.



Типы волновых пакетов:

◆ – боковые волны сжатия;

■ – боковые волны сдвига

Рис. 1. Зависимость амплитуд волновых пакетов боковых волн сжатия и сдвига от амплитуды нарушения для модели, содержащей волновод сложной структуры: а) источник сигнал расположен со стороны висячего крыла; б) источник сигнал расположен со стороны лежащего крыла

Список литературы

1. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки [Текст] / А.В.Анциферов. – Донецк: ООО «Алан», 2002. – 312 с.

2. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР: В 12 т. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – Т. 1: Угольные бассейны и месторождения юга европейской части СССР. – 1210 с.

УДК 621.3.019.3

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ
НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ
МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ
ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Бабанова И.С.

Санкт-Петербургский горный университет

В соответствии с Доктриной энергетической безопасности РФ, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 13 мая 2019 г. № 216 «Об утверждении Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации», одним из основных приоритетов государственной энергетической политики является «гарантированное обеспечение энергетической безопасности страны в целом и на уровне субъектов Российской Федерации, в особенности расположенных на геостратегических территориях».

В работах ряда авторов рассматриваются вопросы экономического обоснования оптимального уровня надежности электроснабжения потребителей, а также подходы к оценке ущерба от аварийных перерывов электроснабжения [1]-[3]. В представленных работах рассматриваются некоторые методические вопросы определения ущербов от нарушений электроснабжения и снижения качества электроэнергии, базой которой являются положения 60-90 гг. Отдельного внимания заслуживают работы, связанные с обоснованием нормирования надежности и качества электроснабжения потребителей. В сформированной концепции по надежности отражены основные проблемы по оценке нормативов, представлен перечень программ конкретных проблем и направлений обеспечения надежности в электроэнергетике [4].

В работах [5]-[12] рассмотрены основные проблемы повышения надежности электроснабжения предприятий минерально-сырьевого комплекса, в том числе с применением логико-вероятностного метода оценки надежности структурно-сложных систем, автором которого

является Рябинин И.А. В работе [9] представлены основные вопросы управления электропотреблением предприятий с учетом оценки технического состояния. Авторским коллективом выполнены исследования по повышению надежности систем электроснабжения электротехнических комплексов (СЭС ЭТК) с применением программного обеспечения [10]. Отдельного рассмотрения заслуживают основные проблемы ежегодного научного семинара, связанного с вопросами исследования надежности больших систем энергетики Ю.Н. Руденко [12].

Основная цель представленной статьи – анализ существующих проблем, подходов и решений в области надежности СЭС ЭТК промышленных предприятий.

В ходе исследования были решены следующие задачи: выявлены основные проблемы в области надежности СЭС ЭТК среди руководителей и специалистов, занимающихся данными вопросами на предприятиях; рассмотрены и сделаны отдельные выводы по разработанным блокам опроса; анализ отдельных ответов и выявление функциональных взаимосвязей; выделены основные возможности для развития и усовершенствования направления в рамках ответов представителей компаний.

Исследование включало в себя несколько этапов, краткое описание которых представлено ниже:

-поисково-теоретический, в ходе которого был рассмотрен отечественный и зарубежный опыт стран в отношении нормативной базы по показателям надежности, были проанализированы существующие документы и накопленный опыт: в отношении нормативной базы к показателям надежности; требования, предъявляемые к уровню надежности электрических сетей; международная практика анализа надежности; нормативно-техническое обеспечение отдельных компаний и отраслей и др.;

- диагностический, включающий разработку и утверждение опроса по проблемам надежности СЭС ЭТК промышленных предприятий;

- рассылка опроса в различные компании приглашения к участию;

- проведение опроса, целью которого являлось определение существующих проблем обеспечения надежности энергоснабжения;

- формулировка основных выводов для специалистов служб главного энергетика предприятий, производителей оборудования, сотрудников научно-технических центров, проектных институтов,

научных сотрудников вузов, занимающихся вопросами изучения надежности и др.

Выявлены основные проблемы по следующим блокам: качество энергоснабжения предприятия и его надежность; надежность энергораспределения внутри предприятия и контроль влияния установленного электрооборудования на качество электрической сети; знания в части надежности и заинтересованность в проведении таких расчетов. Даны рекомендации по выявленным проблемам, в том числе анализу отдельных показателей надежности электроснабжения промышленных предприятий.

Обоснована целесообразность использования общего логико-вероятностного метода (ОЛВМ) для расчета надежности систем электроснабжения предприятий минерально-сырьевого комплекса (МСК). Рассмотрен расчет показателей надежности (коэффициент готовности, среднее время наработки, среднее время восстановления, вероятность безотказной работы). Выполнен анализ влияния надежности выделенных элементов на надежность системы в целом. Представлена оценка экономических рисков при снижении напряжения в электрическом узле на примере горного предприятия. Предложен комплексный подход к решению проблемы оценки показателей энергоэффективности и показателей надежности систем электроснабжения предприятий МСК путем применения ОЛВМ расчета при условии ограничения электроснабжения. Даны рекомендации по повышению энергоэффективности и анализу надежности электроснабжения предприятий МСК на основе логико-вероятностного метода.

Список литературы

1. Овсейчук, В.А., Шимко С.В. Экономически обоснованное нормирование надежности и качества электроснабжения потребителей // ВЕСТНИК РАЕН. 2013. Том: 13, №1. С. 111-112.
2. Непомнящий, В.А. Экономические потери от нарушений электроснабжения потребителей. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010. — 188 с.: ил.
3. Эдельман, В.И. Методика оценки ущерба потребителей энергии при нарушениях электроснабжения // Академия энергетики. 2009. № 4.
4. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике / Руководитель Комиссии Минэнерго РФ по разработке Концепции – чл. корр. РАН, профессор, д.т.н. Воропай Н.И. М., 2011.
5. Бабанова, И.С. Анализ надежности систем электроснабжения промышленных предприятий с использованием логико-вероятностного метода / И.С. Бабанова // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2022. – № 2(68). – С. 43-59. – DOI 10.53015/18159958_2022_18_2_43.

6. Абрамович, Б.Н. Проблемы повышения эффективности электроснабжения горных и нефтегазовых предприятий / Абрамович Б.Н. // Записки Горного института. 2004. Том 157. С. 90.

7. Петров, С.П. Применение логико-вероятностного метода моделирования для расчета надежности систем электроснабжения / С.П. Петров, С.В. Бабурин, Д.А. Устинов // Наука и техника в газовой промышленности. 2011. № 3. С.47-50.

8. Абрамович, Б.Н. Метод синтеза топологии систем электроснабжения предприятий минерально-сырьевого комплекса на основе логико-вероятностных оценок / Б.Н. Абрамович, С.В. Бабурин // Записки Горного института.-2016.-Т218. - С. 233-239.

9. Бабанова, И.С. Управление электропотреблением предприятий нефтегазового комплекса с учетом диагностических оценок технического состояния потребителей-регуляторов / Бабанова И.С., Прохорова В.Б., Токарев И.С. - Москва: Горная книга, 2022. - 371 с.

10. Надежность промышленных электротехнических комплексов: монография / Б. Н. Абрамович, С. В. Бабурин, И. А. Можаяева [и др.]; под общей редакцией доктора технических наук, профессора Б.Н. Абрамовича. - Санкт-Петербург: Наука, 2021. – 154

11. Бабанова, И.С. Проблемы надежности систем электроснабжения электротехнических комплексов промышленных предприятий [Электронный ресурс]. 2023. URL: https://szma.com/wp-content/uploads/2021/05/Problemy-nadezhnosti-sistem-energoberezheniya_rezultaty.pdf (дата обращения: 02.03.2023).

12. Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики [Электронный ресурс]. 2023. URL: <http://les.sei.irk.ru/> (дата обращения: 02.03.2023).

УДК 622.275

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ВЫЕМКИ ЗАПАСОВ АЛМАЗОНОСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ОПАСНЫХ ЗОНАХ ОТ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Красюкова Е.В.

ИПКОН РАН, г. Москва

В настоящее время на руднике «Интернациональный» практически отработаны основные запасы месторождения системами разработки с закладкой выработанного пространства. Законсервированными остаются запасы в зоне метегеро-ичерского комплекса и под дном карьера с водным объектом на дне. Также планируется строительство подземного рудника «Мир-Глубокий», который будет располагаться под мощным барьерным целиком разделяющим выработки

затопленного рудника «Мир», содержащим в себе внушительные запасы месторождения.

Обработка массива в таких зонах представляет особую сложность, в связи с высокой вероятностью затопления всего рудника водами высонапорного водоносного горизонта, поэтому вопрос разработки технологии, обеспечивающей безопасность ведения горных работ в этих зонах, является актуальной инженерной задачей.

По результатам комплексного анализа горно-геологических и технологических условий на кимберлитовых трубках Якутии, мирового опыта ведения горных работ вблизи водных объектов, а также компьютерных математических расчетов, наиболее перспективным является применение технологии с оставлением защитной кимберлитовой оболочкой по контуру рудного тела в пределах ОЗ и обработкой внутри нее вертикальными блоками. Для выемки запасов внутри защитного контура предлагается два способа извлечения полезного ископаемого - по методу VCR и обработка скважинами большого диаметра.

Первый способ подразумевает, что с верхнего горизонта блока бурятся вертикальные параллельные скважины на нижнюю подсечку камер и скважинными зарядами в направлении снизу вверх идет секционная отбойка руды. По мере того, как каждый заряд загружается и детонирует с повторением этого процесса, оставшаяся руда, подлежащая взрыву, «отступает» вверх до тех пор, пока в верхней части забоя не останется участок примерно от 7 до 17 м. Оставшаяся зона известна как «корона», которая остается нетронутой для зарядания и из соображений безопасности взрывается сразу.

Второй метод предполагает выбуривание массива скважинами большого диаметра. Для этой схемы на рудниках «Интернациональный» и «Мир» имеется необходимое оборудование – станки типа Robins, применяемы для проходки восстающих, при необходимости покупки, есть возможность приобретения аналогичного оборудования в ЮАР или Перу.

Условия применения таких технологий зависит от обеспечения устойчивости в первую очередь вертикальных обнажений.

В связи с этим, была разработана программа расчета в объемной постановке с использованием программы Midas GTS NX, позволяющая производить оценку устойчивости конструктивных элементов систем разработки на различных стадиях обработки запасов.

Результаты математического моделирования показали, что вокруг выработанного пространства при высоте камер 100 метров

фиксируются локально небольшие участки (до 20 см), где напряжения достигают предела прочности пород на сжатие. В целом картина распределения вертикальных напряжений вокруг отработанной области позитивная и позволяет предварительно говорить о возможности применения рассматриваемой геотехнологии.

Предлагаемый подход к отработке запасов в опасных зонах позволяет произвести выемку большей их части, законсервированных в барьерных целиках, при этом полностью освобождая от негативного влияния геофакторов, возникающих при нарушении равновесного состояния природной системы. Что позволяет применять для разработки высокопроизводительные варианты систем, в том числе без присутствия человека в очистном пространстве, а также варьировать технологией выемки в зависимости от конкретных горнотехнических условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основные направления развития геотехнологий подземной разработки рудных месторождений на больших глубинах / И.И. Айнбиндер, Ю.П. Галченко, О.В. Овчаренко, П.Г. Пацкевич // Горный журнал. – 2017. – № 11. – С. 65-71. – DOI 10.17580/gzh.2017.11.12. – EDN ZWSSNX.

2. Каплунов Д.Р., Калмыков В.Н., Рыльникова М.В. Комбинированная геотехнология. - М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2003. - 560 с.

3. Шестаков Д.М. «Динамика подземных вод», Издательство московского университета, 1979.

4. Harraz, Hassan. (2010). Underground mining Methods. 10.13140/RG.2.1.2881.1124.

https://www.researchgate.net/publication/301833045_Underground_mining_Methods

5. Brown, E. T. (2003). Block caving geomechanics. The international caving JKMRC monograph series in mining and mineral processing, University of Queensland, vol. 3.

УДК 622.691.32

СПОСОБ УКРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ БОРТА КАРЬЕРА

Айтказинова Ш.А., Киргизбаева Д.М.,

Нукарбекова Ж.М., Нурпенсова М.Б.

*Казахский национальный исследовательский технический университет
(КазНТИУ) имени К.И.Сатпаева, г. Алматы, Казахстан*

Введение. При открытых разработках месторождений важно учитывать сроки службы бортов и откосов уступов карьеров. Для повышения эффективности и полноты отработки месторождения,

ведения горных работ в карьере требуется надежное обеспечение устойчивости карьерных откосов.

Применение искусственного укрепления горных пород и массивов позволяет увеличить углы откосов на участках с неустойчивыми породами. Целесообразность укрепления устанавливается технико-экономическими расчетами. Укрепление некоторых участков достигается с помощью веществ, значительно повышающих ее прочностные характеристики. Введение упрочняющего вещества в массив производится под давлением, также применяются цементные растворы, силикаты и полимерные смолы в качестве упрочняющегося материала, о чем свидетельствуют публикации ученых в области горного дела. Одним из наиболее распространенных методов упрочнения является цементация горных пород.

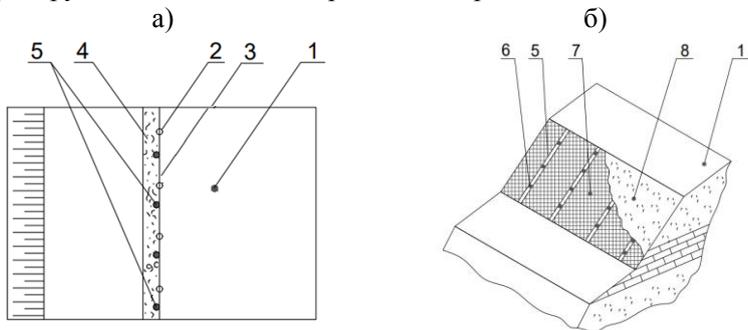
Цементный раствор готовят на основе цемента и воды. Предлагаемый нами способ используется для укрепления откоса уступов карьеров. Технический результат – повышение надежности укрепления откоса уступов карьера и предотвращение осыпания пород с поверхности откоса с использованием отходов ГМК.

Такой метод обеспечения устойчивости откосов и уступов карьеров является комплексной задачей, решение которой должно включать не только определение параметров устойчивых откосов, но и управление ими для достижения лучших экономических результатов и природных ресурсов. Здесь главная задача состоит в разработке укрепляющих растворов по низкой цене, с высокой прочностью [1]. Сущность этого способа заключается в том, что бурят экранирующие наклонные скважины параллельно будущей поверхности откоса и их взрывают; создают зоны дробления, бурят дополнительные наклонные скважины, где устанавливают арматуры и заполняют их укрепляющим раствором. Затем на площадке уступа бурят скважины, закрепляют в них анкеры и натягивают тросы между арматурой и анкерами. При использовании этого способа на действующих карьерах убедились, что способ надежно укрепляет уступ карьера, но отличается сложностью.

В основу заявляемого изобретения положена задача создание простого способа укрепления откоса уступа карьера и предотвращение осыпания пород с поверхности откоса [2].

Технический результат – повышение надежности укрепления откоса уступов карьера и предотвращение осыпания пород с поверхности откоса, и наконец, обрушения бортов карьера. Способ

осуществляется следующим образом (рисунок, а-рабочая площадка в плане; б-укрепление откоса карьера в изометрии): при проходке горных работ к границе борта карьера бурят наклонные экранирующие скважины 2 с расстоянием между ними 1,5-3 м в зависимости от крепости горных пород параллельно будущей поверхности откоса 3. Экранирующие скважины 2 заряжают и взрывают.



**Рис. а-рабочая площадка в плане;
б- укрепление откоса карьера в изометрии**

После взрыва образуется зона дробления пород 4. Затем производят уборку взорванной горной массы 4 и защищают поверхность откоса 3. Укрепляют арматуры 5, с приваренными крючками для натягивания на них сетки и осуществляют нагнетание в них укрепляющего раствора (цементного раствора с добавлением отходов ОФ, на всю глубину до верхней отметки с последующим его твердением. При этом арматура 5 должна прилегать к поверхности откоса 3 карьера. Оставшиеся горный массив перед линией откоса 3 взрывают. Затем производят уборку взорванной горной массы 4 и защищают поверхность откоса 3. К арматуре приваривают стержни или крючки 6. Затем на них натягивают металлическую сетку (рабицу) 7 и наносят на сетку слой укрепляющего раствора - 8 методом набрызга [3].

На основании проведенных исследований, нами предложен раствор для укрепления трещиноватых горных пород, содержащий наполнитель, цемент и технологическую воду. Для уменьшения стоимости раствора в качестве наполнителя предложено использование хвостов обогатительных фабрик, которые являются многотоннажным отходом производства и для их складирования выделяются большие площади [4].

Для нахождения прочности из смеси формируются образцы 4x4x16 см и уплотняются на виброплощадке в течение 45 сек, через сутки

извлекаются из форм и хранятся во условиях влажности 28 суток (отправное значение), а затем проводятся физико-механические испытания, результаты которых представлены в таблице.

Таблица

Физико-механические свойства раствора

| При- мер | Состав раствора, мас. % | | | | Показатели | | |
|-------------|-------------------------|--------------|---------------|------|--|--|-------------|
| | Це- мент | Хвосты ОФ | Неолит 400 | Вода | Предел прочности на сжатие, МПа | Предел прочности на растя- жение, МПа | Осад- ка |
| 1 | 32 | 52 | 0,16 | 15,9 | 32,4 | 4,3 | 150 |
| 2 | 33,4 | 49,3 | 0,13 | 16,3 | 35,7 | 5,1 | 146 |
| 3 | 37 | 47 | 0,11 | 16,9 | 36,9 | 5,7 | 142 |

Техническая новизна созданного раствора была подтверждена патентами РК на изобретение [5].

Использование хвостов обогатительных фабрик способствует снижению себестоимости состава и повышению прочности материала. При увеличении количества цемента на более 35%, а суперпластифицирующей добавки Neolit 400 на более 1% увеличивается себестоимость состава.

При уменьшении количества цемента на менее 30%, а суперпластифицирующей добавки Neolit 400 на менее 0,9% увеличивается прочность полученного материала. Увеличение количества хвостов обогатительных фабрик на более 50% приведет к снижению текучести раствора и его адгезию с горными породами, а уменьшение на менее 45% повысит себестоимость состава.

Выводы. Таким образом, применение вышеописанного раствора обеспечивает укрепление слабых участков бортов и позволяет существенно уменьшить вредное воздействия отходов обогатительных фабрик на окружающую среду

Список литературы

1. Sh.K.Aitkazanova, A.A.Bek, K.N.Derbisov, M.B.Nurpeissova Preparing solutions based on industrial waste for fractured surface strengthening // News reports bulletin of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan (входит в базу данных SCOPUS). - Алматы. 2020, №5. - С. 81-90. DOI: 10.32014/2020.2518-170X.11. М.

2. Бек А.А., Айтказинова Ш.А., Нурпеисова М.Б., Нукарбекова Ж.М. Assessment of the suitability of enrichment waste for the production of building materials// Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2022. ISBN 978-620-4-20609-7.

3. Патент РК на изобретение № 36246. Способ укрепления откоса карьера от 02.06.2023 г/ Нурпеисова М.Б., Айтказинова Ш.К., Бек А.А., Нуркарбекова Ж.М. <https://kazpatent.kz/images/bulleten/2023>

4. Айтказинова Ш.К., Бек А.А., Имансакипова Б.Б., Нурпеисова М.Б. Инновационные методы контроля состояния массива горных пород, // Германия: LAR Lambert Academic Publishing ,2022.- 112 с. ISBN 978-620-5-51155-8.

5. Патент РК на изобретение №36220. Состав раствора для укрепления нарушенных горных массивов. от 19.05.2023 / Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Г.М., Бек А.А. <https://kazpatent.kz/images/bulleten/2023>.

УДК 550.83

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРУППЫ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Нефедов С.И.^{1,2}, Икреников М.С.²

¹ИПКОН РАН, ²МИЭМ НИУ ВШЭ, г. Москва

Сейсмические волны способны приводить к значительным разрушениям, поэтому очень важно понимать их природу, чтобы лучше предсказывать их величину и их воздействие, которое они могут оказать на различные инфраструктурные объекты. Источники возмущений могут быть как естественные, так и техногенные.

Воздушные и водные среды можно назвать однородными, анизотропными (распространение во все стороны одинаковое) и не имеющих резких переходов внутри одного состояния, в то время как земная кора, особенно в верхней её части имеет высокую неоднородность, вследствие чего образуются вторичные волны, как результат взаимодействия волны с неоднородностью или отражения от границы раздела сред. Ещё одной особенностью твёрдой среды распространения является несколько типов основных волн: продольные (Р- волны), поперечные (S-волны) и поверхностные волны. В воздушных и водных средах распространяются только продольные волны. Разные типы волн имеют в общем случае разную скорость распространения и разный спектральный состав.

Очень важной задачей является классификация событий, то есть определение источника сейсмических волн. Например, различение взрывов и землетрясений [1,2,3,4]. В качестве критериев для определения источника используются различные методы основанные на: соотношения амплитуд продольных и поперечных волн, продольных

и поверхностных волн, формы записи во времени, полярности первых вступлений Р-волн, наличие поверхностных волн, спектральные характеристики сейсмограмм и др. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

Волновые формы как промышленных взрывов, так и землетрясений нестабильны. Для одних событий на записи взрывов отчетливо видна S-волна, для других событий она скрыта фоне Р-волны. В ряде случаев поверхностная волна для техногенных событий очень интенсивна и может быть ошибочно принята за S-волну. Форма записей землетрясений также может отличаться от классической и не иметь вступления S-волны [1]. Поэтому методы основанные на изучении форм во времени и на изучении спектральных характеристик не всегда точны. Так в работе 2 удалось достигнуть показателей в 6% для ложных тревог (промышленный взрыв был интерпретирован как землетрясение), а пропуск цели (не распознавание землетрясения) в 3%. Данные результат показывают достаточно неплохой уровень различения событий, но в его сути заложена его главная слабость. Для определения события изучалась стабильность спектральных составляющих спектра сигнала. Например, для массовых промышленных взрывов при разработке карьеров характерна высокая нестабильность в области частот 5-20 Гц. Но из-за того что на датчике представлена суперпозиция от всех взрывов с учётом их интерференции оценить реальную мощность, значение в конкретный момент времени представляется затруднительным. Дополнительную сложность оказывает несколько типов волн, многолучёвость в следствии отражений от неоднородности и границ раздела и то что взрывы идут с задержкой (одни волны могут наложиться на другие). Также стоит отметить, что довольно часто присутствуют события природа которых не относятся к взрыву. Но даже если событие слабое, но близко расположенное, измеренное событие по амплитуде может не уступать массовому взрыву на достаточно большом расстоянии.

Если источником является массовый взрыв, может потребоваться измерить мощность его воздействия.

Для решения этих задач планируется использовать систему с группой датчиков, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга. Геофоны отправляют измерения в одно обрабатывающее устройство. Благодаря небольшому расстоянию между датчиками, можно говорить, что на на всех датчиках наблюдается волна в один и тот же момент времени, при этом волны от большого числа источников в каждой точки будут складываться по разному. По центральной предельной теореме сумма достаточно большого количества

случайных величин, имеющих примерно одинаковый масштаб, имеет распределение близкое к нормальному. Промышленный взрыв представляет из себя взрывы групп зарядов с задержкой. Поэтому можно рассматривать волны от этих взрывов как эти самые случайные величины. Получается в каждый момент времени получается не случайная оценка, а взвешенная, как результат измерений со всех датчиков. Также это позволяет оценить разницу в векторе скорости для близких точек. Предполагается что можно будет различать слабые события на маленьких расстояниях и сильные на больших. Это можно сделать благодаря оценки направлению распространению и уровня сигнала для более близких и дальних датчиков по отношению к источнику вибрации.

Список источников

1. Добрынина А.А., Герман В.И., Саньков В.А. Распознавание промышленных взрывов и слабых природных землетрясений // Уголь. 2022. № S12. С. 23-29.
2. Jari Kortström, Marja Uski, Timo Tiira. Automatic classification of seismic events within a regional seismograph network / Kortström J., Uski M., Tiira T. // Computers and Geosciences — 2016. – V. 87. – P. 22–30.
3. В.Э. Асминг, Е.О. Кременецкая, Ю.А. Виноградов. Использование критериев идентификации взрывов и землетрясений для уточнения оценки сейсмической опасности региона // Вестник МГТУ. 2010. Т.13, № 4/2. С. 998-1007.
4. Годзиковская А.А. Местные взрывы и землетрясения. М.: Наука, 2000. 108 с.
5. И. А. Зуева, А. А. Лебедев. Характерные черты сейсмических записей промышленных взрывов на Костомукшском железорудном месторождении по данным станции карельской сети// ВЕСТНИК ВГУ. СЕРИЯ: ГЕОЛОГИЯ. 2017. № 2 С. 133-141.
6. Морозов А.Н. Метод идентификации взрывной сейсмичности на территории Архангельской области // Вестник Краунц. Науки о Земле. 2008. Т. 11. № 1. С. 177-184.
7. Discrimination of the natural and artificial quakes in the Eastern Marmara Region, Turkey / F. Sertcelik, E. Yavuz, M. Birdem et al. // Acta Geodaetica Et Geophysica. 2020. Vol. 55. P. 645-665.
8. Discrimination Between Small Earthquakes and Quarry Blasts in Egypt Using Spectral Source Characteristics / I.M. Korrat, A. Lethy, M.N. ElGabry et al. // Pure and Applied Geophysics. 2022. Vol. 179. P. 599-618.
9. Discrimination of quarry blasts from tectonic events in the Armutlu Peninsula, Turkey / E. Yavuz, F. Sertçelik, H. Livaoğlu et al. // Journal of Seismology. 2019. Vol. 23. P. 59-76.

10. Kim S., Lee K., You K. Seismic Discrimination between Earthquakes and Explosions Using Support Vector Machine // Sensors. 2020. Vol. 20. P. 1879.

11. Н.Н. Михайлова, А.Е. Великанов, И.Н. Соколова и др. Идентификация промышленных взрывов при оценке сейсмической опасности слабосейсмичных районов Казахстана. // Вестник НЯЦ РК. 2012. № 1. С. 68-73.

УДК 550.83

ДОСТОВЕРНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ТРЁХ КООРДИНАТНОГО ДАТЧИКА ВИБРОСКОРОСТИ

Нефедов С.И.^{1,2}, Икреников М.С.²

¹ИПКОН РАН, ²МИЭМ НИУ ВШЭ, г. Москва

Вопрос достоверности (степень соответствия) измерений очень важен для проведения экспериментов. Особенно когда измеряемое воздействие довольно слабое. Кроме неидеальности самого датчика (уровень шума, ограниченный динамический диапазон) существует проблема в том, что воздействие оказывает не на прямую на чувствительный элемент. Следующий важный момент в каких условиях было сделано измерение, температура влажность, давление и т.д.

В работе будет рассматриваться достоверность измерений датчика измерения виброскорости, то есть соответствие измеренной величины реальной. Принцип работы геофона прост в корпусе устройство установлен постоянный магнит, и в поле этого магнита подвешен грузик на катушке. При движении корпус движется вместе с устройством, а груз обладает инерцией и старается остаться на месте. В результате в катушке возникает напряжение, пропорциональное скорости движения устройства. Из-за специфики своего устройства геофон способен измерять скорость только по одной координате. Для измерения скорости движения в объёме используют систему из трёх геофонов объединённых в один прибор (трёхкомпонентный датчик). С точки зрения конструкции самих датчиков существует два основных типа: наземные и скважные. Наземные крепятся на поверхности земли при помощи специальных колышков. Скважные имеют форму цилиндра с наконечником. В обоих датчиках воздействие оказывается не на чувствительный элемент (геофон). В случае наземного воздействие передаётся через ножки прибора. В случае скважного через корпус датчика.

Можно выделить два момента снижающих достоверность измерений: передача скорости от датчика к геофону и передача скорости от земли к датчику (вопрос искажения из-за крепления).

Рабочий температурный диапазон датчиков довольно широкий от -40 до 100°C [1]. Этот температурный диапазон превышает тот, который встречается в умеренных широтах. На рисунке 1 приведена частотная характеристика геофона для температуры $18-22^{\circ}\text{C}$. Частотной характеристикой для более широкого диапазона температур компания производитель не располагает. Исходя из принципа работы можно выделить три составляющих, меняющихся в следствии изменения температуры : изменение магнитного поля постоянного магнита, изменение сопротивление катушки и изменение жёсткости катушки (изменение коэффициента жесткости металла).

Изменение магнитного поля постоянного магнита при изменении температуры зависит не только от химического состава вещества, но и от размера магнита. В целом изменение магнитного поля в следствии изменения температуры не линейный процесс, который аппроксимируют кусочно линейным для диапазонов температур. В среднем для рабочего температурного диапазона геофона температурный коэффициент индукции ($\%/^{\circ}\text{C}$) составляет сотые доли процента. И для всего диапазона не превысит единиц процентов. Стоит отметить, что у различных магнитов максимум магнитной энергии при различных температурах, поэтому их стараются проектировать так, чтобы рабочая точка (температура максимальной энергии магнитного поля) была близка к ожидаемой температуре работы [2, 3].

Удельное сопротивление металла меняется также в следствии изменения температуры из-за чего ток не пропорционален напряжению. Также нарушается электрическое согласование, в следствии изменения сопротивления катушки. Для металлов изменение сопротивления составляет $0,4-0,6\%$ при изменении температуры на 1 градус. Соответственно изменение температуры вызовет изменение сопротивления на несколько десятков процентов. Изменение жёсткости металла нелинейно зависит от температуры. Поэтому предсказать его влияние довольно сложно.

Были закуплены трёхкомпонентные датчики измерения виброскорости по 10 скважных и наземных, а также отдельно геофоны, используемые в этих датчиках. Измерения проводились при помощи вибростенда. Исследование проводилось для изучения следующих моментов:

1. Влияние других осей на измерение. Геофон измеряет движение по одной координате. При этом передвижение по другим координатам также связана со смещением груза. Смещение происходит в плоскости магнитного поля, поэтому изменения быть не должно, но смещение по этим координатам также могут приводить к небольшим расширениям и сжатиям по измеряемой оси.

2. Влияние корпуса на измерения. Геофоны вместе с датчиками фиксируются на вибростенде и сравниваются воздействия. Воздействие должно быть одинаковым. Использование нескольких датчиков позволяет оценить влияние от устройства к устройству.

3. Учёт влияния контакта почва датчик. Датчики крепиться не напрямую к вибростенду, а крепиться кусок почвы, на который устанавливаются датчики.

4. Исследование влияние температуры на показания геофона.

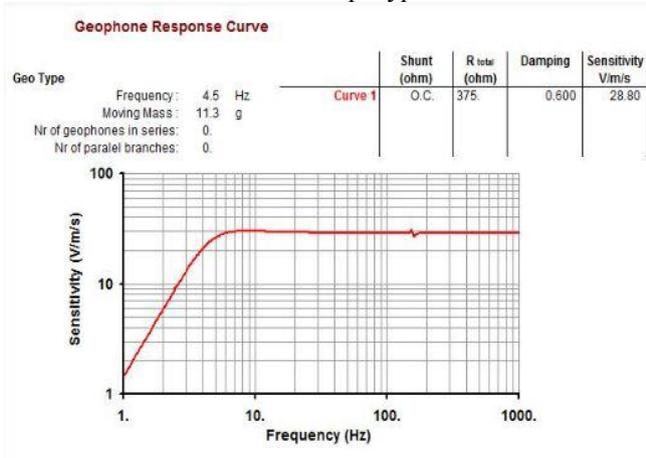


Рис. 1. Частотные характеристики геофона при температуре 18-22°C[1]

Список литературы

1. EGL EQUIPMENT SERVICES CO.,LTD(EGL): официальный сайт. - Китай. URL: <https://www.e-gl-geo.com/> (дата обращения: 1.08.2023)
2. Постоянные магниты: Справочник. Под ред. Ю.М. Пятина. М.: Энергия. 1971. 486 с.
3. Черкасова О.А., Черкасова С.А. Термостабильность постоянных магнитов как основной фактор снятия обратимых изменений для обеспечения надежности изделия // ВЕСТНИК НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ. № 12(24). 2016. С. 6-8.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПОВТОРНОЙ РАЗРАБОТКЕ ЖЕЗКАЗГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Имашов А.Ж., Салкынов А.Т.

*Карагандинский технический университет
имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан*

В настоящее время открываются новые возможности использования результатов мониторинга на основе средств автоматизации и компьютеризации. Эти возможности реализуются в информационной технологии мониторинга как оперативная система сбора и обработки информации для принятия оперативных решений, без которых эффективное управление горными работами при повторной разработке становится проблематичным. В данной работе сообщаются новые результаты использования инструментального мониторинга при повторной разработке, обеспечивающей комплексное и наиболее полное освоение Жезказганского месторождения.

Повторная разработка рудных месторождений приводит к резкому формированию деформационных процессов в налегающей толще горных пород, что обуславливает настоятельную необходимость применения оперативной автоматизированной технологии мониторинга.

На Жезказганском месторождении с учетом динамики протекания геомеханических процессов разработана и внедрена информационная технология мониторинга применительно к условиям повторной разработки рудных месторождений. Данная технология способствует оперативному решению сложных практических задач горного производства и включает:

непрерывное мониторинговое сопровождение добычи полезных ископаемых инструментальными методами; специальные технические и программные средства; комплекс характеризующих массив горных пород информативных признаков; систему сбора и обработки информации в режиме реального времени для своевременного предупреждения и предотвращения возникающих опасных ситуаций.

Мониторинговое сопровождение добычи полезных ископаемых необходимо для обеспечения непрерывного контроля устойчивости массива горных пород непосредственно по ходу повторной

разработки и слежения за развитием процессов деформирования и разрушения в нем с начала их возникновения до момента обрушения. Контроль осуществляется с применением комплекса геотехники [1,2]. Мониторинговое сопровождение добычи полезных ископаемых позволяет своевременно реагировать на изменения геомеханической ситуации на участках повторной разработки и погашения пустот.

Исследование особенностей проявления информативных признаков способствовало подведению количественной базы для суждения о процессах возникновения, развития обрушений и, в результате этого, предотвращению их негативных последствий.

Для использования аномальных проявлений этих признаков использована методология контроля средствами мониторинга, которая предусматривает следующую последовательность операций: осуществление диагностики массива горных пород с целью определения вероятных мест обрушений на конец отработки по данным геомеханической документации; выявление границ зон опасных сдвижений на поверхности с целью определения места и времени возможных обрушений по данным инструментальных наблюдений; установление вероятного времени обрушений на выявленных опасных участках сейсмическим мониторингом.

Система сбора и обработки информации в режиме реального времени в разработанной информационной технологии мониторинга массива горных пород позволяет анализировать совместно основные информационные признаки инструментальных методов. В итоге, на выходе системы сбора и обработки такой суммы информации достоверно оценивается состояние участков повторной разработки по степени устойчивости [3].

Такая информационная система, основанная на мониторинговом сопровождении добычи руд в режиме реального времени, позволяет на качественно новом уровне решать проблему оценки и прогнозирования состояния массива горных пород при повторной разработке рудных месторождений. Суть процедуры прогнозирования в режиме реального времени с использованием положений теории вероятности состоит в том, что фактические априорные данные мониторинга являются достоверными событиями. При этом на основе достоверной информации ожидается апостериорная вероятность события. Нмея несколько событий я применяя к ним в любом порядке операции сложения и умножения можно строить различные комбинации

событий. Первичная операция дизъюнкции, определяемая суммой событий, и вторичная операция конъюнкции, определяемая их произведением, повышают достоверность наступающего события. В итоге событие считается наступившим тогда и только тогда, когда наступают все указанные выше события.

Исходя из этих положений теории вероятности, составлены алгоритм и программа, позволяющие достоверно классифицировать участки повторной разработки по степени устойчивости. Данная процедура является доступной для персонала и предназначена для подготовки оперативного решения. В новой информационной системе любая входящая априорная информация по мере поступления мгновенно включается в процедуру прогнозирования с получением на выходе апостериорной информации.

Наиболее сложным является обеспечение требуемой устойчивости очистного пространства, когда необходимо в зависимости от реального устойчивого состояния участков принимать решения о производстве горных работ, оценить соответствие принятой технологии требуемой безопасности.

Предлагаемая автоматизированная технология мониторинга дает возможность объективно и надежно определить те параметры, которые обуславливают количественную и качественную сторону процесса контролируемого обрушения с обеспечением безопасных условий ведения горных работ [4].

В связи с этим, при повторной разработке месторождения в сложных геомеханических условиях необходимо вести добычу повторной разработкой только при мониторинговом сопровождении. При этом целью мониторинга по ходу выемки целиков различного назначения являются:

- выбор участков повторной разработки, установление последовательности и порядка их погашения управляемым обрушением;
- подтверждение проектных решений по повторной отработке залежей;
- управление горными работами на участках **повторной разработки**;
- предупреждение о приближающейся угрозе обрушения и предотвращение его внезапности.

В данной технологии мониторинга выполнен необходимый этап полной автоматизации процессов получения комплексной информации о состоянии массива в задачах геомеханики как с использованием

ем ГИС и систем автоматизированного контроля, так и процессов построения прогнозных карт.

Информационная технология мониторинга подработанного массива горных пород позволяет обоснованно выбрать участки повторной разработки и погашения пустот обрушением, определяет порядок и последовательность их отработки в пространстве и во времени. Использование ее на Жезказганском месторождении позволило эффективно и безопасно вести горные работы при повторной разработке. Достоверность данной технологии подтверждена достаточной удовлетворительной сходимостью данных инструментального мониторинга с технологическими ситуациями в натуральных условиях Жезказганского месторождения.

Список литературы

1. Nurpeisova M.B., Rysbekov K.B., Shults R. Geodetic substantiation of the Saryarka copper ore region // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan-Series of Geology and Technical Sciences /№4, 2020. - С 48-57. DOI:10.3214/2020.2518-170X.11.

2. Huayang Dai, Nurpeissova Marhan, Yryszhan Zhakupbek/ Subsidence control method by inversely – inclined slicing and upward mining for ultra-thick steep seams// International journal of Mining Science and Technology, 2021. Vol.5. P.75-83/ DOI:10.1016/j.ijmst.2021.10.003.

3. Bazaluk, O., Rysbekov, K., Nurpeisova, M., Lozynskiy, V., Kyrgyzbayeva, G. Integrated Monitoring for the Rock Mass State During Large-Scale Subsoil Development// Frontiers in Environmental Science. Том 10, 852591. 2022/<https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.852591>.

4. Arnat Salkynov , Arailym Rymkulova , Aigerim Suimbayeva, Sholpan Zeitinova . Research into deformation processes in the rock mass surrounding the stoping face when mining sloping ore deposits// Mining of Mineral Deposit, Volume 17 (2023), Issue 2, 82-90 ISSN 2415-3443 / <https://doi.org/10.33271/mining17.01.082>.

АЭРОГАЗОПЫЛЕДИНАМИКА

УДК 622.85:622.235

ВЫЯВЛЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЫЛИ, ОБРАЗОВАННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОВЕДЕНИЯ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА УГОЛЬНОМ РАЗРЕЗЕ, И ВЫЧИСЛЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ МИНКОВСКОГО

Кубрин С.С., Стрелецкий А.А.

ИПКОН РАН, г. Москва

Мелкодисперсная пыль, образованная в результате проведения массовых взрывов на угольном разрезе, является одним из негативных факторов, влияющих на здоровье человека. Частицы PM_{2,5} PM₁₀, относящиеся согласно международной классификации к наиболее опасной респираторной пыли, проникая в дыхательные пути, способствуют появлению силикоза, пневмокониоза, а также других пневмопатологий [1, 2]. Помимо этого, морфологические характеристики пыли, такие как форма и размер способствуют проникновению данных частиц в кровеносную систему человека, вызывая в последствии заболевания сердечно-сосудистой системы, [3, 4] и способствуя возникновению различных новообразований в организме [5, 6].

Изучение морфологических характеристик пыли образованной в результате проведения массовых взрывов на угольном разрезе проводилось с использованием метода электронной микроскопии. Из отобранных с помощью аналитических фильтров АФА-40 образцов, было получено 110 различных изображений частиц пыли. Для дальнейшего изучения морфологических характеристик пыли, данные изображения были классифицированы согласно измерительной шкалы электронного микроскопа.

В таблице 1 представлены результаты классификации изображений.

Таблица 1

Классификация частиц по размеру

| 1мкм. | 2мкм. | 5мкм | 10мкм. |
|-------|-------|------|--------|
| 4 | 44 | 53 | 9 |

Исходя из распределения частиц по размеру, можно сделать вывод о том, что размерности 2мкр и 5мкр включают в себе наибольшее количество частиц пыли.

Последующая обработка изображений, а также расчет фрактальной размерности Минковского производились с помощью оригинального программного кода, реализованного на языке Python.

Исходя из результатов расчетов размерности Минковского, можно сделать вывод, что размерность частиц заключена в пределах от 1.164 до 1.416.

Фрактальная размерность Минковского, рассчитанная для частиц пыли образованных в результате проведения массовых взрывов на угольном разрезе, позволяет заключить что бóльшая проекционная площадь поверхности может усиливать негативное воздействие на организм человека в том числе и на его ДНК[7]. Также в работах [8,9,10] установлено что наряду с элементарным составом и формой, размер и площадь частиц – один из ключевых негативных факторов.

Благодарности. Исследования проведены в рамках соглашения № 075-15-2022-1185 от 28 сентября 2022 года.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Luong L.T.M., Dang T.N., Thanh Huong N.T., Phung D., Tran L.K., Van Dung D., Thai P.K. Particulate Air Pollution in Ho Chi Minh City and Risk of Hospital Admission for Acute Lower Respiratory Infection (ALRI) among Young Children. *Environ. Pollut.* 2020. V. 257. 113424. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113424.

2. Priyankara S., Senarathna M., Jayaratne R., Morawska L., Abeysundara S., Weerasooriya R., Knibbs L.D., Dharmage S.C., Yasaratne D., Bowatte G. Ambient PM_{2.5} and PM₁₀ Exposure and Respiratory Disease Hospitalization in Kandy, Sri Lanka. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021. № 18. P. 9617. DOI: 10.3390/ijerph18189617.

3. Bulejko P., Adamec V., Skeřil R., Schüllerová B., Bencko V. Levels and Health Risk Assessment of PM₁₀ Aerosol in Brno, Czech Republic. *Cent. Eur. J. Public Health.* 2017. № 25. P. 129–134. DOI: 10.21101/cejph.a4495.

4. Ljungman P.L.S., Andersson N., Stockfelt L., Andersson E.M., Nilsson Sommar J., Eneroth K., Gidhagen L., Johansson C., Lager A., Leander K. et al. Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution, Black Carbon, and Their Source Components in Relation to Ischemic Heart Disease and Stroke. *Environ. Health Perspect.* 2019. № 127. P. 107012. DOI: 10.1289/EHP4757.

5. Roy D., Singh G., Seo Y.-C. Carcinogenic and NonCarcinogenic Risks from PM₁₀-and PM_{2.5}-Bound Metals in a Critically Polluted Coal Mining Area. *Atmos. Pollut. Res.* 2019. № 10. P. 1964–1975. DOI: 10.1016/j.apr.2019.09.002.

6. Cortes-Ramirez J., Naish S., Sly P., Jagals P. Mortality and Morbidity in Populations in the Vicinity of Coal Mining: A Systematic Review. *BMC Public Health.* 2018. № 18. P. 721. DOI: 10.1186/s12889-018-5505-7.

7. Leshukov T., Legoshchin K., Yakovenko O., Bach S., Russakov D., Dimakova D., Vdovina E., Baranova E., Avdeev K., Kolpina E. et al. Fractional Composition and Toxicity Coal–Rock of PM10-PM0.1 Dust near an Opencast Coal Mining Area and Coal-Fired Power Station. Sustainability. 2022. № 14. P. 16594. DOI: 10.3390/su142416594.

8. Airborne Particulate Concentrations and Numbers in the United Kingdom (phase 2) / S. Beccaceci, D. Muhunthan, D. Sarantaridis, J. Tompkins, D. Butterfield, P. Quincey, R. Brown, D. Green, A. Grieve, G. Fuller, A. Jones // Annual Report. – 2010. Report Date: 31/08/2011.

9. Kassomenos P.A., Dimitriou K., Paschalidou A.K. Human health damage caused by particulate matter PM (10) and ozone in urban environments: the case of Athens, Greece: Environ Monit Assess. – 2013.

10. Particulate matter, PM 10 & PM 2.5 levels, and airborne mutagenicity in Chiang Mai, Thailand / Usanee U. Vinitketkumnuen, Kittiwat K. Kalayanamitra, Teera T. Chewonarin, Richard R. Kamens // Mutat Res. – 2002. – Vol. 519 (1–2). – P. 121–31. – PMID 12160897.

УДК 622.8

ПРОБЛЕМЫ ДИСПЕРСНОГО АНАЛИЗА УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АНАЛИЗАТОРА ЧАСТИЦ ANALYZETTE 22

Кобылкин А.С., Докучаева А.И.

ИПКОН РАН, г. Москва

Для получения значимого научного и/или практического результата, при проведении глобальных (комплексных) работ по договорам с угольными и рудными компаниями решается большой спектр задач. В частности, для работ, связанных с взрывобезопасностью, пожаробезопасностью, санитарно-гигиеническому контролю, в большинстве случаев необходимо проводить дисперсный анализ проб пыли. Однако проведение дисперсного анализа не простая задача, имеющая различные нюансы. Для определения гранулометрического состава угольной пыли обычно используют ситовой метод [1] либо метод лазерной дифракции. Авторы работы [2] утверждают, что достоверность результатов гранулометрического состава порошков углей методом лазерной дифракции на приборе Analyzette 22 зависит от следующих условий: проведение измерений в водной среде с добавлением ПАВ (0,05 мл ПАВ на 500 мл диспергирующей жидкости), средней скорости перемешивания и мощности ультразвука 60 Вт. Для размеров частиц угольной пыли в диапазоне 0-63 мкм разработана методика [3] со следующим режимом измерений:

мощность ультразвука 100 Вт; скорость насоса (перемешивания) 3,3 л/мин; количество ПАВ 200 мкл; время диспергирования – 60 с.

С помощью анализатора частиц Analyzette 22 нами было выполнено исследование гранулометрического состава образцов угольной пыли. Для опыта использовалась предварительно взвешенная проба угольной пыли фракцией менее 315 мкм. Пробу отправляли в чашу анализатора частиц, заполненную дистиллированной водой (рисунок 1а). Для оценки необходимого количества пробы также фиксировали оставшуюся пробу с размером частиц более 315 мкм.

Пыль находилась на поверхности воды, коагулировала в более крупные агрегаты. Винт перемешивающий воду и ультразвук показали очень низкую эффективность. Смачивание не происходило. Механическое воздействие (совместно с винтом и ультразвуком) на пыль, находящуюся на поверхности воды, показало среднюю эффективность смачивания пыли. Часть пыли осталась на поверхности до конца исследования (рисунок 1б).



Рис. 1. а) Пыль, помещенная в резервуар в начале исследования; б) Пыль, находящаяся на поверхности воды, в конце исследования

Далее в резервуар с водой было добавлено 0,02 мл ПАВ (Dusazin 901). При загрузке пыли массой 0,17 г в резервуар произошло смачивание угольной пыли полностью (рисунок 2а). На поверхности воды образовались пузырьки диаметром 5 мм (рисунок 2б), по истечении 20 секунд они исчезли.

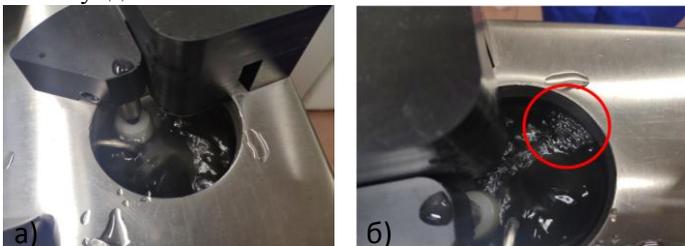


Рис. 2. а) резервуар с водой и погруженной в нее пылью (полная смачиваемость); б) образовавшиеся в резервуаре пузырьки

По результатам исследования получены значения фракционного состава исследуемого образца угольной пыли (рисунок 3 а,б).

Проанализировав полученные данные был сделан вывод о том, что без применения ПАВ при работе с плохо смачиваемой пылью, например, угольной пылью марки Ж, требуется большее количество образца и большое время проведения дисперсного анализа. Угольная пыль коагулировала. Количество частиц размером 300 мкм без ПАВ составило 8,24%, а с применением ПАВ 0%.

Применение ПАВ при работе с плохо смачиваемыми образцами, очевидно, повышает скорость и точность проведения исследования, однако возникают вопросы, которые требуют ответа.

Наиболее важный вопрос заключается в том, как ПАВ влияют на результаты измерения. Проведя дисперсный анализ с рекомендованным производителем анализатора частиц ПАВом, были зафиксированы пузырьки, которые вносят погрешность при измерении. Помимо рекомендованного производителем ПАВ, существует ряд других ПАВов, влияние их применения на результаты дисперсного анализа недостаточно изучено.

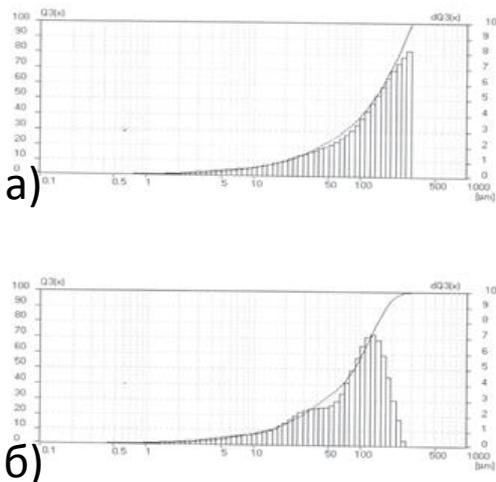


Рис. 3. а) результаты исследований, без добавления ПАВ; б) результаты исследований, с добавлением ПАВ

С увеличением количества ПАВ, добавляемого при исследовании, растет и его влияние на результаты. В связи с этим возникает вопрос о минимальном количестве ПАВ, необходимом для смачивания пыли. Также важным является вопрос о доступности ПАВ.

Список литературы

1. ГОСТ 2093-82. Топливо твердое. Ситовый метод определения гранулометрического состава = Solid fuel. Size analysis: межгосударственный стандарт : издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 13 августа 1982 г. № 3201 : дата введения 1983-01-01. – Москва: ИПК Издательство Стандартов, 2001. - 18 с. - Текст: непосредственный.
2. Журавлева Н.В., Потоккина Р.Р., Исмагилов З.Р. Определение гранулометрического состава угольных порошков методом лазерной дифракции // Химия твердого топлива. – 2016. – № 5. – с. 56–62.
3. Красилова В.А., Эпштейн С.А., Коссович Е.Л. и др. Разработка методики измерений гранулометрического состава угольной пыли методом лазерной дифракции // ГИАБ. – 2022. – №2. – с. 5-16.

РАСПОЗНАВАНИЕ ОПОЛЗНЕЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

Айбек уулу Медетхан

*НИТУ МИСИС, Московский Горный Институт
г. Москва*

Оползни являются сложным геологическим явлением, которое может иметь различные причины и последствия. Генезис данного явления может быть различным это природные (землетрясение, ливень, таяния снегов и др.) и техногенные (отвалы в карьерах, строительные работы, вырубка лесов и др.) воздействия на участки грунта. Из недавних примеров можно привести оползень близ города Тепехан вызванный землетрясением в Турции и оползень в угольном разрезе Китая. В этой связи актуальной проблемой является оперативная оценка, исследование оползней и картографирование оползнеопасных территорий. Это представляет большой интерес для населенных пунктов и инфраструктуры в холмистой и горной местности, а также для предприятий, занимающихся открытыми горными работами.

Целью работы является разработка и тестирование методики распознавание оползней на основе данных дистанционного зондирования оптического диапазона. В задачи работы входит: анализ факторов, способствующих дешифрированию сошедшего оползня на естественном склоне или техногенном откосе; анализ ярких аномалий сошедших оползней; разработка алгоритма для обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в Google Earth Engine (GEE); тестирование и апробация алгоритма на примере оползней в Гватемале, Турции и Китае. Для исследования берутся снимки семейств спутников дистанционного зондирования Земли Sentinel-2 и Landsat-8, которые могут снимать в 12 и 9 спектральных каналах соответственно.

В процессе анализ снимков использовались следующие индексы:

- BSI (Bare Soil Index) — это индекс, используемый для оценки наличия незаполненных или незасеянных областей грунта на поверхности земли. Он является показателем степени отражения света в инфракрасной части спектра.

- NDMI (Normalized Difference Moisture Index) — стандартизованный индекс различий увлажненности (NDMI) чувствителен к уровню влажности в растительности.

- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – это стандартизованный индекс, показывающий наличие и состояние растительности.

- GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) – это индекс растительности для оценки активности фотосинтеза.

- NDWI (Normalized Difference Water Index) является индексом для определения и мониторинга изменений содержания поверхностных вод.

- TSAVI (Transformed Soil Adjusted Vegetation Index) – это индекс растительности, который пытается минимизировать влияние яркости почвы путем предположения, что линия почвы имеет произвольный уклон и пересечение.



Рис. 1. Схема алгоритма получения критериев распознавания оползней

Полученные критерии возможно применить соответственно к трем условиям: с густой растительностью, с низкой растительностью и к пустынной местности.

Входными данными для разработанного алгоритма будут служить три элемента:

- Координатное положение границ исследуемой территории.

- Время последней съемки, когда не наблюдалось никаких нарушений.

- Один из трех критериев, выбираемый на основе условий местности.

На выходе выдается изображение местности, которую можно представить в виде матрицы с ячейками «ЛОЖЬ» или «ИСТИНА». Каждый пиксель изображения будет иметь один из двух значений, где «ИСТИНА» соответствует обнаруженному оползню.

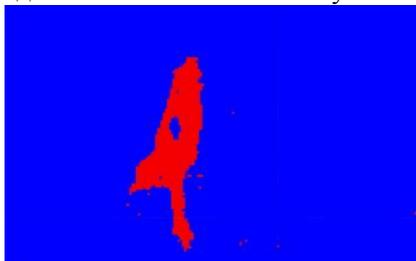


Рис. 2. Результат распознавания оползня в Гватемале

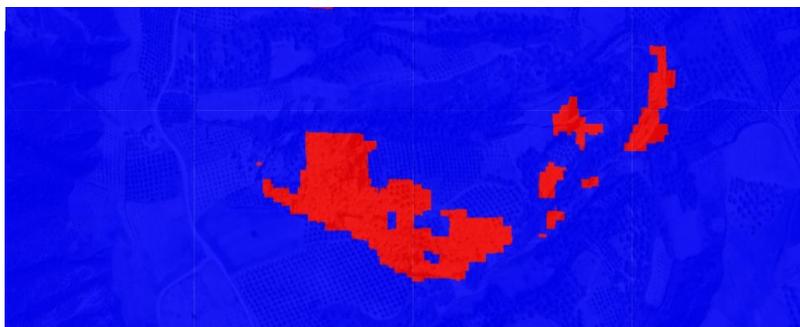


Рис. 3. Результат распознавания оползня в Турции

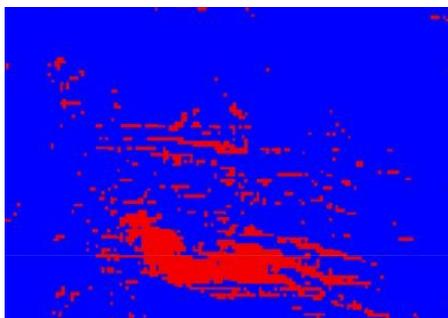


Рис. 4. Результат распознавания оползня в Китае

Вывод: данный алгоритм продемонстрировал отличные результаты в условиях густой растительности и в условиях низкой растительности, но в условиях оползня на отвале карьера в пустыне алгоритм смог распознать лишь половину оползня. Это обусловлено тем,

что алгоритм по большей части воспринимает влажность и растительный покров исследуемой поверхности. В случае, когда отвал сложен одной и той же сухой породой в условиях жаркой пустыни, что тело оползня что породы под ним будут иметь одинаковые оптические характеристики. Поэтому данный алгоритм четко распознал лишь часть оползня, приходящийся на борт карьера. Для таких условий необходимо знать какими породами сложено тело оползня для более тонкой настройки алгоритма.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ ГОРНЫХ ПОРОД И ДАННЫМ СЕЙСМОМОНИТОРИНГА

Романевич К.В., Мулев С.Н.

АО «ВНИМИ», г. Санкт-Петербург

Использование многообразных алгоритмов искусственного интеллекта для прогнозирования опасных геодинамических процессов и явлений в шахтах и инженерных подземных сооружениях дает многообещающие результаты и меняет сложившиеся подходы к осуществлению мониторинговых наблюдений.

Особый интерес представляет выявление предвестников горных ударов и внезапных выбросов в геофизических данных [1-3].

Основными преимуществами нейронных сетей являются возможность работы с неструктурированными данными и автоматическое извлечение признаков из данных наблюдений, но вместе с тем, такие модели часто рассматриваются как «черные ящики», что затрудняет понимание принимаемых ими решений.

Классические методы машинного обучения, такие как деревья решений и случайные леса, имеют несколько преимуществ по сравнению с нейронными сетями – они могут обучаться быстрее, особенно на небольших наборах данных, это может быть критически важным при ограниченных ресурсах или, когда требуются быстрые результаты. Также многие классические методы обеспечивают высокую интерпретируемость, позволяя понимать принимаемые решения и объяснять результаты модели другим лицам.

На ряде месторождений России ведется непрерывный круглосуточный мониторинг сейсмоактивности, на основании данных регистрации сейсмических событий по системе сейсмопавильонов, установленных в горных выработках. Анализ сейсмической активности проводится с помощью специально разработанного АО ВНИМИ пакета программного обеспечения «GITS2».

В процессе работы системы в частности записываются сейсмограммы сейсмических событий, зарегистрированных на контролируемом объекте. После предварительной обработки сигналов – каждое сейсмическое событие должно быть классифицировано. Классификация позволяет понимать природу и источники различных сейсмических событий, а также оценивать влияние события на окружающую среду, массив и конструкции, прогнозировать дальнейшую геодинамическую активность. Классификация событий оператором «в ручном режиме» не всегда возможна в связи с многообразием возможных форм и параметров сигналов (рис. 1).

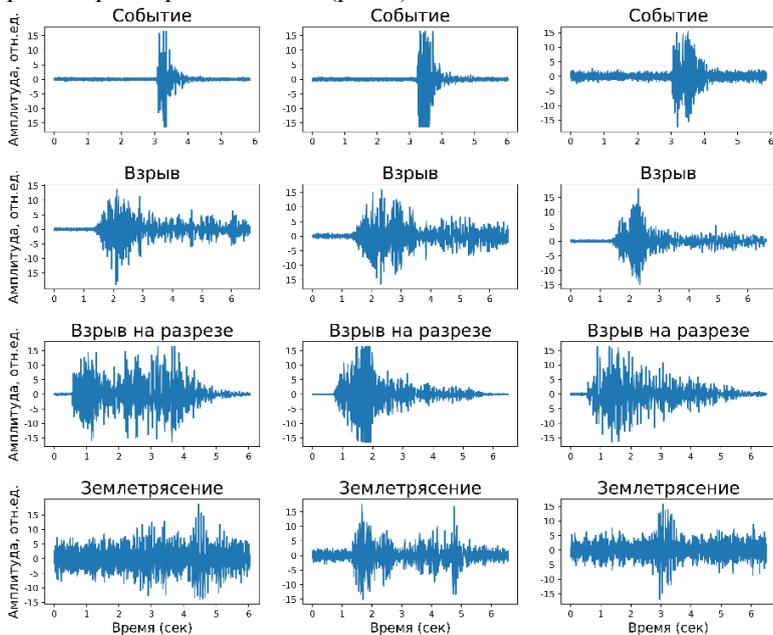


Рис. 1. Сейсмограммы сейсмических событий разных типов, зарегистрированные в ходе сейсмического мониторинга системой GITS2

Для верной классификации зарегистрированных сейсмических событий требуется дополнительный оперативный сбор информации о технологических процессах как на самой шахте, так и на объектах вблизи нее, например, на ближайших разрезах и шахтах, где могут проводиться технологические взрывы и др. Это может занимать некоторое время – вызывать задержку в определении естественной сейсмичности в пределах контролируемого массива и замедлять прогноз.

Для автоматизации классификации геодинамических процессов при мониторинге сейсмоактивности могут быть использованы современные методы искусственного интеллекта, в частности методы глубокого обучения и методы машинного обучения. Так, для показанных на рис.1 типов событий на одной из шахт, подключенных к системе удаленного мониторинга сейсмоактивности GITS2, созданная модель машинного обучения из 312 событий классифицировала верно 307 событий, показав точность классификации – 98,4%.

Другим примером является исследование АО ВНИМИ, направленное на разработку алгоритма классификации сигналов электромагнитного излучения (ЭМИ) горных пород для выявления предвестников геодинамических процессов [4]. В процессе обучения модели рассматривались фоновые сигналы и сигналы, зарегистрированные в процессе деформирования образцов горных пород (рис.2).

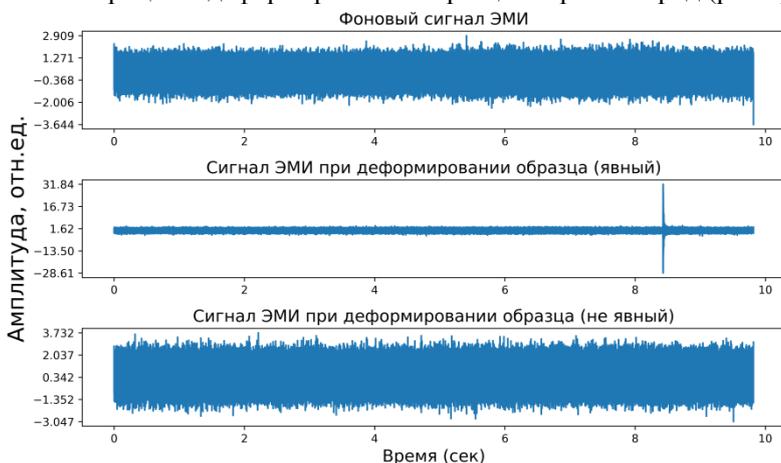


Рис. 2. Сигналы электромагнитного излучения (ЭМИ) горных пород при деформировании образцов в ходе одноосного сжатия

Точность классификации на тестовых выборках сигналов ЭМИ, не участвовавших в процессе обучения модели, даже в неявных случаях составила 95-97%. Эти алгоритмы могут быть внедрены в существующее программное обеспечение для выполнения функций классификации в автоматическом режиме на вновь поступающих мониторинговых данных.

Литература

1. Yangyang Di, Enyuan Wang, Zhonghui Li, Xiaofei Liu, Tao Huang, Jiajie Yao, Comprehensive early warning method of microseismic, acoustic emission,

and electromagnetic radiation signals of rock burst based on deep learning, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 170, 105519 (2023) <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2023.105519>.

2. Zhang J. Exploration on coal mining-induced rockburst prediction using Internet of things and deep neural network. J Supercomput 78, 13988–14008, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11227-022-04424-4>.

3. Di Y., Wang E. Rock Burst Precursor Electromagnetic Radiation Signal Recognition Method and Early Warning Application Based on Recurrent Neural Networks. Rock Mech Rock Eng 54, 1449–1461, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02314-w>.

4. Романевич К.В. Мулев С.Н. «Применение методов машинного обучения для анализа данных электромагнитного излучения при деформировании горных пород». Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции «Цифровые технологии в горном деле», 13-16 июня 2023 г. – Апатиты: Издательство ФИЦ КНЦ РАН, 2023. – с. 53-55. doi: 10.37614/978.5.91137.491.4.

УДК 004.032.26

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЦИКЛОВ ОБРУШЕНИЯ КРОВЛИ ПРИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОЙ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

Дианов П.А., Блохин Д.И., Закоршменный И.М.

ИПКОН РАН, г. Москва

В современных условиях горного производства одной из важнейших задач подземной добычи угля остается прогнозирование и предотвращение опасных геомеханических явлений. Например, изменившиеся условия отработки выемочных столбов приводят к появлению ранее не наблюдавшихся особенностей пространственного распределения напряженно-деформированного состояния углепородного 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 [1]. Поэтому исследования, направленные на выявление характера процессов деформации и обрушения кровли угольного пласта и последующий прогноз газокинетических

параметров выемочных участков, являются актуальными и практически значимыми.

Задача прогнозирования периодичности обрушения основной кровли, в работе решается с применением цифровых технологий на базе применения рекуррентных нейронных сетей (РНС). Нейронные сети являются мощным инструментом в области обработки данных и способны надежно выявлять скрытые периодичности в исследуемых временных рядах, что позволяет эффективно прогнозировать протекание опасных геомеханических и гео-газодинамических процессов при отработке угольных пластов [2]. В настоящем сообщении в качестве исходных данных использованы результаты измерений давления в стойках механизированной крепи полученные на шахте «Талдинская – Западная 2» АО «СУЭК–Кузбасс» в процессе отработки выемочного столба.

Данные с датчиков гидростоек крепей имеют ряд особенностей, затрудняющих их анализ. В частности, исследуемые записи существенно нестационарны – их статистические характеристики изменяются во времени; содержат выбросы – нетипичные наблюдения, появление которых вызвано, например, редкими сбоями в работе измерительной аппаратуры или оборудования; содержат большое количество пропусков.

В работе предложена методология обоснования структуры и параметров РНС прогнозирования циклов обрушения кровли при отработке угольного пласта, включающая следующие этапы: съем экспериментальных данных; сглаживание данных; разделение набора данных (сглаженные входные переменные) на обучающие данные, тестовые данные и данные проверки; проектирование вариантов сети; обучение сети и проверка качества прогнозирования; выбор лучшей сети, имеющей самую низкую ошибку прогнозирования.

В процессе предобработки из массива данных были выбраны временные ряды, описывающие изменения давления в 120-ти гидростойках, расположенных в центральной части лавы. Полученная выборка делилась на 3 сегмента, содержащие данные для 40 гидростоек в каждом. В рамках сформированных сегментов проводилась процедура усреднения данных, результаты которой представлены на рис. 1.

Для анализа данных с использованием нейронных сетей были выбраны относительно стационарные участки, которые и подвергались дальнейшей обработке. На рис. 2 представлен результат работы РНС после ее обучения на подготовленных данных.

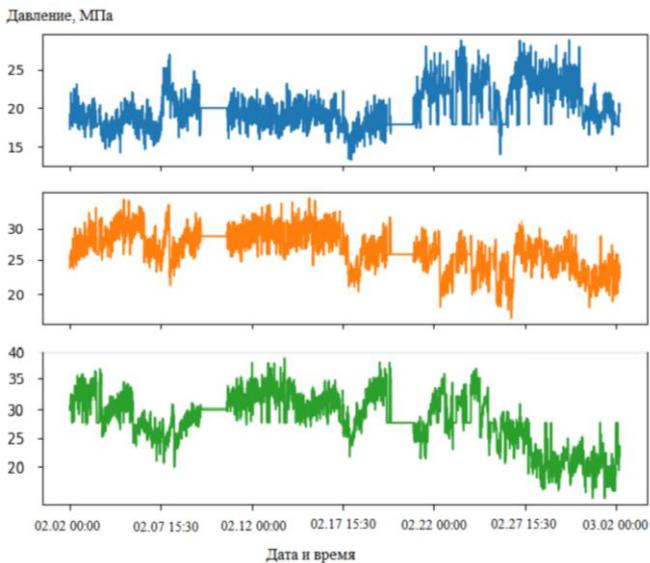


Рис. 1. Усредненные значения давления в гидравлических стойках механизированной крепи для 3-х сегментов данных

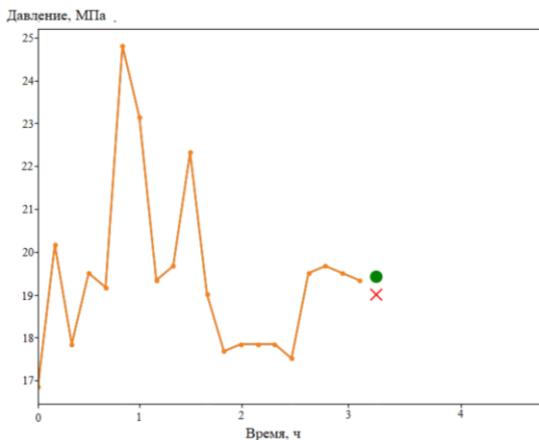


Рис. 2. Результат прогнозирования значений давления в гидравлических стойках механизированной крепи с помощью РНС:

× - реальное значение давления, полученное по натурным данным;

● - результат прогноза РНС

Результат анализа данных, представленных на рис. 2, свидетельствует о приемлемости результата, точность прогнозирования которого составляет 95%. Таким образом, периодичность обрушения основной кровли угольного пласта, а вместе с ней и периодичность изменения концентрации метана в призабойном пространстве могут быть спрогнозированы на основе нейросетевого анализа данных измерений давления в гидравлических стойках механизированной крепи.

Список литературы

1. Шинкевич М.В., Плаксин М.С. Связь геомеханики и метанообильности выработок при ведении подземных горных работ // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – № 5. – С. 15–24.
2. Шпрехер Д.М., Бабокин Г.И., Колесников Е.Б. Выбор структуры и параметров нейронной сети для прогнозирования концентрации метана в угольном забое // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 5. – С. 46–57.
3. Залеский Б.А., Мисников В.А., Жук Р.С. Алгоритмы обработки данных, получаемых с датчиков давления гидроцилиндров забойных крепей // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2017. – № 3. – С. 118–128.

УДК 622.673

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУСКА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК С РЕЗИНОТРОСОВЫМИ КАНАТАМИ

Беляев А.М., Беляева Т.С.

НИТУ МИСИС, г. Москва

Вертикальные подъемные установки являются важным элементом предприятий горной промышленности. Они используются для перемещения грузов и персонала, а также других задач транспортирования. Однако, в моменты пуска и торможения подъемной установки могут возникать проблемы, связанные с резким изменением скорости вращения вала двигателя, что может привести к повреждению оборудования и травмам персонала.

В силу высокой энергоемкости и металлоемкости к рудничным подъемным установкам применяются повышенные требования в части отказоустойчивости, надежности и безопасности. Наиболее распространенным типом головных канатов на рудничных подъемных установках сегодня выступают стальные канаты. Согласно исследованиям [1], основные недостатки стальных канатов – недолговечность и низкий уровень устойчивости к перегрузкам и колебаниям.

В качестве альтернативы стальным канатам в исследованиях [2-4] рассматриваются установки непрерывного действия или резиноленточные канаты – в исследовании [5].

Для анализа эксплуатационных характеристик подъемных систем допускается рассмотрение моделей без учета вязкоупругих свойств элементов машин [6]. Для детальной оценки динамических характеристик подъемных машин требуется учитывать влияние усилий, определяемых вязкоупругими свойствами тяговых органов подъемных систем, а также внешними возмущающими воздействиями [7-9].

Один из важнейших этапов расчета и анализа пусковых характеристик вертикальных рудничных подъемных установок - оценка диссипативных свойств тяговых органов, так как в моменты пуска в упругих звеньях возникают динамические нагрузки. Для достижения целевых показателей пуска требуется реализация плавного изменения скорости вращения с помощью управления двигателем и минимизация колебательных движений. Принимая во внимание жесткость упругих связей, в каждый момент времени t при заданном приращении движущего усилия все массы подъемной установки взаимно перемещаются. В сформулированном кейсе продольные колебания канатов могут оказывать негативное влияние на всю подъемную систему и выступать причиной обрывов тягового органа [10].

Для решения этой проблемы была разработана математическая модель, описывающая процесс пуска вертикальной подъемной установки. К моделированию рассмотрена расчетная схема однобарабанной двухконцевой подъемной установки (рис. 1 а) и ее эквивалентная трехмассовая схема (рис. 1 б), подъемные канаты которой являются механическими упругими связями [6].

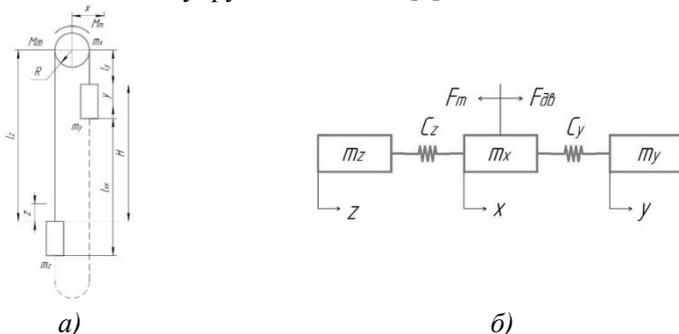


Рис. 1. Расчетная схема однобарабанной двухконцевой подъемной установки (а) и ее эквивалентная трехмассовая схема (б)

На основании уравнения Лагранжа, расчетной и эквивалентной схем представляем модель движения подъемной установки в виде системы дифференциальных уравнений (1).

$$\left\{ \begin{aligned} \left(m_x + \frac{\rho l_z}{3} + \frac{\rho l_y}{3} \right) \ddot{x} + \frac{\rho l_z}{6} \ddot{z} + \frac{\rho l_y}{6} \ddot{y} + c_z(x - z) + c_y(x - y) &= F_{дв} - F_T \\ \left(m_z + \frac{\rho l_z}{3} \right) \ddot{y} + \frac{\rho l_z}{6} \ddot{x} + c_z(z - x) &= 0 \\ \left(m_y + \frac{\rho l_y}{3} \right) \ddot{z} + \frac{\rho l_y}{6} \ddot{x} + c_z(y - x) &= 0 \end{aligned} \right. , \quad (1)$$

где m_x – масса подъемной машины, m_y и m_z – массы подъемных сосудов, c_y и c_z – жесткость упругих звеньев левой и правой вертикальной оси соответственно, $F_{дв}$ и F_T – движущее и тормозное усилия соответственно, ρ – линейная масса тягового органа, l_z и l_y – длины поднимающейся и опускающейся ветвей тягового органа соответственно.

Для решения систем уравнений численными методами принято использовать математические пакеты программ такие, как Mathcad, Matlab и VisSim [11, 12]. Для решения системы уравнений (1) были использованы аналоговые структурные схемы модуля Simulink среды моделирования Matlab (рис. 2).

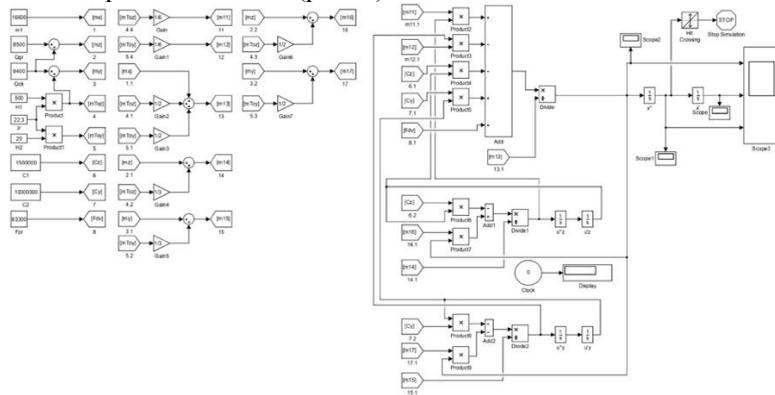


Рис. 2. Структурная модель подъемной системы

Обсуждение результатов

В ходе моделирования и запуска симуляций процесса пуска рудничной подъемной установки были получены осциллограммы кинематических параметров подъемной машины (рис. 3 а-в). На осциллограммах видны колебательные процессы, возникающие на приводном шкиве подъемной системы (рис. 3 б, в).

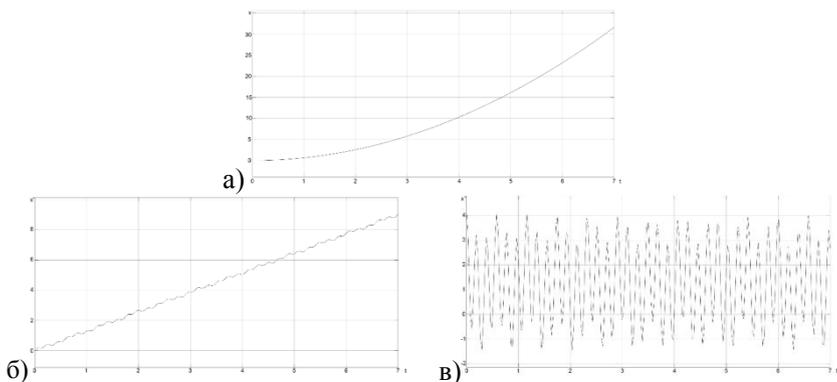


Рис. 3. Осциллограммы а) перемещений x б) скоростей \dot{x} в) ускорений \ddot{x}

Заключение

В работе рассмотрена математическая модель, описывающая эксплуатационные режимы пуска вертикальной подъемной установки. На основании описанной модели в модуле Matlab Simulink разработана аналоговая структурная схема для эмуляции процессов пуска подъемной машины при заданных изменяемых параметрах. Применение математической модели для оценки параметров пуска подъемной системы на практике позволит снизить вероятность аварийных ситуаций, повреждения оборудования и травм персонала, а также повысить эффективность работы подъемной установки.

Список литературы

1. Каунг П.А., Зотов В.В., Гаджиев М.А., Артемов С.И., Гиреев И.А. Формализация процесса выбора технологий отработки месторождений полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2022. - № 2. - С. 124-138. - DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_124.
2. Зиборова Е.Ю., Мнацаканян В.У. Обоснование геометрических параметров футеровочных пластин приводного барабана ленточного конвейера // Горные науки и технологии. — 2022. — №7(2). — С.170-179. — DOI: <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-170-179>.
3. Malakhov V.A., Tropako A.V., Dyachenko V. P. Rolling resistance coefficient of belt conveyor rollers as function of operating conditions in mines // Eurasian Mining. - 2021. - №2. - С. 64–68. – DOI: 10.17580/em.2022.01.14.
4. Galkin V.I., Sheshko E.E., Dyachenko V.P., Sazankova E.S. The main directions of increasing the operational efficiency of high productive belt conveyors in the mining industry // Eurasian Mining. — 2021. — №2. — С. 64–68. – DOI: 10.17580/em.2021.02.14.

5. Перекутнев В.Е., Зотов В.В. Сравнительная оценка резинотросовых канатов для рудничных вертикальных подъемных установок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2020. - № 7. - С. 85-93. - DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-85-93.

7. Секретов М.В., Губанов С.Г. Экспериментальное исследование нагрузок в приводе вертикальной подачи пыльной рамы штрипсового станка // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2019. — № 1. — С. 154–161 — DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-154-161.

8. Keropyan A.M., Kuziev D.A., Krivenko A.E. Process Research of Wheel-Rail Mining Machines Traction // Proceedings of the 5th international conference on industrial engineering (ICIE 2019). — 2020. — С. 703-709. — DOI: 10.1007/978-3-030-22063-1_75.

9. Kuziev D.A., Zotov V.V., Sazankova E.S., Muminov R.O. Performability of electro-hydro-mechanical rotary head of drill rig in open pit mining: a case-study // Eurasian Mining. — 2022. — №37(1). — С. 76–80 — DOI: 10.17580/em.2022.01.16.

10. Гылымұлы С., Тиагалиева Ж.А., Белянкина О.В., Беляев А.М. Разработка имитационной модели торможения шахтной подъемной установки в системе Matlab // Уголь. — 2022. — № 10. — С. 50-54. — DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-50-54.

11. Дмитриева В.В., Собынин А.А., Сизин П.Е. Моделирование плавного пуска для асинхронного двигателя ленточного конвейера // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2022. — № 6. — С. 77–92. — DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_77.

12. Дмитриева В.В., Авхадиев И.Ф., Сизин П.Е. Использование современных программно-технических комплексов для автоматизации конвейерных линий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2. — С. 150–163. — DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-150-163.

УДК 681.518.5: 629.353

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗАВАРИЙНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КАРЬЕРНОЙ ТЕХНИКИ

Швыдкин С.А., Герике Б.Л., Ефимов А.С.

ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово

Обеспечение безаварийной эксплуатации карьерной техники является одной из важнейших задач горнодобывающих предприятий. В ходе эксплуатации под воздействием различных факторов в несущих элементах образуются дефекты. Со временем из мелких дефектов вырастают более крупные, несущие в себе угрозу для всей

конструкции машины. Для обеспечения безаварийной эксплуатации карьерной техники необходимо обладать актуальной информацией о техническом состоянии несущих элементов. На сегодняшний день есть два подхода к определению технического состояния.

Первый основан на периодическом применении различных методов неразрушающего контроля. Здесь, в основном, используют визуально-измерительный контроль [1], ультразвуковой контроль [2], метод цветной дефектоскопии [3] и др. Периодические обследования, конечно, снижают количество аварий на производстве, однако не позволяют полностью решить проблему безаварийной эксплуатации. Причина заключается в том, что специалистам трудно оценить скорость развития дефектов на очередном временном интервале, особенно в конце срока эксплуатации. Поэтому на последней стадии эксплуатации приходится либо сокращать интервалы между обследованиями, либо выводить машину из эксплуатации заранее, не дожидаясь аварии.

Второй подход к определению технического состояния несущих элементов основан на непрерывном мониторинге и анализе показателей различных датчиков, отслеживающих работу узлов и механизмов карьерной техники. Так, например, компания АО «ВИСТ Групп» (входит в ГК «Цифра»), разработала для карьерных автосамосвалов дополнительное программное обеспечение [4], которое позволяет оценивать состояние подвесок и рамы. Система мониторинга собирает и анализирует показания с датчиков давления в цилиндрах подвески, скорости движения, показания инклинометра и акселерометра. При движении автосамосвала алгоритм анализирует изменение давления в подвесках и оценивает силу воздействия на цилиндры. В результате анализа собранных данных делаются выводы о текущем состоянии подвесок и в зависимости от этого принимаются решения о дальнейшей эксплуатации самосвала.

Воздействия на подвески, приводящие к изменениям в них давления, также приводят к повышению нагрузки на раму, вызывая ее деформацию в различных направлениях. Алгоритм, анализирующий деформацию рамы, оценивает колебания, возникающие в раме автосамосвала, и накапливает статистику ее эксплуатации, что дает возможность наблюдать за ее состоянием, избегая случаев необратимой деформации. Таким образом, оценка технического состояния несущих элементов производится в режиме реального времени, однако основывается она на косвенных показателях.

Мы в свою очередь, предлагаем объединить оба вышеуказанных подхода и создать систему мониторинга, которая могла бы не только анализировать показатели различных датчиков, отслеживающих работу узлов и механизмов, но и одновременно выполнять диагностику с использованием одного из методов неразрушающего контроля.

Для реализации этой задачи необходимо обратиться к акустико-эмиссионному методу контроля [5]. Данный метод является дистанционным, то есть позволяет выполнять диагностику удалённо, во время непосредственной работы техники в карьере. Метод позволяет обнаруживать дефекты и следить за их развитием. На сегодняшний день возможность применения акустико-эмиссионного метода для диагностики несущих элементов карьерной техники уже проверена [6-9].

Теперь стоит задача создать «многофункциональную» систему мониторинга, в которой техническая диагностика и анализ рабочих параметров будут взаимно дополнять друг друга. Это позволит не только определить рабочие параметры, при которых происходит развитие дефектов, но и определить зависимость скорости роста дефектов от изменения рабочих параметров, а также научиться более точно прогнозировать дальнейшее развитие дефектов.

Система мониторинга сможет в режиме реального времени собирать информацию и, анализируя полученные данные, выполнять оценку технического состояния несущих элементов. Это даст возможность своевременно информировать обслуживающий персонал о текущем реальном техническом состоянии несущих элементов, планировать ремонтные работы и приобретение запчастей. Подобный подход к определению технического состояния в итоге окажет существенную помощь обслуживающему персоналу при решении вопроса безаварийной эксплуатации.

Список литературы

1. РД 03-606-03 Инструкция по визуальному и измерительному контролю. Утв. постановлением ГГТН РФ от 11.06.03 № 92.
2. ГОСТ Р 55724-2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.
3. ГОСТ 18442-80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1980.
4. Комплексный подход к удаленному мониторингу технического состояния и режимов эксплуатации карьерного автосамосвала. / Клебанов А.Ф., Сиземов Д.Н., Кадочников М.В. // Горная промышленность. 2020;(2):75–81.

5. ГОСТ Р 55045-2012 Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Термины, определения и обозначения.

6. Менчугин, А.В. Применение акустико-эмиссионного контроля для оценки технического состояния одноковшовых шагающих экскаваторов./ А.В. Менчугин, С.И. Протасов, Г.Д. Стенин.// Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды VII международной научно-практической конференции - Кемерово: ННЦ ГПИГД им. А.А. Скочинского, ИУУ СО РАН, КузГТУ, ЗАО КВК «Экспо-Сибирь», 2005. - С. 79-82.

7. Менчугин А.В. Оценка технического состояния несущих металлоконструкций шагающих экскаваторов по параметрам акустико-эмиссионного сигнала. / А.В. Менчугин, Б.Л. Герике, С.И. Протасов, П.В. Буянкин.// М. - Горное оборудование и электромеханика. - № 5. - 2009. С. 25-30.

8. Диагностика несущих элементов металлоконструкций карьерных автосамосвалов с применением метода акустической эмиссии / С.А. Швыдкин, Б.Л. Герике, Г.Д. Стенин, И.М. Фридман // XI международная научно-практическая конференция «Современные тенденции и инновации в науке и производстве», филиал КузГТУ в г. Междуреченске: сб. тр. конф., 2022.

9. Оценка технического состояния несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов / Б.Л. Герике, С.А. Швыдкин // III Международная научно-практическая конференция «Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении» (ТЭК-2022), КузГТУ. – Кемерово: сб. тр. конф., 2022. – С.199-205.

ПРОГРАММНЫЙ СЕРВИС ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ И РЕМОНТУ ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Вальнев В.В., Котелева Н.И.

Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург

Поддержание работоспособности оборудования является необходимым звеном в функционировании любого промышленного предприятия. Непрерывная эксплуатация оборудования непременно приводит к изнашиванию его элементов и их будущей замены [1]. Более того, оборудование, работающее при максимально-допустимом режиме работы, что еще быстрее приводит к необходимости его ремонта или вовсе замены. Любой ремонт, даже самый незначительный, требует остановки оборудования, и, иногда, демонтаж с технологической установки [2]. Крупные и критически важные участки технологических процессов обеспечены параллельными ветками этого оборудования для исключения остановки процесса производства выпускаемой продукции [3]. Тем не менее, остановка и вывод

оборудования из процесса снижает безопасность и эффективность работы этого участка [4]. Описанная проблема простоев оборудования может сильно сказаться на прибыли предприятия, а в худшем случае привести к аварийным ситуациям. Несмотря на все существующие риски остановки оборудования, необходимость в обслуживании и поддержке работоспособности оборудования неоспоримо будет постоянно присутствовать.

В соответствии с описанной проблемой встает острый вопрос в изменении методов проведения ремонтных работ [5], что подтверждает актуальность и практический характер исследований в этом направлении. Научная составляющая данной работы заключается в разработке методики, алгоритмов и архитектуры системы, упрощающей проведение обслуживания и ремонта оборудования на примере электродвигателя. Опираясь на знаниях о существующих проблемах и возможных неисправностях оборудования, необходим новый механизм проведения ремонта [6]. В этой связи необходимо рассматривать процесс ремонта как объект управления, работу которого необходимо оптимизировать во времени.

В данной работе электродвигатель рассматривается неразрывно от технологического процесса. Это достигается за счет моделирования технологического участка, в котором используется данное оборудование. Модель реактора с перемешивающим устройством и электродвигателем выполнена в программном обеспечении Matlab Simulink и соединена с системой дополненной реальности через протокол интернета вещей MQTT. Разработанная архитектура системы представляет собой три информационных уровня – физический, коммуникационный и уровень приложений. К физическому уровню относится лабораторный электродвигатель, преобразователь частоты, ПЛК и распределительный электрический шкаф. Уровень коммуникаций обеспечивает сбор данных и связь между данными, поступающими с лабораторного электродвигателя и моделируемых параметров технологического процесса в систему дополненной реальности, которая расположена на уровне приложений, с которой взаимодействует конечный пользователь в виде технического персонала.

Результатом исследования является разработанная архитектура системы управления электродвигателем мешалки с использованием технологии дополненной реальности (рисунок 1). Полученное программное обеспечение было протестировано на электродвигателе АИР80В4 с преобразователем частоты Altivar Process ATV900, ПЛК Modicon M340, электрическим распределительным устройством

0,4 кВ и очках дополненной реальности HoloLens 2 с последующей экспертной оценкой рисков внедрения системы на производство.

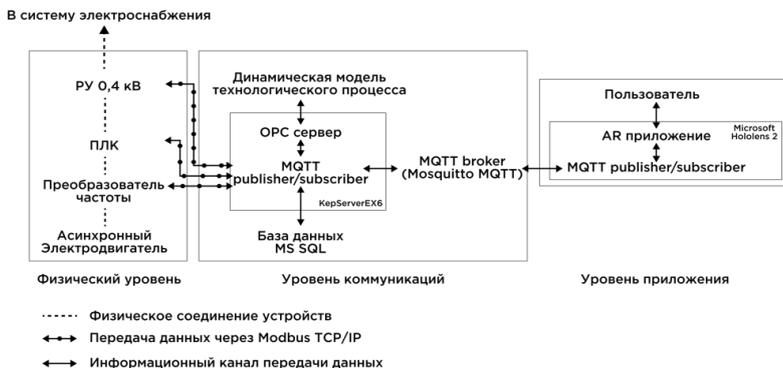


Рис. 1. Архитектура разработанной системы

Надвигающаяся эра всеобщей цифровизации затрагивает все отрасли промышленности, затрагивая процессы на всех уровнях АСУ ТП – от нижнего уровня датчиков и средств измерения до бизнес-процессов. Наблюдается стремление к безлюдному производству, роботизации технологических процессов. Однако, процессы ремонта пока далеки от замены человека роботом или искусственным интеллектом. А существующий этап развития цифровых технологий все еще не готов полностью отказаться от человеческого вмешательства, хотя наблюдается стремление переместить роль человека из «управленца» процессом в роль «наблюдателя». При этом управление и принятие решений перекладывается на интеллектуальные системы управления [7].

Поскольку цифровизация любого процесса возможна только после его автоматизации, то необходимо обеспечить процесс ремонта некой автоматизацией, цель которой в рамках одной единицы оборудования – сократить время проведения ремонта, трудоемкость ремонта, повысить коэффициент технического использования и коэффициент готовности оборудования, а в масштабе производства – повысить готовность парка объектов [8].

Список литературы

1. Eswaran M. и др. Augmented reality-based guidance in product assembly and maintenance/repair perspective: A state of the art review on challenges and opportunities // Expert Systems with Applications.– 2023.– Т. 213.– С. 118983.
2. Romashev A.O., Nikolaeva N.V., Gatiatullin B.L. Adaptive approach formation using machine vision technology to determine the parameters of

enrichment products deposition // Journal of Mining Institute.– 2022.– Т. 256.– С. 677–685.

3. Ko C. и др. Development of augmented virtual reality-based operator training system for accident prevention in a refinery // Korean Journal of Chemical Engineering. – 2021.– Т. 38.– № 8.– С. 1566–1577.

4. Alionte C.-G., Al Shehari A.-H., Ungureanu L.-M. Educational system for augmented reality applications // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2020.– Т. 143.– С. 72–80.

5. Knyazkina V.I., Ivanov S.L. Improvement of the system of maintenance and repair of mining machines according to the actual state // ГИАБ. – 2022. – № 6–2. – С. 223–236.

6. Liu S., Wang X.V., Wang L. Digital twin-enabled advance execution for human-robot collaborative assembly // CIRP Annals.– 2022.– Т. 71.– № 1.– С. 25–28.

7. Buzmakov S.A., Sannikov P.Y., Kuchin L.S., Igoscheva E.A., Abdulmanova I.F. The use of unmanned aerial photography for interpreting the technogenic transformation of the natural environment during the oilfield operation // Journal of Mining Institute. – 2023. Т. 260. С. 180-193.

8. Jimenez-Guarneros M., Morales-Perez C., Rangel-Magdaleno J.D.J. Diagnostic of Combined Mechanical and Electrical Faults in ASD-Powered Induction Motor Using MODWT and a Lightweight 1-D CNN // IEEE Transactions on Industrial Informatics.– 2022.– Т. 18.– № 7.– С. 4688–4697.

УДК 622.6; 622.7

ЭВОЛЮЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ФОНЕ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Князькин Е.А.

ИПКОН РАН, г. Москва

Развитие технологий в IT отрасли, в области искусственного интеллекта, кардинально изменяет устоявшиеся бизнес-процессы на промышленных предприятиях [1]. Исключением не стала и горнодобывающая промышленность, где данные технологии находят применение для решения проблем, которые ранее невозможно было решить ввиду ограниченности в той или иной информации. Примером такой технологии является видеоаналитика или «компьютерное зрение», которая активно применяется для оценки гранулометрического состава в забое, на конвейере, в кузове самосвалов и т.п.

Прогресс в упомянутом направлении также затронул и процесс обогащения, например, для рационального управления производством компания «Noneuwell» разработала программный пакет, который обеспечивает основу для цифровой аналитики в реальном времени,

объединяя данные со средствами их анализа и визуализации [2]. Частным примером такого комплекса является система усовершенствованного управления технологическим процессом (СУУ ТП) с использованием математических и экономических моделей процессов. Данная надстройка осуществляется над АСУ ТП и обеспечивает получение наилучших результатов от автоматизации технологических процессов при минимальных затратах на внедрение этой надстройки. Эти системы способствуют оптимизации производственных процессов и являются, промежуточным звеном между АСУ ТП и облачными технологиями.

Однако, широкое развитие систем СУУТП различными вендорами представляет собой решения локального характера, т.е. оптимизация происходит в рамках контура входных и выходных параметров конкретных типов оборудования, когда на весь технологический процесс обогатительной фабрики никто не обращает внимания.

Кроме этого, изменения в устоявшиеся бизнес-процессах горных предприятий диктует развитие цифровых технологий в области управления качеством при транспортировании сырья. Например, при открытом ведении горных работ уже существуют IT продукты, способные отследить качество и степень его усреднения на перегрузочных складах и непосредственно в кузове самосвала. Так на рисунке 1 показан фрагмент продукта российской компании «Piklema», который виртуально производит деление складских площадей на секции и по позиционированию самосвалов определяет усредненное качество сырья в границах каждой секции [3].



Рис. 1. Секционное складирование полезного ископаемого

Таким образом, современное развитие технологий способно расширить зону влияния обогатительных фабрик на принятие решений

по направлению сырьевых потоков. Например, устоявшийся в ходе эволюционного развития бизнес-процесс, когда перегрузочные склады находятся в области ответственности служб, занимающихся транспортированием горной массы, должен претерпеть изменения, которые позволят компетентному персоналу фабрики вмешиваться в алгоритмы распределения сырьевого потока. Такой подход становится возможным именно благодаря развитию технологий, которые в режиме реального времени дают информацию по движению сырья от забоя до приемного бункера фабрики. Причем, применение СУУ ТП в подобном контексте уходит на второй план, где ее главная задача – стабилизировать технологический процесс и снизить долю влияния человеческого фактора.

Список литературы

1. Подшивалова М. В., Пылаева И. С. Бизнес-модели фабрик будущего: идентификация и экономико-математическое описание // Вестник ЮУрГУ. Серия: Экономика и менеджмент. 2021. №2.

2. Официальный сайт Honeywell [Электронный ресурс]. URL: <https://www.honeywell.com> (дата обращения: 08.07.2023).

3. Официальный сайт Piklema [Электронный ресурс]. URL: <https://www.piklema.ru/> (дата обращения: 10.07.2023).

УДК 622.1

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА СКЛАДАХ ДОБЫВАЮЩИХ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Сыропятов А.А., Нефедов С.И.

НИУ ВШЭ, МИЭМ, г. Москва

При разработке месторождений полезных ископаемых одним из важнейших основных требований по рациональному использованию и охране недр является достоверный учет извлекаемых и оставляемых в недрах запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и попутных компонентов. Производство данного вида работ на горнопромышленных предприятиях осуществляется маркшейдерской службой. В данной статье произведен обзор существующих и перспективных методов определения объема сыпучих материалов.

Введение

Добыча и переработка твердых полезных ископаемых (ТПИ) состоит из большого количества технологических, повторяющихся во времени процессов, связанных между собой, в конечном счете представляя из себя готовый продукт для конечного потребителя. В соответствии с Федеральным Законом Российской Федерации «О недрах» [1], одним из основных требований на всех этапах добычи, обогащения и складирования ТПИ имеет важнейшую роль оперативный и своевременный учет объемов вскрышных и добычных работ, запасов полезного ископаемого (ПИ) на складах, систематизация и предоставление достоверных данных по объемам в каждом отчетном периоде. Подсчет и учет объемов на горнопромышленных предприятиях осуществляется маркшейдерской службой, основной задачей которой является охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль, а также обеспечение безопасного ведения горных работ. В свою очередь, производство маркшейдерско-геодезических работ, в том числе для определения объемов, представляет из себя перечень полевых и камеральных работ, которые несут в себе определенные временные и материальные затраты.

В данной статье будут рассмотрены основные средства производства работ по определению объемов на складах, используемые маркшейдерскими службами отечественных и зарубежных предприятий.

Способ правильных геометрических тел

Добытое полезное ископаемое поступает на склады, конусы или площадки хранения. На площадках хранения складированное полезное ископаемое часто занимает правильный геометрический объем - конус, клин, обелиск или призматок. Если конус небольшой, то его высота измеряется непосредственно при помощи нивелирной рейки. При значительных размерах конуса высота определяется тригонометрическим нивелированием либо косвенным путем (относительно окружающих объектов или предметов, а также по углу наклона образующей конуса).

Способ геометрических тел справедлив только для фигур правильной формы, что ограничивает область его применения для неправильных форм складирования, при этом данный способ является одним из самых быстрых за счет малого объема полевых и камеральных работ.

Методы оперативного учета

Объем сыпучего материала может быть определен по количеству поступивших на склад сосудов, скипов, вагонов, самосвалов, если заранее известна их вместимость, или по результатам взвешивания ПИ или породы.

Методы оперативного учета являются наименее точными, так как конечная величина зависит от большого числа факторов и неопределенностей – полнота загрузки сосуда, степень уплотнения, удельный вес материала, исходная точность определения объема сосуда.

Тахеометрическая съемка

Современная тахеометрическая съемка представляет собой определение плано-высотных (пространственных) координат точек (пикетов) при помощи теодолитов, тахеометров или GNSS оборудования путем последовательной съемки характерного контура фигуры насыпи (рисунок 1). При этом, стоит отметить, что производство спутниковых наблюдений (GNSS способ) возможен только на открытых площадках складирования, обеспечивающих беспрепятственное прохождение радиосигнала.



Рис. 1. Съемка насыпи электронным тахеометром

Тахеометрическая съемка позволяет с высокой точностью описать форму складирования материала, учесть различного рода неровности и характерные места на поверхности при условии соблюдения исполнителем полноты съемки (количество и качество пикетов). Необходимым условием производства тахеометрической съемки (кроме GNSS съемки, для которой данное условие может быть необязательным при наличии мобильного интернета и референсных базовых станций) является наличие съемочного обоснования (опорной маркшейдерской сети, съемочной сети или закрепленных знаков в условной системе координат). Также, с учетом формы

поверхности основания склада, для повышения точности определения объема, необходимо предварительно выполнить съемку пустого склада для создания поверхности основания для дальнейшего вычисления объема материала путем разности поверхностей.

Данный способ является одним из самых точных, но предполагает производство значительных полевых и камеральных работ.

Лазерное сканирование

Метод наземного лазерного сканирования является частным случаем развития тахеометрической съемки, при этом, влияние исполнителя на полноту съемки минимизировано за счет избыточного количества измерений лазерного сканера, работающего в автоматическом режиме с обзором, в том числе, в 360 градусов вокруг своей оси, либо в заданной области исполнителем. При этом, аналогично классической тахеометрической съемке необходимым условием выполнения наземного лазерного сканирования является наличие съемочного обоснования, как правило, в виде настенных марок, которые хорошо дешифрируются в дальнейшем при камеральной обработке для связки отдельных сканов в единое облако точек для дальнейшего расчета объема (рисунок 2).



Рис. 2. Лазерное сканирование склада (НЛС)

Кроме наземного лазерного сканирования (НЛС) возможны разновидности в виде воздушного лазерного сканирования (ВЛС) с летательных аппаратов и мобильного лазерного сканирования (МЛС) с транспортных средств или пешего пути. При этом, для ВЛС и МЛС наличие съемочного обоснования является необязательным в зависимости от ситуации, т.к. при этих видах сканирования для определения пространственных координат, как правило, используется GNSS оборудование.

Учитывая избыточное количество измерений при лазерном сканировании, необходимо отметить значительный объем камеральных

работ по удалению из облака точек шумов и посторонних объектов, попавших в область сканирования (рисунок 3) в специализированном программном обеспечении (ПО).

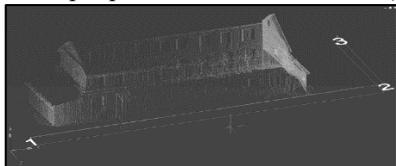


Рис. 3. Пример облака точек по результатам НЛС

Говоря о методах лазерного сканирования необходимо отметить их высокую точность и избыточность получаемой информации об объектах съемки. Аналогично тахеометрической съемке, методы лазерного сканирования предполагают производство полевых и значительных камеральных работ.

Фотограмметрическая съемка

Метод определения объема при помощи стереофотограмметрической съемки широко используется на больших открытых площадных складах, когда производство тахеометрической съемки или лазерного сканирования на таком складе несет большие временные- и трудозатраты. Стереофотограмметрическая съемка, как правило, выполняется с летательных аппаратов, обеспечивая необходимое перекрытие снимков для дальнейшей камеральной обработки и построения плотного облака точек в специализированном ПО (рисунок 4).

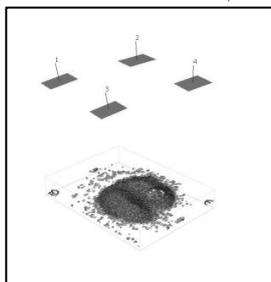


Рис. 4. Облако точек с фотоснимками полетного задания

Кроме съемки с воздуха, существует вариант наземной стереосъемки (фототеодолитная съемка), обязательным условием для которой является наличие съемочного обоснования, в то время как для воздушной съемки, как правило, используется GNSS позиционирование каждого снимка и/или опорных точек (GCP).

Одним из главных условий выполнения качественной фотограмметрической съемки является точное определение центров

фотографирования, что с учетом движения летательного аппарата и погрешности GNSS оборудования является слабым местом такого метода. Для повышения точности определения центров фотографирования при воздушной съемке используют опорные точки на поверхности земли, которые хорошо дешифрируются на снимках, но закладка и дальнейшее дешифрирование таких точек несет в себе значительные материальные, временные- и трудозатраты.

Одним из способов решения проблемы определения координат центров фотографирования является неподвижность камеры, что в условиях полета невозможно, но возможно при жестком закреплении её на складе (преимущественно склады закрытого типа), когда координаты центров фотографирования можно заранее определить по опорным точкам. Так как камеры неподвижны, то их координаты в дальнейшем остаются неизменными в процессе работы склада (рисунк 5). Использование такого решения обеспечивает сокращение полевых работ до нуля, в случае, если к фотодатчикам есть удаленный доступ – оператор по запросу может получить фотоснимки в любой необходимый ему момент времени, после чего остается выполнить только этап камеральных работ. Такой принципиально новый подход определения объема реализуется российской компанией ООО «ДиВэйв», которая предлагает комплексный подход к решению данной задачи, исключая время на выполнение полевых и камеральных работ, производя все вычисления в автоматическом режиме в своем программном продукте.

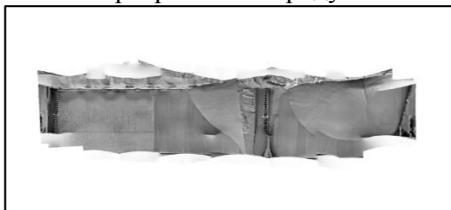


Рис. 5. Ортофотоплан склада сыпучего материала

Заключение

Анализируя представленные способы определения объема необходимо отметить, что все современные методы съемки обеспечивают требуемую точность выполнения работ в 2% согласно нормативной документации [2]. Из всех методов фотограмметрический способ является перспективным вариантом развития решения проблемы оперативного, достоверного и своевременного учета объема сыпучих материалов на закрытых складах, где возможна реализация

стационарных систем дистанционного мониторинга объема, исключаящие полевой этап маркшейдерских работ и значительно сокращающие производство камеральных работ. Однако, необходимо учитывать необходимость внесения таких способов в Государственный реестр средств измерений [3].

Список литературы

1. Закон Российской Федерации от 21.02.1992 N 2395-1 «О недрах», в редакции от 29.12.2022.
2. Приказ Ростехнадзора от 19.05.2023 N 186 «Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности» (Зарегистрировано в Минюсте России 31.05.2023 N 73638).
3. Федеральный закон от 26.06.2008 N 102-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «Об обеспечении единства измерений».

УДК 004.056; 622.06

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Милетенко Н.И.¹ Федотенко Н.А.²

*¹Московский университет МВД России имени В.Я. Кикотя,
Кафедра информационной безопасности*
²ИПКОН РАН, г. Москва

Введение

В современном мире информационные технологии стали неотъемлемой частью практически всех сфер деятельности, включая горнодобывающую промышленность. В эпоху цифровой трансформации горнодобывающие предприятия сталкиваются с рядом актуальных и сложных вопросов, связанных с обеспечением информационной безопасности. Горнодобывающие предприятия сегодня активно используют информационные системы и базы данных для управления производственными процессами, мониторинга оборудования, анализа данных, планирования ресурсов и обеспечения безопасности рабочих мест. Информационные системы стали неотъемлемой частью деятельности в данной отрасли, играя ключевую роль в процессах управления, контроля, мониторинга и оптимизации добычи полезных ископаемых. Однако, как и в любой другой отрасли, где информация играет ключевую роль, в горной промышленности возникают серьезные вопросы в области информационной безопасности, а горнодобывающие предприятия подвергаются разнообразным угрозам и кибератакам.

Актуальность вопросов информационной безопасности

1. Зависимость от информационных систем. Горнодобывающие предприятия сильно зависят от информационных систем для управления различными аспектами своей деятельности, включая управление оборудованием и процессами, контроль качества продукции и мониторинг окружающей среды. Актуальность вопросов информационной безопасности заключается в том, что сбой или атака на эти системы может существенно повлиять на производственные процессы, что, в свою очередь, может привести к финансовым убыткам и опасности для здоровья и безопасности работников.

2. Конфиденциальность данных. Горнодобывающие предприятия обладают ценными данными, такими как геологические исследования, информация о запасах руды и добычи, технологические процессы и данные об экологических аспектах. Актуальность вопросов информационной безопасности заключается в необходимости защищать эти данные от несанкционированного доступа, утечек или внутренних угроз.

3. Угрозы кибербезопасности. С ростом сложности кибератак и развитием киберпреступности, горнодобывающие предприятия становятся мишенями для хакеров и злоумышленников. Атаки могут включать в себя взлом систем, угрозы вымогательства с использованием шифрования данных (ransomware-рансомвар) и даже долгосрочные кибершпионажные операции. Конфиденциальная информация, такая как геологические данные и стратегические планы, может быть скомпрометирована и использована для вымогательства или нарушения конкурентоспособности. Важно учитывать, что угрозы в этой области постоянно развиваются, что делает актуальным постоянное обновление мер безопасности.

4. Соблюдение нормативных требований. Горнодобывающие предприятия должны соблюдать различные нормативные требования и стандарты, связанные с информационной безопасностью, такие как GDPR (Общий регламент по защите данных), ISO 27001 (стандарт по управлению информационной безопасностью), и другие регуляторные акты, которые могут варьироваться в зависимости от местоположения и характера деятельности предприятия.

Меры по обеспечению безопасности информационных систем

1. Стратегия безопасности. Разработка и внедрение стратегии безопасности информационных систем являются ключевыми шагами для горнодобывающих предприятий. Эта стратегия должна

включать в себя планы реагирования на инциденты, определение уровней доступа, управление и мониторинг угроз, а также системы обнаружения и предотвращения инцидентов.

2. Обучение персонала является важным аспектом обеспечения безопасности информационных систем. Работники должны быть обучены узнавать потенциальные угрозы, как действовать в случае инцидента и как соблюдать политики безопасности.

3. Защита данных включает в себя следующие меры:

- Шифрование данных: Данные должны быть зашифрованы при передаче и хранении, чтобы предотвратить несанкционированный доступ к ним.

- Многоуровневая аутентификация: Использование многоуровневой аутентификации (например, пароль + биометрические данные) повышает уровень защиты системы.

- Регулярное резервное копирование: Регулярное создание резервных копий данных позволяет восстановить информацию в случае её потери или повреждения.

4. Мониторинг и обновления. Регулярный мониторинг информационных систем помогает выявить несанкционированную активность или уязвимости. Обновления программного обеспечения и аппаратных средств необходимы для устранения известных уязвимостей и поддержания безопасности систем на актуальном уровне. Также важным аспектом является обеспечение физической безопасности. Оно включает в себя установку систем видеонаблюдения, контроль доступа к серверам и защиту оборудования от физических угроз.

Эти меры представляют собой лишь общий набор практик, которые горнодобывающие предприятия могут применять для обеспечения безопасности своих информационных систем. Важно подстраивать их под конкретные потребности и угрозы, с которыми сталкиваются конкретные предприятия, и постоянно совершенствовать методы обеспечения информационной безопасности.

Заключение

Обеспечение безопасности информационных систем для горнодобывающих предприятий является актуальной и неотъемлемой частью успешной деятельности в современном мире. Угрозы в области информационной безопасности постоянно эволюционируют, и горнодобывающие предприятия должны постоянно улучшать свои методы и стратегии для защиты своих информационных активов. Только при строгом соблюдении мер по обеспечению безопасности

информационных систем горнодобывающие предприятия смогут минимизировать риски и обеспечить устойчивое развитие своей деятельности.

Список литературы

1. Голошапов, А.Н. (2018). Информационная безопасность корпоративных информационных систем: проблемы и методы решения. М.: ИНФРА-М.
2. Григорьев, С.В., & Володин, А.И. (2017). Информационная безопасность предприятия: учебник. М.: Дело.
3. Гусев, А.Н., & Козлов, В.В. (2016). Информационная безопасность промышленных предприятий. М.: Юрайт.
4. Мацнев, В.И. (2015). Информационная безопасность. М.: Питер.
5. Постников, В.В., & Линд, А.Ю. (2019). Защита информации: теория и практика. М.: МедиаКнига.
6. Стрельцов, В.Н., & Шишкин, М.И. (2018). Информационная безопасность и защита информации: учебник. М.: Юрайт.
7. Каплунов Д.Р., Федотенко В.С. О сути цифровизации горнотехнических систем // Маркшейдерия и недропользование. – 2022. – № 3(119). – С. 3-5.
8. Добрынин А.А. Роботизация взрывных работ. Предпосылки. Результаты. Возможные перспективы // Маркшейдерия и недропользование. – 2022. – № 3(119). – С. 6-11.
9. Дрибан В.А., Хохлов Б.В., Хламов Д.М., Антипенко А.В. Использование методов искусственного интеллекта для прогноза провалоопасности подработанных участков земной поверхности // Маркшейдерия и недропользование. – 2023. – № 4(126). – С. 36-42. DOI: 10.56195/20793332_2023_4_36_42.

ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

ЭКСПРЕСС-МЕТОД АНАЛИЗА ЖЕЛЕЗА МАГНИТНОГО В РУДНЫХ МАТЕРИАЛАХ С МИНИМИЗАЦИЕЙ ПРОЦЕССА ПРОБОПОДГОТОВКИ

Баранов А.Г., Васюшко М.В.

*Ассоциация субъектов инновационной деятельности
в горной отрасли «Инновационные горные технологии» (ЦИГТ),
г. Москва*

Процесс эффективного обогащения требует своевременного определения качественных показателей руд, содержащих магнитные минералы, на всех этапах технологического процесса: от буровзрывных работ до получения конечного концентрата. На практике для определения массовой доли железа магнитного в рудных материалах используют магнитометрические методы, особенностью которых является проведение измерений на небольших пробах, из-за необходимости достижения в пробе магнитного насыщения. Такое требование к размеру проб подразумевает пробоподготовку, которая влечёт за собой большие временные и трудовые затраты для предприятий, а также исключает возможность контроля руд в «полевых условиях» и измерения больших объёмов. В данной работе представлен новый магнитометрический метод анализа железа магнитного, особенностью которого является измерение при магнитных полях, не приводящих к магнитному насыщению измеряемых материалов, что позволяет увеличить объём пробы, а соответственно минимизировать затраты на пробоподготовку. Разработанный экспресс-метод анализа железа магнитного также даёт возможность улучшить оперативность контроля процесса обогащения в течении смены.

Цель работы: повышение оперативности контроля рудных материалов, содержащих магнитные минералы, на всех этапах добычи и обогащения руд.

Задача работы: разработка нового экспресс-метода анализа железа магнитного в рудных материалах с минимизацией процесса пробоподготовки.

Материалы и методы: сопоставление данных, полученных с помощью традиционной мокрой химии с экспериментальными результатами.

Результаты: сравнение исходных и экспериментальных показателей показало удовлетворительную погрешность предлагаемого экспресс-метода анализа железа магнитного.

Таким образом, данный метод может применяться в оперативном контроле содержания железа магнитного в следующих рудных материалах:

- буровом шламе на этапе буровзрывных работ с целью повышения процента опробования и своевременной актуализации геoinформационных систем;
- руды из забоя с целью снижения степени разубоживания отгружаемой руды;
- продуктов обогащения (шихты текущего производства, промпродуктов, хвостов и концентрата) с целью оптимизации производственных режимов.

Научный руководитель: Ананьева А.В.

УДК 622.7

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ УГЛЕРОДИСТОГО СЫРЬЯ

Абурова В.А., Афанасова А.В.

*Санкт-Петербургский горный университет,
г. Санкт-Петербург*

Вовлечение в переработку руд, относящихся к категории упорные, приводит к возникновению ряда трудностей, касающихся тонкой вкрапленности золота в минералы-концентраты, наличия сорбционно-активного углеродистого вещества, вследствие чего возникает необходимость в разработке новых технологических решений и совершенствовании уже существующих, по причине невозможности достижения требуемого качества концентратов с применением традиционных методов переработки и потерь ценного компонента с хвостами обогащения. Углеродистая сульфидная золотосодержащая руда в данной работе была принята в качестве объекта исследования. Целью исследования является установление возможности укрупнения низкоразмерного золота за счет добавления

оксида железа (III) при микроволновой обработке углеродистых флотационных концентратов.

Получение углеродистого флотационного концентрата производилось с применением пневмомеханической флотомашины фирмы Laagmann с объемом камеры 1,5 л. Для определения элементного состава полученных продуктов использован рентгенофлуоресцентный анализатор. Анализ проб до и после микроволновой обработки проводился с применением сканирующей электронной микроскопии, совмещенной с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа.

Для установления возможности укрупнения низкоразмерного золота при добавлении оксида железа и микроволновом воздействии проведены опыты на модельных навесках с варьированием содержания железосодержащего порошка по отношению к массе пробы. Модельными навесками являются предварительно отфильтрованные и высушенные продукты адсорбированного золота на активированном угле. На основании анализа полученных данных после микроволновой обработки обнаружены активные центры локального нагрева и обосновано необходимое содержание оксида железа для укрупнения низкоразмерного золота. Укрупнение частиц при микроволновой обработке наблюдалось преимущественно до размеров 20-50 мкм.

Для подтверждения укрупнения золота были получены углеродистые флотационные концентраты, которые также подвергались микроволновому воздействию с обоснованным содержанием оксида железа. Перед обработкой полученные продукты были исследованы с применением рентгенофлуоресцентного анализа, по результатам которого было выявлено наличие в углеродистом концентрате помимо углеродистого вещества сульфидных и порообразующих минералов. Продукты после обработки исследованы с применением сканирующей электронной микроскопии, в качестве примера на рисунке 1 представлено укрупненное низкоразмерное золото.

Анализ полученных данных после обработки позволил подтвердить возможность укрупнения низкоразмерного золота преимущественно до размеров 20-40 мкм. По результатам элементного состава в пробах также обнаружено серебро. Укрупнение золота при переработке данного типа руд может позволить в дальнейшем использовать традиционные методы для его извлечения. В качестве предполагаемого механизма укрупнения предложен дефект Френкеля. Он возникает при тепловом воздействии и способствует перемещению

атома из узла кристаллической решетки в междоузлие с возникновением точечного дефекта. Из-за повышения энергии кристалла и стремлении системы к равновесию происходит последующее укрупнение низкоразмерного золота.

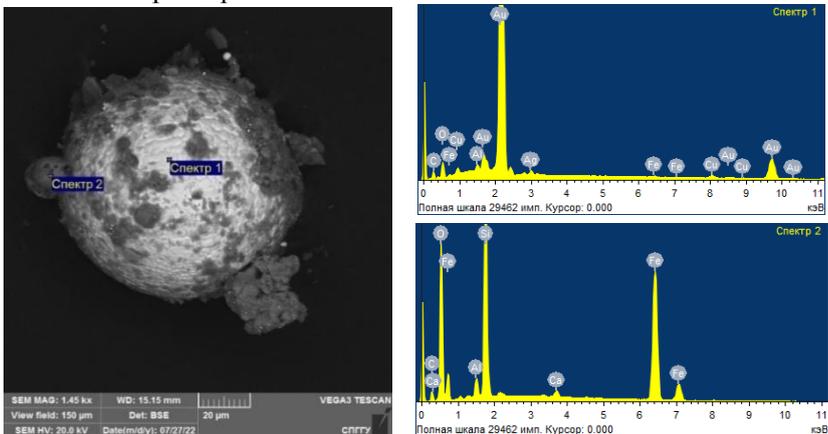


Рис. 1. Укрупненное низкоразмерное золото в углеродистом флотационном концентрате после микроволновой обработки с применением сканирующей электронной микроскопии

Научный руководитель: зав. каф. ОПИ, д.т.н., профессор Александрова Т.Н.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-17-00096).

УДК 622.7

ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ ИЗ КОМПЛЕКСНЫХ МЕДНЫХ РУД НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАНИЯ ФЛОТАЦИИ И ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Люблянова В.А., Афанасова А.В.

*Санкт-Петербургский горный университет,
г. Санкт-Петербург*

Исчерпание легкообогатимых богатых медных руд приводит к необходимости вовлечения в переработку комплексных медных руд, включающих в себя не только сульфидные минералы меди, но также и окисленные ее формы, в том числе медь в связанной и свободной форме, вследствие чего возникает потребность в разработке новых

методов для переработки данного типа руд. В соответствии с этим целью данной работы является разработка технологических решений переработки комплексной медной руды на основании комбинирования флотационного метода обогащения и выщелачивания. В качестве объекта в данном исследовании были приняты: комплексная медная руда, а также медные минералы – халькопирит, хризоколла, азурит и малахит.

В представленном исследовании анализ элементного состава проб с помощью рентгенофлуоресцентного анализатора EDX 7000 от производителя Schimadzu, измельчение проб до необходимой при флотационном обогащении и выщелачивании крупности производилось в лабораторной мельнице МШЛ-1л, флотационное обогащение мономинеральных фракций, а также комплексной медной руды проводилось на лабораторной пневмомеханической лабораторной машине от производителя Laarmann Flotation Bench Test Machine, анализ гранулометрического состава навесок производился на вибрационном встряхивателе Laarmann.

Для установления фазовых состояний меди, находящихся в взятой для исследования комплексной медной руде, был проведен фазовый анализ, результаты которого показали, что в исследуемой руде медь находится во всех четырех фазовых состояниях, т.е. процентное соотношение водорастворимой, свободной окисленной, связанной окисленной меди и меди первичных и вторичных сульфидов составляет 0,67%, 27,66%, 33,74%, 37,93% соответственно. В соответствии с результатами фазового анализа были выбраны мономинеральные фракции.

Для изучения флотации мономинеральных фракций медных минералов были проведены сравнительные опыты флотации халькопирита, а также азурита и малахита с различными реагентами и их комбинациями. Анализ полученных результатов позволил выяснить, что при флотации халькопирита наибольшее извлечение достигается при использовании в качестве собирателя бутилового ксантогената калия, а при флотации азурита и малахита наиболее высокие показатели были достигнуты при предварительной сульфидизации поверхности минералов сернистым натрием и последующей сульфидной флотации бутиловым ксантогенатом калия.

Для обоснования расходов реагентов, выбранных при флотации монофракций, были проведены дополнительные серии опытов, полученные в их ходе результаты представлены на рисунках 1 и 2.

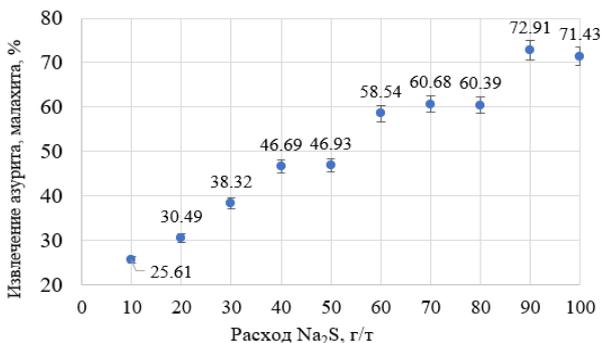


Рис. 1. Зависимость извлечения азурита и малахита в пенный продукт от расхода сернистого натрия

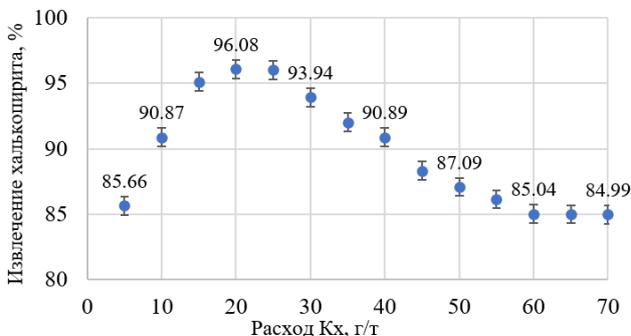


Рис. 2. Зависимость извлечения халькопирита в пенный продукт от расхода БКК

На основании результатов данных опытов были установлены следующие расходы реагентов: при флотации халькопирита установлен расход бутилового ксантогената калия 20 г/т; при флотации азурита и малахита установлен расход сернистого натрия 90 г/т.

По результатам полученных в ходе опытов данных был выбран реагентный режим для тестовой флотации исследуемой комплексной медной руды. Извлечение меди в концентрат составило 76,7%, в хвосты – 23,3% соответственно. Достаточно высокие значения извлечения меди в камерный продукт флотации могут быть обоснованы долей окисленной связанной меди, содержащейся в исследуемой руде и не перерабатываемой флотационными методами обогащения.

Также были построены диаграммы Пурбе, на основании которых можно сделать вывод о наличии определенных соединений меди при

данных значениях водородного показателя и окислительно-восстановительного потенциала, диаграмма для системы медь-вода при 20°C представлена на рисунке 3.

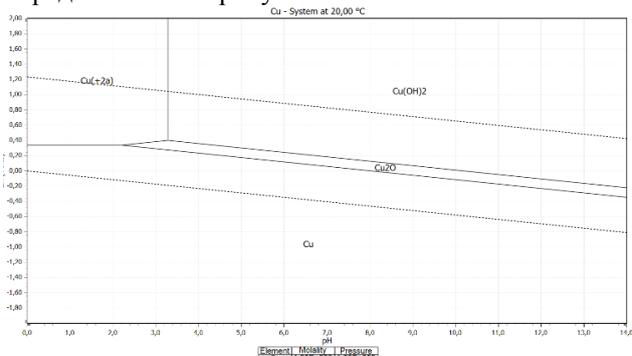


Рис. 3. Диаграмма состояний системы медь-вода

В данном исследовании были изучены минералогические и технологические особенности взятой для исследования комплексной медной руды, а также установлено соотношение между различными фазовыми состояниями меди в руде: водорастворимая медь – 0,67%, свободная окисленная медь – 27,66%, окисленная связанная медь – 33,74%, медь первичных и вторичных сульфидов – 37,93%.

Проведенные опыты флотации исследуемой руды показали, что основные потери меди с хвостами обусловлены наличием в руде окисленной и связанной меди. При исследовании флотационного обогащения медных минералов были установлены расходы реагентов: для халькопирита расход бутилового ксантогената калия, равный 20 г/т, для азурита и малахита расход сернистого натрия, равный 90 г/т.

Были построены диаграммы Пурбе для системы медь-вода при различных значениях температур для определения термодинамической вероятности нахождения меди в ионной фазе при различных условиях. Также были проведены опыты выщелачивания окисленных минералов меди серной кислотой, при которых была достигнута высокая степень перехода меди в ионной форме в продуктивный раствор.

Научный руководитель: зав. каф. ОПИ, д.т.н., профессор Александрова Т.Н.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-17-00096).

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПИРИТНЫХ ХВОСТОВ

**Мусаев В.В., Чинова Н.Б., Ключников А.М.,
Шакиров Д.А., Братыгин Е.В., Дмитриева Е.Г.**

АО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург

В АО «Уралмеханобр» проведены исследования по комплексной переработке пиритных хвостов с переводом железа, серы, цветных и драгоценных металлов в товарные продукты.

Обогащению подвергали лежалые пиритные хвосты, содержащие золота 0,7-0,9 г/т, серебра – 7,2-9,5 г/т, меди – 0,41%, из них 0,14% приходится на долю водорастворимых сульфатов, 0,21% приходится на долю халькопирита, остальная медь в незначительной степени представлена вторичными сульфидными минералами (борнит, халькозин, ковеллин). Содержание цинка составляло 0,48%, из них 0,23% ассоциировано в окисленных минеральных формах (водорастворимых). Содержание железа составляло 33,8%, из них 30,8% приходится на железо в виде пирита. Содержание серы составило 36,7%, из них на долю сульфатной серы – 1,1%, остальная сера представлена сульфидными минералами, в основном пиритом.

Наличие в значительном количестве водорастворимых форм меди и цинка в исходном материале делает необходимым введение операции отмывки хвостов перед дальнейшим флотационным обогащением. Данная операция в перспективе позволяет выделить значительное количество меди в виде товарного продукта, содержащего 80-90% меди, цементацией (1,2-1,3 кг меди с тонны хвостов).

По результатам флотационных исследований технологических свойств лежалых хвостов установлено следующее:

– благодаря включению в схему предварительной гидрометаллургической операции выделения водорастворимой сульфатной меди, получен богатый медный осадок с массовой долей меди 87-91% при извлечении 28-30%;

– схема коллективно-селективной флотации позволяет получить суммарный медный концентрат с массовой долей меди 13,76% и цинка 4,63% при извлечении меди 46,47%. Содержание золота и серебра в общем медном концентрате составляет 2,88 г/т и 26,35 г/т, соответственно, при извлечении золота 5,81% и серебра – 4,46%;

– схема прямой селективной флотации позволяет получить суммарный медный концентрат с массовой долей меди 15,14% и цинка 1,43% при извлечении меди 57,45%. Содержание золота и серебра в объединенном медном концентрате составило 3,09 г/т и 46,02 г/т, соответственно, при извлечении золота 5,48% и серебра – 7,02%.

При окислительном обжиге флотационного сульфидного концентрата получен пиритный огарок, содержащий, %: железа – 62,7; меди – 0,47; цинка – 0,53; серы – 1,09; мышьяка – 0,04; золота – 1,4 г/т; серебра – 10,5 г/т.

Обжиговые газы, содержащие сернистый ангидрид, улавливали пульпой окисленной никелевой руды, содержащей 0,5 % никеля. Обжиговые газы барботировали через пульпу никелевой руды в течение 1,0-1,5 часов. Степень поглощения сернистого газа суспензией никелевой руды с содержанием 5 % твердого составила 5-20 %, при этом степень перехода никеля в раствор составила от 10 до 20 %, что свидетельствует о хорошей тенденции выщелачивания никеля сернистым газом при организации эффективного массообмена между обжиговыми газами и пульпой никелевой руды. Эффективность такого процесса отмечалась ранее в работе [1].

Пиритные огарки, полученные в результате окислительного обжига сульфидных концентратов, подвергались хлорирующему обжигу в камерной печи при 1200°C с разным содержанием CaCl_2 – от 3,5 до 10,0% масс. и общей влажности 15%. Для обжига изготавливались брикеты размером 15x15 мм, размеры которого соответствуют железорудным окатышам (12-16 мм), с усилием прессования 0,5 т/брикет.

Исследованиями показано, что наиболее эффективно возгонка целевых элементов Cu, Zn, Au, Ag, S происходит при содержании в исходной шихте CaCl_2 7,5 %. Время выдержки при температуре выше 1200°C должно составлять не менее 90 мин.

При данном режиме была проведена наработка огарка хлоридовозгонки с целью определения его химического состава и металлургических свойств. В таблице 1 приведен состав огарка после проведения процесса хлорирующего обжига.

Таблица 1

Химический состав огарка после хлорирующего обжига

| Компонент | Fe | Fe_2O_3 | S общ | CaO | SiO_2 | Cu | Zn | Au | Ag |
|--------------------------|------|-------------------------|----------|------|----------------|-------|------|------|------|
| Содержание, масс.% (г/т) | 62,1 | 88,7 | 0,012 | 3,64 | 5,02 | 0,007 | 0,03 | 0,15 | <2,0 |
| Степень удаления, % | - | - | 98,8 | - | - | 98,4 | 94,5 | 89,3 | 81,0 |

Содержание железа в брикетах составило более 61,5%, что соответствует железорудным концентратам, поступающим на обжиг

окатышей. Прочностные свойства брикетов соответствуют следующим требованиям к железорудным окатышам: прочность сухих окатышей выше 1,0 кг/окатыш (в среднем 2,74 кг/брикет), прочность обожженных – свыше 180 кг/окатыш (в среднем 412 кг/брикет).

Отходящие газы (возгоны хлоридов металлов) пропускали через водяной затвор. Степень извлечения полезных компонентов определяли по убыли их содержания при хлоридовозгонке.

Технологическая схема переработки отвальных лежалых пиритных хвостов включает следующие технологические операции:

- выщелачивание из хвостов водорастворимых солей меди и цинка;
- фильтрацию и промывку кека выщелачивания;
- цементацию меди из фильтратов выщелачивания;
- нейтрализацию обезмеженных растворов пульпой известняка и извести;
- измельчение кеков выщелачивания до 95% класса -0,071 мм;
- коллективную сульфидную флотацию из кеков выщелачивания исходных хвостов;
- сгущение и фильтрацию пиритного концентрата;
- сушку и обжиг пиритного концентрата;
- использование обжиговых газов (сернистого газа) для выщелачивания окисленных никелевых руд (предполагается предварительное концентрирование сернистого газа аммиачными растворами);
- утилизацию избытков сернистого газа в виде отвальной пульпы сульфата кальция (гипса, после окисления кислородом воздуха);
- хлорирующий обжиг гранулированного пиритного огарка с добавлением в шихту хлорида кальция с получением железорудных окатышей и возгонов хлоридов цветных и драгоценных металлов;
- переработку возгонов хлоридов до товарных продуктов (цементат меди с драгметаллами, свинец-золото-серебряный концентрат);
- складирование отвальных хвостов коллективной сульфидной флотации в хвостохранилище.

Выполненные технико-экономические расчеты по предложенной комплексной переработке лежалых хвостов флотации медно-цинковых руд совместно с гидрометаллургической переработкой окисленных никелевых руд указывают на перспективность и эффективность предлагаемой технологической схемы. В частности, показано, что переработка по 1000 тыс.т/год пиритных хвостов и окисленных никелевых руд на создаваемых производствах является экономически эффективной: чистый доход составит 219 105 млн рублей, чистый дисконтированный доход – 35 361 млн рублей, простой срок окупаемости – 6,2 года, дисконтированный срок окупаемости – 9,2 года, ВНД – 17,62%, ИД – 1,74 (расчет выполнен на период 24 года эксплуатации).

Список литературы

1. Соболев С.И. Способ выщелачивания никеля и кобальта из окисленных никелевых руд. Бюллетень изобретений СССР, №8, 1959.

УДК 622.725

ПРЕИМУЩЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО МЕТОДА НАД ОБЪЕМНЫМ РЕНТГЕНОАБСОРБЦИОННЫМ ПРИ СОРТИРОВКЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ РУД

Зиятдинов С.В. Ефремова Т.А.

АО «Уралмеханобр», г Екатеринбург

При изучении возможности предварительного обогащения рентгеноабсорбционным методом были проведены расчёты массовых коэффициентов и интенсивностей прошедшего излучения для минералов с разной толщиной кусков медной руды Сафьяновского месторождения и при разной энергии облучающих фотонов.

Поскольку в кусках содержания минералов варьируется практически случайным образом, то необходимо рассчитать интенсивности прошедшего излучения в кусках с различным минеральным составом [1,2,3]. Расчётные значения интенсивности прошедшего излучения для различных по составу кусков представлены в таблице 1.

Таблица 1

Интенсивности прошедшего излучения в кусках с различным минеральным составом при энергии облучающих квантов 124 кэВ

| Кусок | Минерал | Содержание минерала в куске, % | Интенсивность прошедшего излучения через минерал толщиной 3 см, д. ед. | Доля интенсивности прошедшего излучения через слои минералов в куске, д.ед |
|---------------------------------------|---------------|--------------------------------|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Бедный по меди с преобладанием пирита | Халькопирит | 3 | 0,041 | 0,001 |
| | Пирит | 61 | 0,040 | 0,024 |
| | Сфалерит | 2 | 0,028 | 0,001 |
| | Кварц | 34 | 0,300 | 0,102 |
| | Итого: | | 100 | - |

продолжение табл. 1

| | | | | |
|-----------------------------------|---------------|------------|----------|--------------|
| Богатый по меди, без пирита | Халькопирит | 45 | 0,041 | 0,018 |
| | Пирит | 0 | 0,040 | 0,000 |
| | Сфалерит | 21 | 0,028 | 0,006 |
| | Кварц | 34 | 0,300 | 0,102 |
| | Итого: | 100 | - | 0,126 |

Если обратиться к расчетам, представленным в таблице 1, можно отметить, что, доля интенсивности прошедшего излучения через бедный кусок по меди с преобладанием пирита равна 0,128 д. ед., тогда как через богатый кусок без пирита 0,126 д. ед. Значения идентичны, а куски обладают разной потенциальной экономической стоимостью.

Таким образом, рентгеноабсорбционный метод не позволяет разделить близкие по значению массового коэффициента ослабления минералы и их сростки, что критично для многокомпонентных руд цветных металлов.

В таблице 2 представлены характеристики 20 кусков медной руды Сафьяновского месторождения, полученных с помощью рентгенофлуоресцентного сепаратора СРФ1-100Л.

Таблица 2

Характеристика кусков, полученных с помощью рентгенофлуоресцентного сепаратора СРФ1-100Л

| № куска | Аналитический параметр, усл. ед. | | | Содержание элементов, % | | |
|---------|----------------------------------|----------|----------|-------------------------|--------------|--------------|
| | H_{Cu} | H_{Zn} | H_{Fe} | β_{Cu} | β_{Zn} | β_{Fe} |
| 1 | 5,19 | 1,18 | 6,76 | 26,00 | 0,02 | 28,20 |
| 2 | 0,18 | 0,13 | 1,66 | 0,79 | 0,01 | 6,40 |
| 3 | 5,03 | 1,20 | 7,63 | 17,79 | 0,05 | 31,66 |
| 4 | 0,46 | 0,24 | 3,35 | 2,09 | 0,15 | 13,33 |
| 5 | 0,24 | 0,16 | 2,15 | 0,01 | 0,03 | 8,39 |

Содержание меди в кусках определено методом химического анализа.

Согласно данным таблицы 2 в руде встречаются куски совершенно разного минерального и химического составов, при этом прослеживается взаимосвязь между аналитическим параметром и содержанием химического элемента в куске.

На рисунке 1 представлена зависимость аналитического параметра от содержания меди в куске. Коэффициент корреляции составил 0,964, что говорит о сильной связи аналитического параметра с содержанием меди в кусках [4].

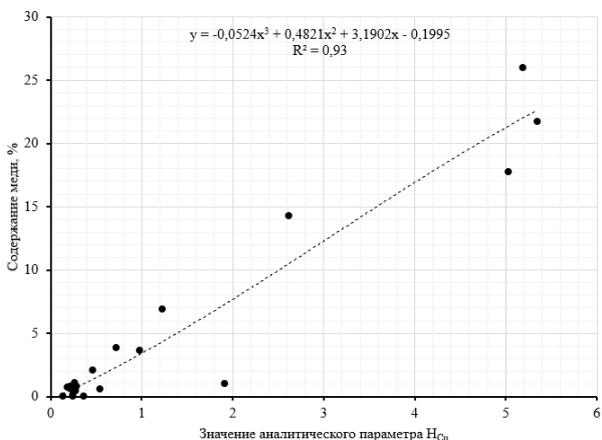


Рис. 1. Зависимость содержания меди от аналитического параметра

На рисунке 2 приведены спектры трех кусков с преобладанием кварца, пирита и халькопирита.



Рис. 2. Спектры различных кусков, полученных с помощью рентгенофлуоресцентного сепаратора: белый – кусок с преобладанием кварца, малиновый – кусок с преобладанием пирита, желтый с преобладанием халькопирита

На рисунке 2 видно, что спектры различных по составу кусков смещены друг от друга и имеют собственные пики интенсивности.

Таким образом рентгенофлуоресцентный метод позволяет достаточно эффективно разделять многокомпонентные медьсодержащие куски.

Изучение рентгеноабсорбционного метода показало, что данным метод не способен разделить близкие по значению массового коэф-

фициента ослабления минералы и их сростки, что критично для многокомпонентных руд цветных металлов.

По результатам проведенных исследований можно отметить, что рентгенофлуоресцентный метод является наиболее эффективным и предпочтительным из рассматриваемых для сортировки многокомпонентных медьсодержащих руд.

Список использованных источников

1. Цыпин Е. Ф. Обогащение в стадиях рудоподготовки: науч. монография. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. 303 с.
2. Цыпин Е. Ф. Предварительное обогащение // Известия вузов. Горный журнал. 2001. № 4-5. С. 82-104.
3. Цыпин Е.Ф., Комлев С.Г. «Радиометрическая обогатимость руд»: Учебное пособие. Изд-во «Уральский рабочий» Свердловск 1988 – 75 с.
4. Ревнивцев, В.И. Подготовка минерального сырья к обогащению и переработке / В.И. Ревнивцев, Е.И. Азбель, Е.Г. Баранов и др.; под ред. В. И. Ревнивцева. – М.: Недра, 1987. – 307 с

УДК 669.2/.8 :669.85/.86 : 669.855: 669.053.2

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ МИКРОВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ КАРБОНАТА ЦЕРИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ

Богатырева Е.В., Карташева А.И.

НИТУ МИСИС, г. Москва

Развитие микро- и наноэлектроники увеличивает спрос на цериевые полирующие порошки для химико-механической полировки чипов. Возрастает спрос и оборонной промышленности на цериевые полирующие пасты для производства специального стекла, не тускнеющего под действием радиации и ультрафиолетового излучения.

В связи с этим, получение тонкодисперсного диоксида церия (менее 1 мкм), пригодного для производства полирующих порошков, актуально.

В данной работе исследовано влияние микроволнового излучения на гранулометрический состав получаемого диоксида церия.

Исходный материал – карбонат церия, полученный осаждением карбонатом аммония из азотнокислого раствора церия с концентрацией Ce_2O_3 120 г/л и NH_4NO_3 50 г/л, pH 1,62. Для разложения карбоната церия до диоксида церия применена микроволновая обработка.

На рисунке представлены зависимости изменения среднего размера частиц (мкм) диоксида церия и доли фракции менее 1 мкм (%) от влажности осадка карбоната церия и мощности микроволновой обработки.

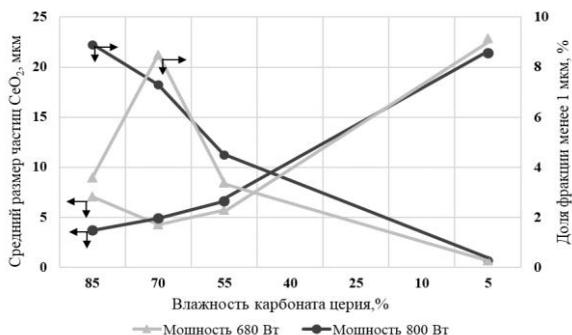


Рис. Зависимости изменения среднего размера частиц диоксида церия (мкм) и доли фракции менее 1 мкм (%) от влажности осадка карбоната церия и мощности микроволновой обработки (продолжительность разложения 2 мин)

Из рисунка видно, что наибольший выход фракции менее 1 мкм 21,0–23,0% достигается при обработке осадка карбоната влажностью 84–85 и 69–70% в микроволновой печи при 800 и 680 Вт, соответственно, в течение 2 минут.

Исследования будут продолжены в направлении оптимизации режимов микроволновой обработки.

УДК 622.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕПРЕССОРОВ УГЛЕРОДА ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ

Сагатбек С., Тусупбекова Т.Ш.

ТОО «КазГидроМедь», г. Караганда, Республика Казахстан

Истощение запасов легкообогатимого сырья вынуждает золотодобывающие компании осваивать технологии переработки упорных руд [1, 2], которые, в свою очередь, требуют проведения дополнительных операций для извлечения ценного компонента.

В настоящее время более 20 % всех известных в мире запасов золотосодержащих руд представляют собой, так называемые, «упорные» руды [1–3].

Высокая сорбционная активность органического углерода оказывает отрицательное влияние на металлургическую переработку руды и продуктов ее обогащения за счет преждевременного осаждения растворенного золота на поверхность углеродистого вещества, что приводит к потере золота с хвостами.

Одним из перспективных методов переработки углистых золотосодержащих руд является флотация с применением органических реагентов депрессоров углеродистого вещества [4–7].

Ввиду выраженной флотационной активности присутствующего в сырье углерода, важным и необходимым аспектом для эффективного разделения золота и серебра, и получения высоких качественно-количественных показателей концентрата целесообразно рассмотреть применение ряда депрессоров углерода.

Для исследования депрессии углерода применяли реагенты: Aero 630, Aero 636 и P-2.

Исследуемая технологическая проба характеризует золотоколчеданно-полиметаллический тип руды. Содержание основных компонентов в исследуемой пробе составило: SiO_2 - 54,87%, Al_2O_3 - 12,43%, Ca - 3,39%, S - 1,47%, Fe - 4,66%. Содержание ценных компонентов: Au – 2,23 г/т, Ag – 0,42 г/т. Содержание органического сорбционно-активного углерода - 4,07%.

Изучение минерального состава проводилось в отраженном свете на полированных шлифах с применением микроскопа OLYMPUS BX 53, видеокамеры SIMAGIS XS-3CU и программного обеспечения для анализа изображений Минерал С7, компании SIAMS.

По данным минералогического анализа следует, что основная часть золота представлена в виде тонких включений, преимущественно в пирите, редко, в арсенопирите. Характер сульфидной минерализации – неравномерно-вкрапленный, прожилково-вкрапленный. Встречаются вкрапления в сульфидах углеродистого вещества совместно с тонкодисперсным золотом (рис. 1).

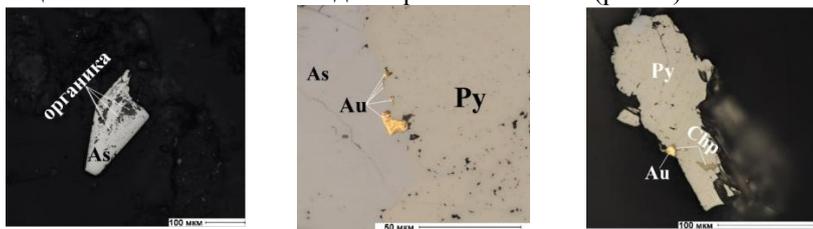


Рис. 1. Характеристика выделений золота

Данные рационального анализа показывают тесную ассоциацию (70,64%) золота с сульфидами (пирит, арсенопирит) и присутствие углистой составляющей, что характеризует о наличии двойной упорности золотосодержащей руды. Золото в свободной форме в исходном материале отсутствует.

Для определения оптимального расхода депрессоров были проведены тестовые опыты с использованием различных реагентов. Сравнительные данные экспериментов с использованием депрессоров углерода представлены в табл. 1.

По результатам исследований установлено, что добавление реагента Aero 630 в основную флотацию способствует снижению содержания органического углерода в концентрате с 22,03% до 11,03%, при повышении качества концентрата по золоту с 17,15 г/т до 38,30 г/т, и увеличению извлечения с 90,91% до 92,36%. Таким образом, результаты исследований свидетельствуют об эффективности применения реагента Aero 630 при флотации углистых золотосодержащих руд.

Согласно полученным данным выполнен опыт в замкнутом цикле по разработанной технологии с подачей реагента Aero 630. Схема проведения лабораторного опыта приведена на рисунке 2. Результаты опытов приведены в таблице 2.

Сравнительные данные с использованием депрессоров углерода

| Марка депрессора, расход (г/т) | Продукт | Выход, % | Содержание | | | | | Извлечение, % | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------|------------|---------|-------|-------|-------|---------------|--|--|
| | | | Al, г/т | Ag, г/т | C, % | Au | Ag | C | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | |
| 0 | Тест 1 | | | | | | | | | |
| | Концентрат Au головки | 7,87 | 24,24 | 3,25 | 9,64 | 85,48 | 60,45 | 18,64 | | |
| | Концентрат I осн. фл. | 3,96 | 3,06 | 0,44 | 3,49 | 5,43 | 4,12 | 3,39 | | |
| | Σ Концентрат | 11,83 | 17,15 | 2,31 | 7,58 | 90,91 | 64,57 | 22,03 | | |
| | Хвосты | 88,17 | 0,23 | 0,17 | 3,6 | 9,09 | 35,43 | 77,97 | | |
| Исходная проба | 100,0 | 2,23 | 0,42 | 4,07 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | | | |
| A650 (100 г/т) | Тест 2 | | | | | | | | | |
| | Концентрат Au головки | 3,88 | 50,08 | 5,98 | 7,45 | 87,08 | 55,40 | 7,10 | | |
| | Концентрат I осн. фл. | 1,50 | 7,85 | 2,35 | 10,65 | 5,28 | 8,42 | 3,92 | | |
| | Σ Концентрат | 5,38 | 38,30 | 4,97 | 8,35 | 92,36 | 63,82 | 11,03 | | |
| | Хвосты | 94,62 | 0,18 | 0,16 | 3,83 | 7,64 | 36,18 | 88,97 | | |
| Исходная проба | 100,0 | 2,23 | 0,42 | 4,07 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | | | |
| A656 (100 г/т) | Тест 3 | | | | | | | | | |
| | Концентрат Au головки | 3,35 | 52,30 | 6,01 | 7,38 | 83,29 | 51,26 | 6,44 | | |
| | Концентрат I осн. фл. | 1,53 | 11,90 | 2,71 | 9,97 | 8,19 | 9,98 | 3,76 | | |
| | Σ Концентрат | 5,09 | 40,11 | 5,01 | 8,16 | 91,48 | 61,24 | 10,20 | | |
| | Хвосты | 94,92 | 0,20 | 0,17 | 3,85 | 8,52 | 38,76 | 89,80 | | |
| Исходная проба | 100,0 | 2,23 | 0,42 | 4,07 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | | | |
| P-2 (100 г/т) | Тест 4 | | | | | | | | | |
| | Концентрат Au головки | 4,67 | 41,57 | 4,51 | 7,23 | 86,93 | 50,46 | 8,29 | | |
| | Концентрат I осн. фл. | 2,16 | 4,87 | 2,23 | 7,53 | 4,72 | 11,56 | 4,00 | | |
| | Σ Концентрат | 6,83 | 29,95 | 3,79 | 7,32 | 91,65 | 62,01 | 12,28 | | |
| | Хвосты | 93,17 | 0,20 | 0,17 | 3,83 | 8,35 | 37,99 | 87,72 | | |
| Исходная проба | 100,0 | 2,23 | 0,42 | 4,07 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | | | |

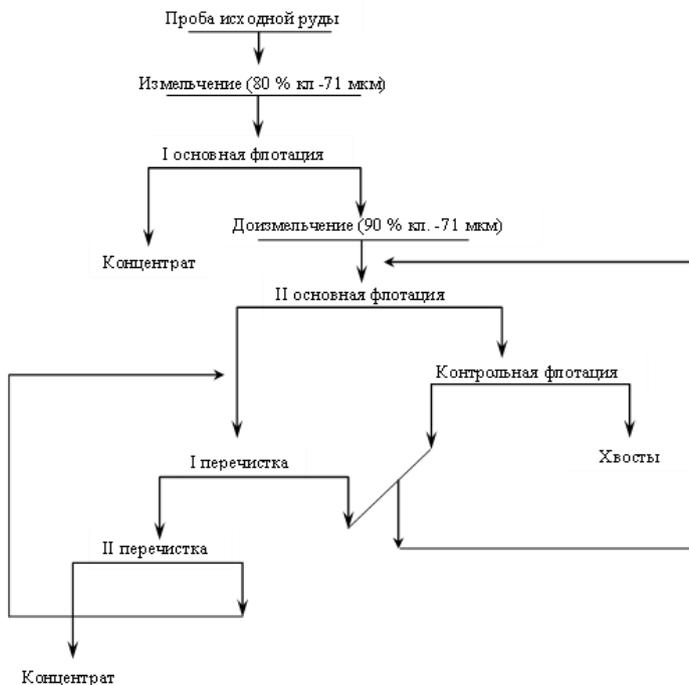


Рис. 2. Схема замкнутого лабораторного опыта

Таблица 2

Результаты опыта в замкнутом цикле

| Продукт | Выход, % | Содержание, г/т; % | | | Извлечение, % | | |
|--------------------------|----------|--------------------|------|------|---------------|-------|-------|
| | | Au | Ag | C | Au | Ag | C |
| Концентрат Au головки | 4,08 | 47,12 | 5,66 | 7,61 | 86,21 | 54,99 | 7,63 |
| Концентрат II перечистки | 1,67 | 8,27 | 2,34 | 9,05 | 6,19 | 9,30 | 3,71 |
| Σ Концентрат | 5,75 | 35,84 | 4,70 | 8,03 | 92,40 | 64,28 | 11,34 |
| Хвосты | 94,25 | 0,18 | 0,16 | 3,83 | 7,60 | 35,72 | 88,66 |
| Исходная проба руды | 100,0 | 2,23 | 0,42 | 4,07 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Согласно результатам исследований по обогащению пробы золотосодержащей руды по разработанной технологии и реагентному режиму получены:

- концентрат Au головки с содержанием золота 47,12 г/т, углерода 7,61%, при извлечении 86,21% и 7,63%, соответственно;
- концентрат II перерешетки с содержанием золота 8,27 г/т, и углерода 9,05 %, при извлечении 6,19% и 3,71%;
- суммарный концентрат с выходом 5,75 %, содержанием золота 35,84 г/т, углерода и 8,03%, при извлечении 92,40% и 11,34%.

Выводы

Проведены исследования по разработке технологии снижения содержания углистого вещества в концентрате за счет введения в процесс флотации реагентов - Аеро 630, Аеро 636 и Р-2. По результатам исследований установлено, что использование реагента Аеро 630 в процессе флотационного обогащения повышает качество концентрата по содержанию золота, при сохранении уровня извлечения ценного компонента, способствует депрессии углистого вещества и снижению его содержания в концентрате.

Список литературы

1. Лоза А.И. Обзор золотодобывающей отрасли России по итогам 2019 года – первого полугодия 2020 года // Союз золотопромышленников. – 2020. – № 1. – С. 1–62.
2. Motta G., Polcyn M., Saragosa E. Refractory gold ores: challenges and opportunities for a key source of growth // MineSpans Commentary. – 2021. – № 6. – Р. 1–6.
3. Лодейщиков В.В. Состояние и тенденции развития технологии извлечения золота из упорных руд и концентратов // Цветная металлургия. – 1993. – № 2. – С. 4–9.
4. Полупромышленные испытания флотационной технологии обогащения углистой золотосодержащей руды с использованием реагента-депрессора углеродистого вещества Р-2. Винокурова М.А., Высотин В.В., Панченко Г.М., Сосипаторов А.И. Сборник трудов АО «Иргиредмет», г. Иркутск, 2022. 75 с.
5. Dunne R. Flotation of gold and gold-bearing ores // Developments in Mineral Processing. 2005. Vol. 15. P. 343–309.
6. 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.
7. Глембоцкий В.А., Классен В.И. Флотационные методы обогащения. М.: Недра, 1981. 300 с.

НАПРАВЛЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ*

Прохорова Е.О., Смирнов А.Ю.

*Санкт-Петербургский горный университет,
г. Санкт-Петербург*

Автоматизация и механизация добычи угольного сырья ведет к снижению качества исходного сырья, поступающего на переработку, ввиду увеличения содержания пустой породы, усложняющих их эффективное обогащение. Флотация является основным способом обогащения угольной продукции. Наличие флотоактивных пороодообразующих минералов в исходном сырье предполагает необходимость в подборе эффективных селективно действующих реагентов, повышающих качество получаемой продукции.

Ввиду этого, цель данной работы – разработка технологических решений для повышения качества получаемой угольной продукции путем снижения содержания пустой породы. Объект исследования: мономинералы кварца и кальцита, образцы тонких классов коксующихся углей. В работе были использованы методики определения гранулометрического состава, шарового измельчения, определения элементного состава при помощи рентгенофлуоресцентного анализатора EDX-7000 и дифрактометрии при помощи порошкового дифрактометра фирмы «Shimadzu», а также термогравиметрического анализа, определения скорости осаждения частиц с учетом различных классов крупности, флотационного и гравитационного обогащения.

В процессе исследования был выполнен термогравиметрический анализ и дифрактометрия образцов угля трех классов крупности, предварительно разделенных и истертых до класса крупности -50 мкм и -20 мкм, соответственно. Данные анализы были проведены для исследований минералогических и технологических характеристик образцов. Полученные результаты представлены на рисунках 1-6.

* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 23-47-00109)

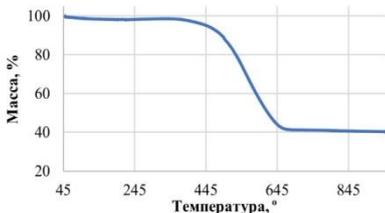


Рис. 1. Результаты исследования образцов угля крупности +4 мм с применением ТГА

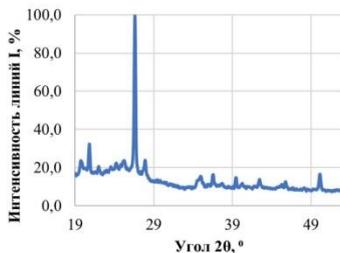


Рис. 2. Результаты исследования образцов угля для крупности +4 мм с применением дифрактометрии

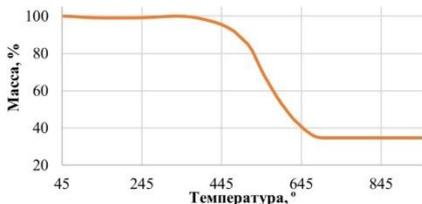


Рис. 3. Результаты исследования образцов угля крупности -4+2 мм с применением ТГА

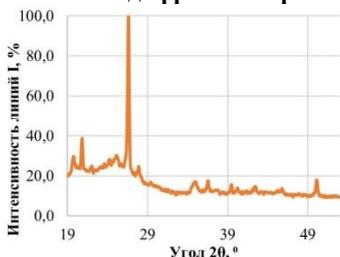


Рис. 4. Результаты исследования образцов угля для крупности -4+2 мм с применением дифрактометрии

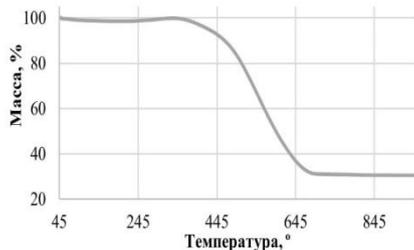


Рис. 5. Результаты исследования образцов угля крупности -2+0 мм с применением ТГА

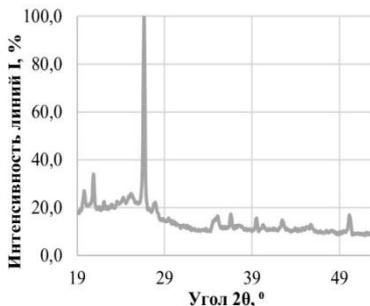


Рис. 6. Результаты исследования образцов угля для крупности -2+0 мм с применением дифрактометрии

Обработка и интерпретация результатов показали уменьшение зольности с уменьшением класса крупности угля с 39,8% до 30,5%,

что также видно по интенсивности пиков, наибольшее значение которых для минералов пустой породы характерно для класса крупности +4 мм. Используя базу данных пиков веществ, было установлено, что основные минералы пустой породы в образцах представлены кварцем и карбонатами.

Также в работе была проведена серия опытов по определению свободной энергии поверхности для мономинералов кварца и кальцита для анализа их поверхностных свойств: гидрофильности и гидрофобности. Опыты проводились посредством замеров краевого угла смачивания, через которые по методу ОВРК были определены полярная и дисперсионная составляющие, которые слагают свободную энергию поверхности. Обработка и анализ полученных результатов показали увеличение гидрофильных свойств кварца при применении жидкого стекла и кальцита при применении КМК. Полученные данные были подтверждены опытами флотации и скоростью осаждения частиц минералов.

Таким образом, полученные результаты могут послужить основой для разработки технологии повышения качества получаемой угольной продукции посредством применения флотогравитации.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Александрова Т.Н.

УДК 622.766.4

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ АЗОТИРОВАННОГО ФЕРРОСИЛИЦИЯ

Тимофеев А.С., Двойченкова Г.П., Подкаменный Ю.А.

ИПКОН РАН, г. Москва

С учетом результатов предыдущих исследований на данном этапе работ выполнена обработка опытной партии ферросилиция марки DMS 270 в рациональном режиме, характеризующимся параметрами: температура 1000°C, время выдержки 2 часа, давление азота 1,25 атмосфер методом его азотирования для последующего применения в опытно-промышленных испытаниях [1, 2, 3].

Разработана методика проведения сравнительных испытаний по оценке изменения свойств исходного и азотированного ферросилиция в условиях длительного контакта с оборотной минерализованной водной системой с использованием опытно-промышленной

установки тяжелосредной сепарации в схеме обогатительной фабрики №3 Мирнинского ГОКа (Рисунок 1).

Согласно методике, сравнительные испытания выполнены в два этапа длительностью 8 суток каждый:

1. На первом этапе (опыт 1) в качестве утяжелителя ферросилициевой суспензии использован исходный (не обработанный) ферросилиций;

2. На втором этапе (опыт 2) в качестве утяжелителя ферросилициевой суспензии использован азотированный ферросилиций (исходный ферросилиций, поверхность гранул которого обработана методом азотирования).

Опыты 1 и 2 проведены в одинаковых условиях, согласно одному из которых начальная загрузка исследуемого ферросилиция составляла 500,25 кг, что обеспечивало плотность ферросилициевой суспензии, соответствующую промышленным условиям (2400 кг/м^3).

Процесс взаимодействия исследуемого ферросилиция с минерализованной оборотной водой осуществляется в непрерывном режиме работы установки без подачи рудного материала и без добавки ферросилиция с непрерывной подпиткой оборотной минерализованной водой. С учетом технических особенностей опытной установки первые три дня испытаний составляли период стабилизации процесса в каждом из этапов испытаний.

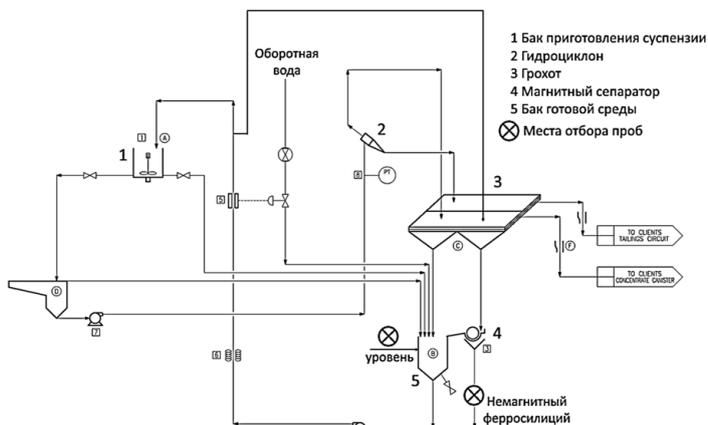


Рис. 1. Схема процесса и точки отбора проб

Агрегативная устойчивость ферросилициевой суспензии, приготовленной на основе азотированного ферросилиция, характеризуется более высокими (в 2 раза) показателями, что обеспечивает повышение стабильности и селективности процесса разделения минеральных компонентов в процессе ТСС алмазосодержащего материала (Рисунок 2).

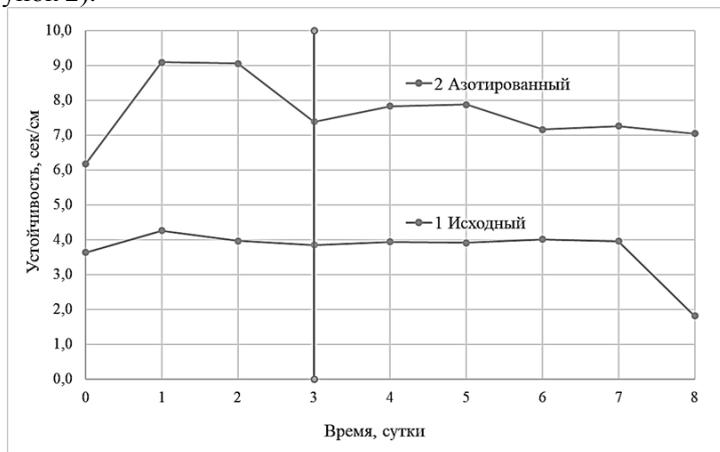


Рис. 2. Изменения агрегативной устойчивости ферросилициевой суспензии в схеме ТСС

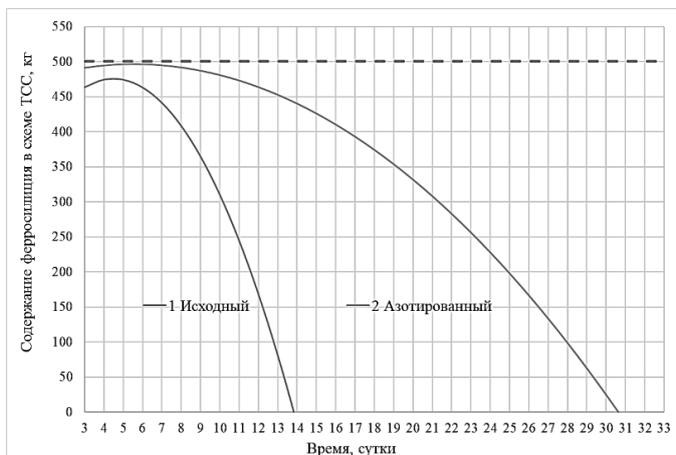


Рис. 3. Прогноз времени нахождения ферросилиция в схеме ТСС

Результатами математической обработки (Рисунок 3) установлено, что ферросилициевые суспензии на основе исходного (необработанного) ферросилиция теряет свои технологические свойства на 14 сутки взаимодействия с минерализованной водной системой процесса ТСС, а суспензия на основе азотированного ферросилиция – только на 31 сутки.

Таким образом, азотированный ферросилиций обладает большей коррозионной устойчивостью и имеет технические параметры, позволяющие увеличить срок его полезного использования не менее, чем в 2,2 раза.

Результаты опытно-промышленных испытаний подтверждены соответствующим актом.

Список литературы

1. Двойченкова Г.П., Тимофеев А.С., Кирсанкин А.А. Обоснование режимов азотирования ферросилициевых гранул для повышения их коррозионной устойчивости в процессах тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023 – №7. – С.96-113 DOI: 10.25018/0236_1493_2023_7_0_96

2. Тимофеев А. С., Ананьев П. П., Двойченкова Г. П. Математическая модель окисления гранул ферросилиция в минерализованных водах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № S8. – С. 3—11.

3. Патент RU2757298 «Способ подготовки гранулированного ферросилиция к тяжелосредной сепарации» Чантурия Валентин Алексеевич (RU), Двойченкова Галина Петровна (RU), Морозов Валерий Валентинович (RU), Ковальчук Олег Евгеньевич (RU), Тимофеев Александр Сергеевич (RU), Подкаменный Юрий Александрович (RU), Савицкий Леонид Валерьевич (RU), Бабушкина Алена Леонидовна (RU) Опубликовано: 13.10.2021 Бюл. № 29.

УДК 622.73

К ВОПРОСУ О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Адамова Л.С., Дмитрак Ю.В.

ИПКОН РАН, г. Москва

Использование ударных и импульсных методов в технологических процессах дробления и измельчения горных пород приводит к образованию отколов. Динамическое разрушение горной породы является многостадийным процессом, но характеристики этих стадий и условия перехода между ними остаются неизвестными [1].

Для того чтобы понять механизм измельчения минеральных сред и полезных ископаемых, необходимо изучить процесс распада исходной частицы под действием разрушающей силы. В одном из исследований [2] был использован подход, основанный на законах сохранения энергии и импульса. Ударный процесс разрушения характеризуется не только изменением силы разрушения $\vec{F}(t)$, но и ударным импульсом, который является интегральной величиной:

$$\vec{Q}^F = \int_0^\tau \vec{F}(t) dt, \quad (1)$$

где τ – продолжительность удара [3].

Основываясь на вероятностном характере процесса разрушения твердого материала при измельчении и искажении физической сущности процесса при использовании детерминированных математических моделей, С.П. Бобков предложил сочетать вероятностный и детерминированный подходы для адекватного моделирования реального измельчения частиц [4]. Он разработал алгоритм, который моделирует процесс разрушения частицы при свободном ударе и определяет гранулометрический состав продукта разрушения. В диапазоне от V_{\min} до V_{\max} скорость механического воздействия на частицу – случайная величина. Вероятность разрушения рассчитывается по нормальному закону:

$$P = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{t}{\sqrt{2}} \right) \right], \quad (2)$$

Для разработки алгоритма моделирования гранулометрического состава полученного продукта использовалась двухзонная модель разрушения частицы [5,6], применимая к измельчению хрупких материалов ударом. Первая зона, расположенная непосредственно у пятна ударного контакта, составляет от 1/2 до 1/3 общего объема частицы и зависит от скорости удара, увеличиваясь при увеличении скорости. В этой зоне возникают сильные сжимающие напряжения, превышающие предел прочности материала в 3-5 раз, а иногда до 10 раз.

Вторая зона, имеющая большой объем, не примыкает к пятну ударного контакта частицы. В этой зоне возникают напряжения растяжения, способствующие образованию небольшого числа крупных частиц при разрушении. Бимодальный характер кривых плотности распределения продуктов ударного разрушения [7] является экспериментальным подтверждением данной модели. Автор предлагает формулу для определения величины математического ожидания

числа крупных осколков, образующихся при разрушении исходной частицы, на основе математических выкладок, отражающих образование монофракций частиц правильной формы в каждой из зон:

$$M = \text{int} \left[B \left(\frac{V}{V_{\text{кр}}} \right)^l \right] + 2, \quad (3)$$

где B – наиболее вероятное число крупных частиц-осколков, уменьшенное а 2, от разрушения исходной частицы материала при скорости воздействия, равной $V_{\text{кр}}$; l – коэффициент, лежащий в диапазоне (2÷3).

В работе [8] было признано, что разрушение твердого тела является актом совершения работы, которая происходит за счет упругой энергии деформации. Это привело к пересмотру критериев разрушения и разработке новых методов определения прочности материалов.

Исследование движения мелюшей загрузки помогает определить, как твердые частицы движутся в мельнице, и какая энергия имеется у этих частиц в зависимости от условий работы. Для того чтобы разрушить частицу материала до определенного размера, нужно знать, сколько энергии должен иметь шар.

Дифференциальное уравнение движения стенки трещины при воздействии на неё ударной волны с амплитудой σ и длительностью τ :

$$\frac{\pi rat^2 u}{3} + \frac{\pi rat^2 u^2 \dot{y}}{3} + 4\pi rat^2 u^2 \ddot{y} + \frac{4\pi rat^3 u^2 \dot{y}}{3} - \pi rat u^2 b \dot{y} - \frac{\pi rat^2 u^2 b \ddot{y}}{2} - \frac{\pi rat^2 u^2 \dot{y}}{3} - \pi rat u^2 b^2 + \pi rat u^2 b + \frac{\pi rat^2 u^2 b \dot{y}}{2} = \frac{\pi \sigma u \tau}{6} - \pi \sigma b \tau u + 4\pi \tau u - \mu \dot{y}, \quad (4)$$

где u - отклонение стенки трещины (мм), \dot{u} - поперечная скорость частиц в волне напряжения (м/с), a - продольная скорость звука в горной породе (м/с), ρ - плотность материала, σ - амплитуда ударного импульса (кг/м²), τ - длительность ударного импульса (с), b - постоянный, безразмерный коэффициент, зависящий от свойств мелюшей загрузки.

Для описания состояния готовности трещины к росту в уравнении (4) отбрасываются все члены, содержащие \dot{y} и \ddot{y} . Тогда уравнение (4) примет вид:

$$\frac{\pi rat^2 u}{3} - \pi rat u^2 b \dot{y} - \pi rat u^2 b^2 + \pi rat u^2 b = \frac{\pi \sigma u \tau}{6} - \pi \sigma b \tau u + 4\pi \tau u, \quad (5)$$

где $\frac{\pi \sigma u \tau}{6} - \pi \sigma b \tau u = Q_y^{\text{пот}}$ - обобщённая потенциальная сила.

С использованием математического метода Лагранжа, примененного в рамках теории колебаний тонкой однородной пластины, были выведены выражения для потенциальной и кинетической энергии отклонения стенки трещины.

В рамках данного анализа, теоретически обоснован обобщенный энергетический критерий разрушения горных пород, позволяющий вычислять необходимую и достаточную энергию для разложения частиц горной породы до конкретного размера

Проведенный анализ позволил изучить влияние ударно-истирающих воздействий мелющих тел на измельчаемый материал и его конструктивные параметры, включая барабанную мельницу [9].

$$\sigma^2 t > \frac{12E\gamma + 3\sigma^2 bd + 3\sigma^2 \sqrt{\frac{16E^2\gamma^2}{\sigma^4} + \frac{8E\gamma bd}{\sigma^2} + b^2 d^2 - 2\frac{w d}{3}(bd - b^2 d)}}{wda} \cdot \sqrt[4]{\frac{3}{24}(1 - \nu^2)(7 + 6b^2 - 6b)} \quad (6)$$

По экспериментальным данным установлено, что коэффициент Пуассона не существенно влияет на длительность ударного импульса. Длительность ударного импульса существенно зависит от размера частицы горной породы при прочих равных условиях.

Список литературы

1. Баранов Е.Г., Крымский В.И. Современное состояние и пути развития теории разрушения горных пород. - Известия вузов. Горный журнал, №2, 1989, - с. 1-10.
2. Мелентьев В.Н., Бельшев А.К., Гасиев Г.К. Влияние физико-механических свойств пород на показатели дробления и измельчения. - Проблемы безопасной разработки калийных месторождений. Тезисы докладов науч.-техн. конференции, Солигорск 11-13 сент., Минск, 1990. - с. 60-61.
3. Дмитрак Ю.В., Атрушкевич В.А., Кубрин С.С., Адамова Л.С. Определение энергии ударных импульсов в процессе измельчения горных пород для мельниц различных типов // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т.14, № 3. С. 468–478.
4. Бобков С.П. Имитационное моделирование ударного разрушения частиц. - Интенсивная механическая технология сыпучих материалов. Иваново, 1990. - с. 27-33.
5. Gark A.A. The 3-D method in application of charge motion calculation - Aufbereitung - Technik. - 1992. - 33. № 10. - S.572 579.
6. R.Venugopal, Raj K.Rajamani "3D Simulation of Charge Motion in Tumbling Mills by the Discrete Element Method. International Journal of Mineral Processing, 44 (1995) 197-201. Elsevier Science B.V., Amsterdam

7. Вержанский А.П. К вопросу об экспериментальном подтверждении теории измельчения горных пород в мельницах различных типов. Международная научно-практическая конференция «Неделя Горняка-99», т. 2, с. 56, М., МГГУ, 1995 г.

8. Маркочев В.М., Алымов М.И. О теории хрупкого разрушения Я. Френкеля и А. Гриффитса // Чебышевский сборник, 2017, том 18, выпуск 3, с. 381–393.

9. Чантурия В.А., Дмитрак Ю.В., Атрушкевич В.А., Адамова Л.С. Особенности процесса роста трещин при высокочастотном воздействии мелющих тел на горные породы // Маркшейдерия и недропользование. 2022. №4 (120), с. 4-9.

УДК 669.85/.86:669.856:669,857:669.053.4

ОСОБЕННОСТИ ЭКСТРАКЦИИ РЗМ ЦЕРИЕВОЙ ГРУППЫ СМЕСЯМИ ЭКСТРАГЕНТОВ ТБФ-ALIQUAT 336

Мельник Ф., Богатырева Е.В.

НИТУ МИСИС, г. Москва

Экстракционное разделение – основной способ получения индивидуальных редкоземельных металлов (РЗМ), но схожие физико-химические свойства РЗМ не позволяют проводить процесс экстракции с высокой производительностью. Поиск новых систем экстрагентов является актуальной задачей.

Для анализа возможности разделения элементов празеодима (Pr) и неодима (Nd), содержащихся в групповых концентратах редкоземельных элементов (РЗЭ) легкой группы, было проведено исследование их поведения при экстракции с использованием изомолярных смесей Aliquat 336 – ТБФ. Выбор данной системы обусловлен перспективностью промышленного использования четвертичных аминов и ограниченным количеством исследований по данному вопросу. Суммарная концентрация экстрагентов составляла 1,9 М, соотношение органической фазы к водной составляло 1:3, концентрация неодима и празеодима в пересчете на оксид 0,5 М.

На рисунке представлены графические зависимости коэффициентов распределения и разделения Pr и Nd от состава изомолярных смесей Aliquat 336 – ТБФ.

Результаты свидетельствуют о том, что наибольшие значения коэффициентов разделения $\beta(\text{Nd/Pr})$ наблюдаются при концентрациях

Aliquat 336 – ТБФ, равных 1,6:0,3 ($\beta(\text{Nd}/\text{Pr}) = 1,68$) и 0,9:1,0 ($\beta(\text{Nd}/\text{Pr}) = 1,58$).

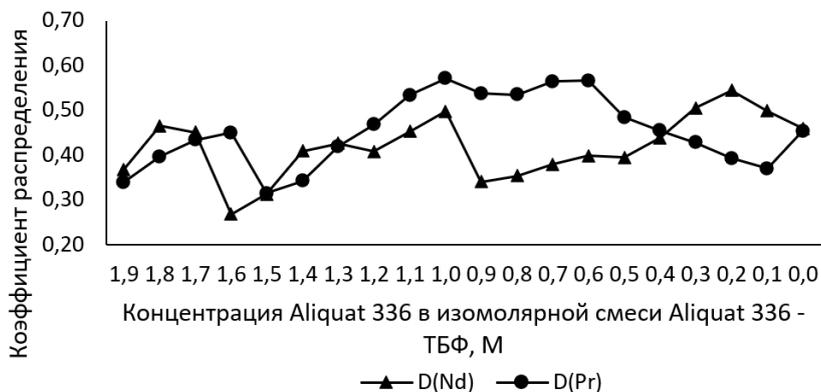


Рис. 1. Влияние состава изомолярной смеси Aliquat 336 – ТБФ на коэффициент распределения Pr и Nd

Установлено стремительное образование вязкой эмульсии в органической фазе в первую минуту экстракции при концентрациях Aliquat 336 1,9; 1,8; 1,7 для Nd и 1,6 для Pr в изомолярных растворах Aliquat 336 – ТБФ. Причина этого явления требует дополнительных исследований.

Однако в исследовании использовались растворы индивидуальных РЗЭ, а в многокомпонентных растворах РЗЭ значения коэффициентов распределения и разделения могут отличаться, так как элементы, присутствующие в большем количестве, могут влиять на распределение элементов, присутствующих в меньшем количестве.

В связи с этим, проводятся дополнительные исследования для уточнения коэффициентов разделения в бинарных системах Pr-Nd.

Список литературы

1. Поляков Е.Г., Нечаев А.В., Смирнов А.В. Металлургия редкоземельных металлов: учебное пособие. – М.: Юрайт, 2021. – 501 с.
2. Krishnamurthy N., Gupta C.K. Extractive metallurgy of Rare Earths / Boca Raton, London, New York, Washington D.C. CRC Press, 2015.
3. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России // Металлы Евразии. – 2012. - №3.- с. 10–15.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ПРИМЕНЕНИЯ ЦИАНЭТИЛИРОВАННОГО ЭФИРА
ДИТИОКАРБАМИНОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФИДОВ**

Гладышева О.И., Матвеева Т.Н.

ИПКОН РАН, г. Москва

Реагенты класса дитиокарбаматов, в молекулах которых дитиокарбоновая группа связана с атомом азота N-C(S)SH, более селективны по сравнению с ксантогенатом в отношении сульфидов меди, свинца, цинка и золота благодаря наличию в структуре молекулы функциональных групп атомов, способных образовывать устойчивые соединения с ионами цветных и благородных металлов и повышать гидрофобные свойства целевых минералов в условиях флотации. Кроме этого, реагенты этой группы, как правило, менее активны в отношении минералов железа и мышьяка, снижающих качество медных концентратов [1].

Ранее, по имеющимся в литературе сведениям, ЦЭДЭТК был протестирован в опытно-промышленных условиях при флотации медно-молибденовых руд Алмалыкского ГМК и свинцово-цинковых руд Акжальской обогатительной фабрики и был рекомендован в качестве дополнительного собирателя для повышения извлечения меди из Cu-порфировых руд, свинца и серебра из Pb – Zn руд [2, 3], однако, в силу проч так и не был внедрен в промышленность.

Выполненные ранее в ИПКОН РАН исследования по применению модифицированного диэтилдитиокарбамата ДЭДТКм и входящего в его состав оксипропилового эфира дитиокарбаминаминовой кислоты ОПДТК показали, что применение этих реагентов обеспечивает повышение извлечение золота при флотации золотосодержащих руд [4, 5].

Неионогенные реагенты, к которым относятся эфиры дитиокарбаминаминовой кислоты, в частности, ЦЭДЭТК используются в качестве дополнительных собирателей, и механизм их действия является частью общего механизма формирования оптимального сорбционного слоя на поверхности флотируемого минерала. Установлено, что закрепление большинства неионогенных гетерополярных собирателей на поверхности металлов имеет хемосорбционный характер и осуществляется по координационному механизму за счет донорно-

акцепторного связывания реакционно-активных центров реагента и кислотных (по Льюису) адсорбционных центров металла. При этом часть реагента может сорбироваться и удерживаться в сорбционном слое на поверхности силами физической адсорбции [6, 7].

Цель работы заключается в изучении механизма взаимодействия реагента S-цианэтил N, N-диэтилдитиокарбамата (ЦЭДЭТК) с сульфидными минералами, содержащими благородные металлы, и экспериментальном обосновании реагентных режимов с применением этого реагента в качестве дополнительного собирателя, обеспечивающего повышение извлечения золота из труднообогатимых золото-содержащих руд.

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

Методом УФ-спектрофотометрия (Shimadzu UV-1800) было установлено, что УФ-спектр водного раствора ЦЭДЭТК имеет характерные максимумы поглощения при 223, 252, 274 нм, что позволило измерять концентрацию реагента в растворе и количественно определять адсорбцию реагента на поверхности минерала по разнице его исходной и остаточной концентрации после контакта с минералом.

По изменению Уф-спектров и появлению новых максимумов при 254 и 318 нм при смешивании растворов реагента и золотохлористоводородной кислоты установлено образование комплексного соединения реагента S-цианэтил N, N-диэтилдитиокарбамата с золотом [8, 9].

Анализ адсорбции ЦЭДЭТК на минералах с нанесенным золотом (арсенипирите и пирите) методом сканирующей лазерной и электронной микроскопии выполнен показал, что формирование адсорбционного слоя на минералах носит дискретный характер с преимущественным закреплением фазы реагента на частицах золота (Рис).

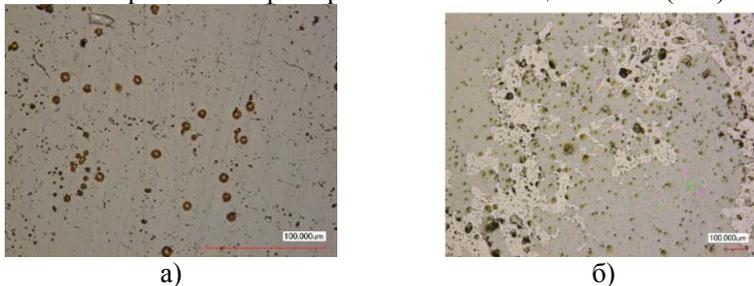


Рис. Арсенипирит с золотом до (а) и после контакта с реагентом ЦЭДЭТК (б)

Рудную флотацию проводили по схеме основной флотации на пробе золотосодержащей руды Олимпиадинского месторождения с содержанием 2,5 г/т Au, 0,12% As, 0,02% Cu, 2,28% Fe, 0,08% Pb, 0,02% Sb, 1,18% S, 12,1% Ca, 3,42% Mg, 0,17% Mn.

Измельчение пробы руды осуществлялось в лабораторной мельнице валкового типа до крупности 80% -0,063 мм. Флотация измельченного продукта проведена в лабораторной механической флотомашине МЕХАНОБР, объем камеры 0,75 л.

Условия рудной флотации: собиратели – бутиловый ксантогенат калия (БутКс), цианэтилдитиокарбамат (ЦЭДЭТК), вспениватель – метилизобутилкарбинол (МИБК), время флотации – 5 мин., время агитации с собирателями – по 2 минуты с каждым, вспенивателем – 1 мин. Расход собирателей – переменный, вспенивателя – 50 г/т.

Разработанный реагентный режим флотации с заменой 50% расхода ксантогената на ЦЭДЭТК позволил обеспечить повышение извлечения золота на 6,2% в концентрат основной флотации при одновременном снижении выхода концентрата на 4,5% и повышении его качества на 4,5 г/т.

Расчетный годовой экономический эффект при условной переработке 10 млн. т золотосодержащей руды может составить около 4,0 млрд. руб.

Список литературы

1. Бырько В. М. Дитиокарбаматы. — М.: Наука, 1984. — 342 с.
2. Глинкин В. А., Иванова Т. А., Шихкеримов П. Г. Синтез и исследование флотационного действия реагента ДЭЦЭ // Цв. металлургия. — 1989. — № 1. — С. 14–15.
3. Глинкин В. А. Исследование и разработка процесса селективной флотации полиметаллических серебросодержащих руд с применением диметилдитиокарбамата натрия: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М.: Гинцветмет, 2004. — 26 с.
4. Матвеева Т. Н., Громова Н. К., Иванова Т. А., Чантурия В. А. Физико-химическое воздействие модифицированного диэтилдитиокарбамата на поверхность золотосодержащих сульфидов при флотации руд благородных металлов // ФТПРПИ. — 2013. — № 5. — С. 147–156.
5. Матвеева Т.Н., Громова Н.К. Анализ селективности действия комбинированных сульфгидрильных собирателей при флотации золотосодержащих сульфидов // ГИАБ. 2015. №8. С. 61-69.

6. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МГУ, издательство «Горная книга», «Мир горной книги», 2008.

7. Абрамов А.А., Сорокин М.М. Принципы выбора и синтеза более селективных собирателей во флотации // Цветные металлы. 2009. №4.

8. Матвеева Т.Н., Громова Н.К., Ланцова Л.Б. Анализ комплексобразующих и адсорбционных свойств дитиокарбаматов на основе циклических и алифатических аминов для флотации золотосодержащих руд // ФТПРПИ. — 2020. — № 4. — С. 157–163.

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

УДК 622.765

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗДЕЛЕНИЯ КОЛЛЕКТИВНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ В ПРОЦЕССАХ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД

Громова Н.К.

ИПКОН РАН, г. Москва

Основной проблемой при обогащении медно-молибденовых руд является разделение коллективных Cu-Mo концентратов. Разделение может быть осуществлено путём депрессии медных минералов и флотации молибденита и наоборот. Этой операции предшествует десорбция собирателей. В настоящее время в промышленной практике применяются следующие методы разделения коллективных медно-молибденовых концентратов:

1. Окислительная пропарка коллективного концентрата при температуре 85-95[°]С в течение 40 мин – 4 час. При этом происходит разрушение плёнки собирателя и окисление депрессируемых сульфидов меди и железа. После такой обработки молибденит флотируется аполярными реагентами с дополнительной подачей депрессоров для подавления сульфидов меди и железа (сернистый натрий, цианиды).

2. Низкотемпературный окислительный обжиг коллективного концентрата при температуре 260-330[°]С. При этом окисляется поверхность сульфидов меди и железа, разрушается плёнка аполярного

реагента на поверхности молибденита без окисления самой поверхности. После обжига производится репульпация концентрата с последующей флотацией молибденита.

3. Депрессия сульфидов меди и железа сульфидом натрия (Na_2S) и флотация молибденита. Сульфид натрия десорбирует собиратель с поверхности сульфидов меди и железа и обеспечивает их надёжную депрессию. Эффективность этого метода значительно повышается при пропарке концентрата (паровая флотация) и нагреве пульпы до $80-95^\circ\text{C}$. Расход сернистого натрия (Na_2S) при этом снижается в 3-5 раз.

4. Депрессия сульфидов меди и железа гидросульфидом натрия (NaHS), сульфидом аммония – $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ в отдельности или в сочетании с Na_2S без пропарки.

5. Депрессия сульфидов меди и железа путём применения окислителей типа перекиси водорода – H_2O_2 (0.5-1 кг/т), гипохлорида натрия – NaOCl (около 2 кг/т) и др.

6. Депрессия молибденита органическими коллоидами (крахмал, декстрин) и флотация сульфидов меди и железа. Камерный продукт является грубым молибденовым концентратом. При применении этого метода поверхность молибденита должна быть тщательно отмыта от собирателей.

На XXIX International Mineral Processing Congress были представлены доклады по основным направлениям исследований переработки медно-молибденовых руд. На фабриках Чили коллективный Cu-Mo концентрат обрабатывают гидросульфидом натрия (2,5-3,0 кг/т NaHS) для подавления флотация сульфидов меди. В результате получается медный концентрат с 30-35% меди и молибденовый концентрат с 50-52% Mo . При этом процессе возникают экологические проблемы, связанные с риском образования сероводорода (H_2S) и неприятных запахов. Применение производных лигнина в селективной флотации медно-молибденовых минералов представляет собой нетоксичную альтернативу NaHS . Лигносульфونات, полученные в процессе сульфометилирования крафт-лигнина, вызывают сильную депрессию флотации молибденита. В то же время ухудшение флотации халькопирита не происходит, если для гидрофобизации этого минерала используется собиратель с длинной углеводородной цепью – амиловый ксантогенат. Повышение pH известью усиливает депрессирующее действие лигносульфонатов на молибденит. ИК-Фурье спектроскопия показала, что молибденит взаимодействует

с функциональными группами, которые представляют собой серосодержащие компоненты (S=O), такие как сульфонаты, сульфонамиды, сульфоновые кислоты и сульфоновые компоненты, карбонильные группы и, в частности, фенольные группы [1].

Японские ученые предлагают исключить применение NaHS из процесса селекции медно-молибденовых концентратов. Была исследована селективная флотация халькопирита и молибденита с добавлением Na_2SO_3 при различных значениях pH. С помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопией (XPS) установлено, что с добавлением Na_2SO_3 при высоком значении pH поверхность халькопирита покрывается гидрофильными соединениями FeOOH и $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Флотационные эксперименты показали, что при оптимальных условиях 95% молибденита извлекается флотацией в пенный продукт, тогда как 93% халькопирита остается в камерном продукте. Этот метод является экологически безопасным, селективным и экономичным [2].

Перекись водорода (H_2O_2) используется в качестве окислителя при селективной флотации халькопирита и молибденита. Эффективность окисления H_2O_2 может быть улучшена при использовании двухвалентного железа в качестве катализатора, производящего реагент Фентона, который является более сильным окислителем, чем перекись водорода. Испытания реагента Фентона показали, что селективная флотация халькопирита и молибденита возможна при низкой концентрации перекиси водорода и меньшем времени кондиционирования. Результаты рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии указывают на то, что продукты окисления (т.е. FeOOH , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, CuO , $\text{Cu}(\text{OH})_2$) осаждаются на поверхности халькопирита, и гидрофилизуют его поверхность. В то же время продукты окисления на поверхности молибденита (то есть MoO_2 и MoO_3) могут растворяться как MoO_4^{2-} ион, что делает поверхность гидрофобной. Окислительная обработка с использованием смеси водного раствора FeSO_4 и H_2O_2 может избирательно окислять поверхность халькопирита без существенного влияния на поверхность молибденита [3].

В последнее время все более интенсивно внедряются в практику методы с применением бактерий для интенсификации процессов обогащения [4]. Исследования показали перспективность использования биотехнологий для обработки поверхности флотационного концентрата перед циклом селекции с целью очистки поверхности

сульфидов от коллекторной пленки. В качестве микроорганизмов, десорбирующих ксантогенат с поверхности медно-молибденового коллективного концентрата, предлагается использовать культуру бактерий *Pseudomonas Japonica*. Оптимальным расходом культуры бактерий *Pseudomonas Japonica* является 10 мл (титром $6 \cdot 10^7$ кл/мл), так как при данном показателе происходит резкая гидрофилизация медных минералов и незначительное снижение флотуемости молибденита, что позволяет эффективно использовать бактерии в процессе селекции коллективных концентратов, сократив при этом расход сернистого натрия и тепловую обработку. Также предлагается применять бактериальную культуру *Ochrobactrum anthropi* и *Pseudomonas aeruginosa* JCM 5962 для десорбции дизельного топлива [5].

Предложенные технологические решения, по сравнению с традиционными методами, являются экологически безопасными за счет снижения расхода токсичных реагентов, а также характеризуются низкими энергетическими затратами, что важно в горно-металлургической отрасли.

Список литературы

1. Lina Uribe, Leopoldo Gutierrez, Vicente Hernandez, Caludia Vidal, Regis Texeira Use of lignin derivatives for selective flotation of Cu-Mo // Proceedings of the XXIX International Mineral Processing Congress, IMPC 2018. – Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. – 2019. – pp. 1303-1316.
2. H. Miki, T. Hirajima, Y. Muta, G.P.W. Suyantara and K. Sasaki Investigation of reagents for selective flotation on chalcopyrite and molybdenite // Proceedings of the XXIX International Mineral Processing Congress, IMPC 2018. – Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. – 2019. – pp. 1854-1861.
3. Gde Pandhe, Wisnu Suyantara, Tsuyoshi Hirajima, Hajime Miki and Keiko Sasaki The use of fenton's reagent on selective flotation of chalcopyrite and molybdenite // Proceedings of the XXIX International Mineral Processing Congress, IMPC 2018. – Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. – 2019. – pp. 1862-1871.
4. Алгебраистова Н.К., Маркова А.С., Прокопьев И.В., Развязная А.В. К проблеме подготовки коллективных концентратов к циклу селекции // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 1. – С. 187-195.
5. Algebraistova N., Gurevich Yu., Prokopev I., Teremova M., Razvjaznaya A. Biological processing of bulk concentrate flotation before selection circuit // Abstracts book of the XXIX International Mineral Processing Congress, IMPC 2018. – Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. – 2019. – p. 128.

**ОСОБЕННОСТИ АДСОРБЦИИ ЭФИРА
ДИТИОКАРБАМИНОВОЙ КИСЛОТЫ
НА ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕМ ХАЛЬКОПИРИТЕ**

Громова Н.К., Минаев В.А.

ИПКОНМ РАН, г. Москва

Формирование гидрофобного слоя собирателя на поверхности золотосодержащих сульфидных минералов является одним из важных факторов повышения извлечения золота из труднообогатимых руд. В данной работе изучение процесса адсорбции реагента класса дитиокарбаматов на поверхности золотосодержащего халькопирита выполнено методами сканирующей электронной и лазерной микроскопии. Количественная оценка адсорбции реагента проведена непосредственно на поверхности халькопирита, являющимся одним из основных минералов-носителей тонковкрапленного золота в комплексных сульфидных рудах.

Цель данной работы – изучить особенности закрепления реагента цианэтилированного эфира диэтилдитиокарбаминовой кислоты (ЦЭДЭТК) на золотосодержащем халькопирите методами микроскопии в условиях близких к флотационным. Раствор реагента ЦЭДЭТК, лабораторный образец которого был предоставлен компанией АО “Волжский Оргсинтез”, готовили с использованием ультразвукового диспергатора МЭФ93.Т.

Исследование выполнено на аншлифах природного халькопирита, изготовленных в виде полированных пластин 10x10x2 мм. Состояние поверхности аншлифа минерала до и после контакта с раствором реагента анализировалось на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения с катодом Шоттки TESCAN MIRA3, оснащенный безазотной системой микроанализа X-MAX 80 под управлением программного обеспечения AZtec (Oxford Instruments), а также и конфокальном лазерном микроскопе KEYENCE VK-9700, который позволяет проводить исследования в широком диапазоне увеличений и разрешений с применением программного обеспечения VK-Analyzer.

На ASEM-снимке аншлифа халькопирита с нанесенным золотом до обработки реагентом четко видны округлые частицы золота, достаточно равномерно распределенные по поверхности минерала (рис. 1а). В X-ray спектре наблюдаются пики Fe, Cu и S, характерные

для халькопирита CuFeS_2 , а также пики Au. Весовое (%) соотношение элементов соответствует следующим значениям – 38% Cu, 29% Fe, 32% S, 1% Au (рис. 1а).

После обработки раствором ЦЭДЭТК на поверхности минерала обнаруживаются темные пятна (рис. 1б), рентгеновские спектры которых характеризуются повышенным содержанием углерода С и азота N (рис. 1б), что свидетельствует об адсорбции ЦЭДЭТК на поверхности минерала.

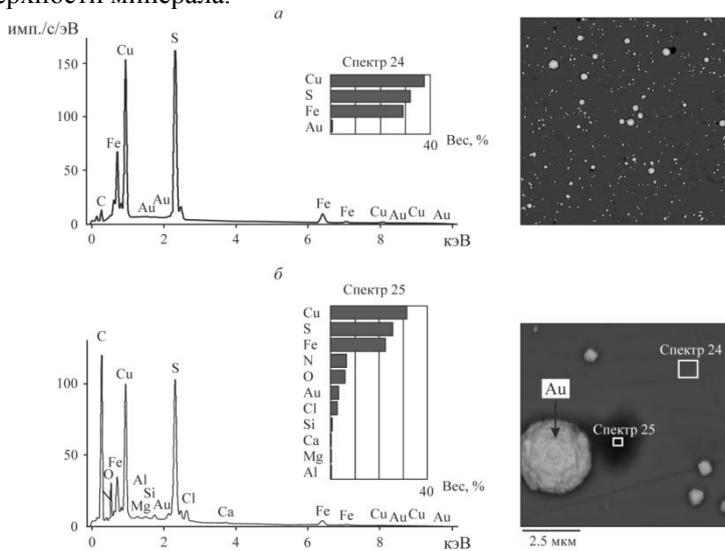


Рис. 1. ASEM-снимки и X-гау спектры аншлифа халькопирита с Au (а) и ЦЭДЭТК (б)

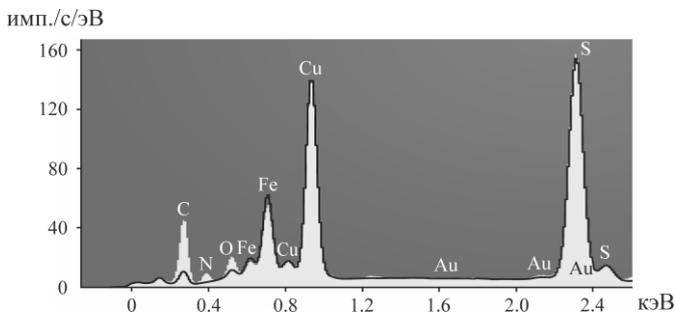


Рисунок 2 – Сравнение X-гау спектров аншлифа халькопирита с Au и реагента ЦЭДЭТК на поверхности минерала (черная линия — спектр минерала, белый спектр — реагент)

Сравнение спектров до и после контакта с реагентом программным обеспечением AZtec показало значительное увеличение высоты пика С и появление пика N, принадлежащих адсорбированной молекуле реагента ЦЭДЭТК (рис. 2).

Результаты анализа поверхности аншлифов золотосодержащего халькопирита на конфокальном лазерном микроскопе KEYENCE VK-9700 с применением программного обеспечения VK-Analyzer по авторской методике [1] показали количественные изменения высоты рельефа и линейных размеров вновь образованных органических фаз реагента, появившихся после обработки реагентом.

Способность реагента ЦЭДЭТК к образованию комплекса с Au в растворе была ранее установлена УФ-спектрофотометрией по максимумам поглощения при 254 и 318 нм [2].

Список литературы

1. Матвеева Т.Н., Громова Н.К., Минаев В.А. Количественная оценка адсорбционного слоя комбинированного диэтилдитиокарбамата на халькопирите и арсенопирите методом измерения параметров рельефа поверхности // Цв. металлы. — 2018. — № 7. — С. 27–32.

2. Матвеева Т.Н., Громова Н.К., Ланцова Л.Б. Анализ комплексообразующих и адсорбционных свойств дитиокарбаматов на основе циклических и алифатических аминов для флотации золотосодержащих руд // ФТПРПИ. — 2020. — № 4. — С. 157–163.

УДК 622.765.061

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ДИТИОПИРИЛМЕТАНА С МЕДЬЮ И СЕРЕБРЯМ В ПРОЦЕССЕ ФЛОТАЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ТРУДНОБОГАТИМОЙ РУДЫ

Гетман В.В.

ИПКОН РАН, г. Москва

Исследованиями, выполненными в ИПКОН РАН, на примере аналитических реагентов группы пиразолов, таких как аминофеназон (АМД, $C_{13}H_{17}N_3O$), диантипирилметан (ДАМ, $C_{23}H_{24}N_4O_2$) было показано, что эти вещества, благодаря их способности образовывать труднорастворимые комплексные соединения с ионами меди и цинка на поверхности сульфидных минералов, могут применяться как селективные реагенты-собиратели сфалерита и халькопирита при обогащении медно-цинковых руд. [1-3]. Изучение реагента 1-фенил-2,3-диметил-пиразолон-5-тион (ДТМ, $C_{23}H_{24}N_4$) показало эффективность

его применения при флотации золотосодержащих руд [4, 5] и послужило основанием для исследования механизма его действия по отношению к золоту.

ДТМ обладает восстановительными свойствами и может участвовать в окислительно-восстановительных реакциях с ионами металлов. При взаимодействии осмия (+8), золота (+3), марганца (+7), хрома (+6), железа (+3) протекают окислительно-восстановительные реакции с восстановлением перечисленных элементов, некоторые из которых образуют комплексные катионы в их низших степенях окисления.

Щербаковой Л.В. потенциометрическим методом были определены составы катионных комплексов дитиопирилметана с медью и серебром (рисунок 1) [6].

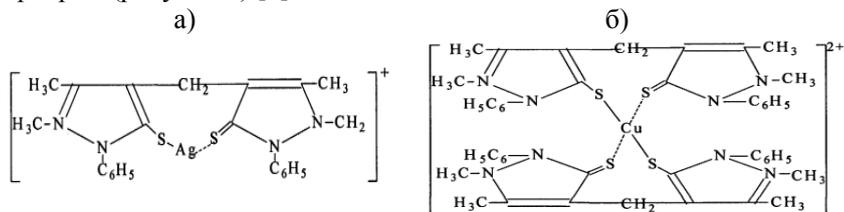


Рис. 1. Структура комплекса серебра (а) и меди (б) с дитиопирилметаном

Анализ литературных данных и результаты экспериментальных исследований, полученные в ИПКОН РАН, позволяют предположить об эффективном применении дитиопирилметана в качестве флотационного реагента при флотации руд содержащих цветные и благородные металлы, в частности медь и серебро.

В качестве рудного объекта для исследования селективности реагента ДТМ по отношению к меди и серебру при флотации выбрана проба комплексной труднообогатимой руды. Главными рудными минералами являются пирит, борнит, халькопирит. В исходной пробе меди 0,54%, серебра 2,17 г/т.

Флотационные исследования проводили по схеме прямой флотации с получением концентрата и хвостов. Руду измельчали до 70% класса -0,071 мм, в измельчение подавали жидкое стекло 500 г/т. В качестве вспенивателя применяли сосновое масло 50 г/т. Результаты флотации пробы труднообогатимой руды представлены на рисунке 2.

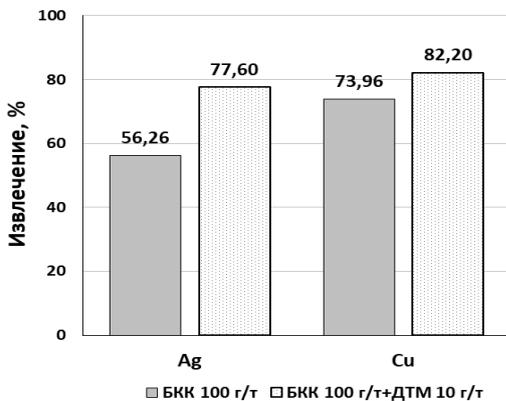


Рис. 2. Гистограмма зависимости извлечения Cu и Ag при флотации от реагентного режима

Применение ДТМ в качестве дополнительного реагента к бутиловому ксантогенату калия (БКК) позволило увеличить извлечение меди и серебра в концентрат на 8,24 и 21,34% соответственно, что позволило сократить потери с хвостами флотации в 1,5-2 раза.

Таким образом, применение композиции собирателей – нового комплексообразующего реагента группы пиразолов ДТМ и традиционного бутилового ксантогената при флотационном обогащении комплексной труднообогатимой руды обеспечивает повышение извлечения меди и серебра на 8–20% и снижение потерь ценных металлов с хвостами флотации.

Список литературы

1. Чантурия В.А., Иванова Т.А., Чантурия Е.Л., Зимбовский И.Г. О механизме селективного действия 1-фенил-2,3-диметил-4-аминопиразолона-5 в процессе флотационного разделения сфалерита и пирита // Цветные металлы. – 2013. – № 1. – С. 25–29.
2. Зимбовский И.Г. Физико-химическое обоснование нового реагента собирателя класса пиразола при флотационном разделении сульфидов медно-цинковых руд. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Москва, ИПКОН РАН. 2013 г.
3. 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.

4. Иванова Т.А., Зимбовский И.Г., Гетман В.В., Каркешкина А.Ю. Подготовка и апробация аналитического реагента дитиопирилметана в качестве реагента для флотации минералов // Обогащение руд. – 2018. – № 12. – С. 38-44.

5. Матвеева Т.Н., Гетман В.В., Каркешкина А.Ю. Исследование адсорбционных и флотационных характеристик реагента дитиопирилметана для извлечения золота из упорных золотомышьяковых руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2020. – № 4. – С. 157-163.

6. Щербакова Л.В. Физико-химические параметры комплексов ионов металлов с тиопроизводными пиразола и способ определения констант равновесия. Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. Барнаул, 2005.

УДК 621.928.8:553.31

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ

Бушуев Д.А.^{1,2}, Зеновьев И.А.^{1,2},
Лавриненко А.А.¹, Сыса П.А.¹

¹ИПКОН РАН, ²НИТУ МИСИС, г. Москва

Аннотация. С целью повышения эффективности магнитной сепарации при обогащении железистых кварцитов проведены исследования режимов процесса магнитной сепарации в режиме бегущего магнитного поля. В результате обогащения содержание железа в магнитном концентрате удалось повысить с 28 до 69%.

Ключевые слова: магнетит, магнитная сепарация, магнетитовый концентрат.

Актуальность исследований. Железистые кварциты являются важным сырьем для производства железной руды. Они содержат в себе значительное количество железа, которое может быть экономически выгодно извлечено и использовано в металлургической промышленности. Повышение эффективности магнитной сепарации позволит увеличить выход железа при обогащении железистых кварцитов, что в свою очередь способствует повышению эффективности производства железной руды. Также магнитная сепарация является одним из основных методов обогащения железных руд. Она основана на использовании различий в магнитных свойствах руды и

немагнитных примесей. Однако, эффективность традиционной магнитной сепарации часто ограничена недостаточной селективностью процесса разделения железа от немагнитных минералов. Поэтому разработка новых и усовершенствование существующих методов магнитной сепарации является важным шагом в повышении эффективности и производительности обогатительных фабрик.

Задачи исследований:

1. Изучение состава и свойств железистых кварцитов, включая содержание железа, магнитную проницаемость материала и его магнитные свойства.

2. Определение оптимального режима магнитной сепарации для данного типа руды, включая выбор оптимальной интенсивности магнитного поля и скорости подачи материала на магнитную сепарационную систему.

3. Исследование эффективности различных типов магнитных сепараторов (мокрые магнитные сепараторы, роликовые магнитные сепараторы, сепараторы на постоянных магнитах) в отношении данного типа руды.

4. Определение оптимальной фракции сепарируемого материала для достижения максимальной эффективности магнитной сепарации.

Объект исследований – магнетитовые кварциты, полученные из одного из российских ГОКов.

Результаты исследований. Отбор проб для исследований магнетита проводили по определённой схеме. Схема подготовки лабораторных проб включала перемешивание исходной пробы массой 20 кг, усреднение методом кольца и конуса и отбор проб методом квартования. Основными компонентами магнетитовых кварцитов являются: Fe – 28%; Si – 21%; и примеси: Al – 6,3%; S – 0,4%.

Гранулометрический состав исходной руды определяли методом мокрого отсева на ситах. Анализ распределения частиц магнетита по фракциям крупности показал, что максимальный выход - порядка 31% - имеет наиболее высокодисперсная фракция +0,63 мм. Также значительный выход у фракции + 0,071 - 0,2 мкм (28%).

Магнитное разделение проводили в мокром магнитном сепараторе с вращающейся магнитной системой и неподвижным барабаном ИТОМАК ММС-0,1ПМ и индукцией магнитного поля 0,2 Тл. В связи с высокой дисперсностью исходного магнетита мокрую магнитную сепарацию пробы осуществляли в разбавленной суспензии при соотношении Т:Ж=1:10. Содержание железа в исходном материале составляло 28%. По результатам экспериментов с разной скоростью

вращения магнитного барабана установлена большая эффективность низкой скорости вращения магнитной системы – 10 об./мин., обеспечивающая повышение выхода концентрата на 0,4-1% по сравнению со скоростью 18 об./мин.

Анализ показателей процесса магнитной сепарации и распределения элементов в продукты разделения. По результатам элементного анализа образцов установлено, что содержание железа в концентрате магнитной сепарации составило 63% при выходе 90% и извлечении металла 88,7%. В хвостах магнитной сепарации содержание железа составило 11%.

Для установления возможности повышения содержания железа в концентрате была проведена перемешивающая операция на сухом магнитном сепараторе в режиме бегущего магнитного поля. Полученный магнетитовый концентрат с содержанием железа 69% может быть использован в качестве компонента шихты при выплавке чугуна или ферросплавов, в производстве специальных бетонов и т.п.

Выводы. В результате проведенных исследований по магнитному выделению железосодержащего продукта из магнетитовых кварцитов получен концентрат с содержанием железа 69%.

Список литературы

1. Кармазин В.А., Жолдасбаев Т.З., Билунов Л.Ф. Магнитная сепарация минеральных комплексов // Техника и технология обработки руд. – 2015. – №1. – С. 7-13.
2. Гуров Е.П., Хайновский В.А., Романов К.В. Современные методы и средства повышения эффективности магнитной сепарации // Горный журнал. 2017. – №10. – С. 57-60.
3. Проскуряков Е.И., Успенский П.Ф., Гири К.Н. Влияние параметров магнитной сепарации на эффективность обогащения руд. // Цветные металлы. – 2014. – №6. – С. 21-25.

УДК 622.772

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЦИРКОНИЯ И РЗЭ ИЗ ЭВДИАЛИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА

Кожевников Г.А., Самусев А.Л., Миненко В.Г.

ИПКОН РАН, г. Москва

Непрерывный рост потребления редких и редкоземельных элементов (РЗЭ), связанный с развитием высокотехнологичных отраслей

промышленности, обуславливает необходимость разработки эффективных гидрометаллургических технологий переработки редкометалльного сырья.

В России перспективным источником сырья для получения циркония (Zr) и РЗЭ является эвдиалит, огромные запасы которого находятся в крупнейших в мире месторождениях, сосредоточенных в Ловозерском районе Мурманской области [1].

В настоящее время эвдиалитовое сырье не перерабатывается из-за отсутствия эффективной технологии доводки концентратов, обеспечивающей селективное извлечение циркония и РЗЭ при низких капитальных и эксплуатационных затратах. В литературе предложены различные технологии переработки эвдиалитовых концентратов, основанные на кислотном выщелачивании при высоких температурах (более 80°C). При этом в процессе выщелачивания извлечение РЗЭ в продуктивные растворы, как правило, не превышает 80%, а сами растворы загрязнены такими катионами, как Al, Fe, Ca, Mg, Na и др., которые усложняют или делают невозможным проведение последующих процессов для селективного извлечения ценных компонентов из продуктивных растворов [2].

Кроме того, при кислотном растворении эвдиалита образуется значительное количество силикагеля, что значительно снижает скорость диффузии реагента к поверхности минералов, приводит к значительным потерям ценных компонентов с силикагелем и затрудняет процесс очистки продуктивного раствора методом фильтрации.

С целью подавления процесса образования силикагеля авторами [3,4] предложено использование щелочного разложения и механоактивации в качестве предварительной операции перед кислотным выщелачиванием эвдиалитового концентрата.

Кроме того, в последние годы решение данной проблемы достигается за счет предварительной обработки минеральных суспензий мощными энергетическими воздействиями (электрохимическая обработка, ультразвук, обработка электромагнитными полями высокой напряженности, механоактивация др.), обеспечивающих как модифицирование структурно-химических и морфологических свойств эвдиалита, разрушение силикагеля, так и интенсификацию процессов выщелачивания [5].

Цель данной работы – повышение эффективности предварительного щелочного разложения, кислотного выщелачивания эвдиалитового концентрата и процесса доизвлечения ценных компонентов

из силикатного геля за счет использования ультразвуковых воздействий.

Исследования проводили на пробах эвдиалитового концентрата Ловозерского ГОКа крупностью -630 мкм (15.75% – класса -630 + 315 мкм; 64.55% – -315 + 125 мкм; 17.7 – -125 + 63 мкм; 2.0% – -63 мкм) и измельченного до крупности -63 мкм.

Предварительное щелочное разложение с последующим азотно-кислым выщелачиванием концентрата проводили в лабораторном автоклаве («Top Industrie», Франция). Условия щелочного разложения: температура – 130°C, продолжительность – 6 ч, концентрация NaOH – 40%, содержание твердой фазы – 20%.

Условия последующего азотнокислого выщелачивания: температура – 80°C, продолжительность – 1 ч, концентрация азотной кислоты – 450 г/л, содержание твердой фазы – 20%.

Условия доизвлечения ценных компонентов: образцы силикатного геля массой от 10 до 40 г растворяли в дистиллированной воде в стеклянных стаканах объемом 250 мл с помощью магнитной мешалки при подогреве до 80°C, интенсивность УЗ воздействий (отношение времени ультразвуковой обработки к общей продолжительности процесса) составляла от 0 до 100%.

Параметры ультразвуковой обработки (УЗ) минеральной суспензии: рабочая частота, кГц – 22 ± 1.65 , амплитуда механических колебаний, мкм, max – 25 ± 5 , продолжительность обработки – от 10 до 30 мин.

В таблице 1 приведены результаты исследований по влиянию продолжительности ультразвуковой обработки на эффективность извлечения кремния в процессе щелочного разложения эвдиалитового концентрата.

Таблица 1.

Влияние УЗ воздействий на извлечение кремния в процессе щелочного разложения эвдиалитового концентрата

| Продолжительность УЗ, мин | Извлечение кремния, % | |
|------------------------------|-----------------------|--------|
| | 630 мкм | 63 мкм |
| 0 | 9.2 | 22.0 |
| 10 | 12.4 | 24.8 |
| 20 | 16.7 | 26.3 |
| 30 | 21.8 | 27.5 |

Установлено, что использование ультразвуковых воздействий в процессе щелочного разложения концентрата крупностью менее

630 мкм способствует повышению извлечения кремния в раствор на 12.6% с 9.2 до 21.8%, что сопоставимо с результатами, полученными на более тонком классе (63 мкм) без обработки. При этом ценные компоненты полностью (100%) остаются в кеке. УЗ обработка эвдиалитового концентрата крупностью менее 63 мкм обеспечивает повышение извлечения кремния при щелочном разложении на 2.8–5.5% с 22.0 до 27.5%. Однако продолжительная УЗ обработка (30 мин) тонкого класса приводит к значительному снижению скорости последующей фильтрации суспензии, за счет образования большого количества коллоидных частиц.

В таблице 2 приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию УЗ воздействий на эффективность последующего (после щелочного разложения в режиме: предварительная УЗ обработка 30 мин., $T=130^{\circ}\text{C}$, $t=6$ ч, $C_{\text{NaOH}}=40\%$) азотнокислого выщелачивания Zr и P3Э из эвдиалитового концентрата.

Таблица 2.

Влияние УЗ воздействий на извлечение Zr и P3Э в процессе азотнокислого выщелачивания эвдиалитового концентрата

| № оп. | Время УЗ обработки, мин | Извлечение Zr в раствор, % | Потери Zr с силикагелем, отн. % | Извлечение P3Э в раствор, % | Потери P3Э с силикагелем, отн. % |
|-------|-------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1 | - | 76.9 | 53.4 | 79.6 | 55.6 |
| 2 | 10 | 79.7 | 49.7 | 82.2 | 51.1 |
| 3 | 20 | 82.1 | 46.1 | 84.9 | 48.7 |
| 4 | 30 | 84.8 | 42.3 | 87.1 | 45.3 |

Результатами исследований показана возможность извлечения в продуктивный раствор Zr–76.9%, P3Э–79.6%, с использованием УЗ воздействий (30 минут) – 84.8% и 87.1% соответственно. Однако относительные потери ценных компонентов с силикагелем в зависимости от продолжительности УЗ воздействий (0, 10, 20 и 30 минут) составили: для Zr – 73.5%, 72.7%, 71.6% и 70.4%, соответственно, для P3Э – 75.6%, 74.1%, 72.8% и 71.7%, соответственно. При этом объемы образованного силикагеля достигали 66.5% от объема продуктивного раствора.

Поверхность большинства образцов эвдиалита после азотнокислого выщелачивания характеризуется наличием областей различной степени трещиноватости, осадка затвердевшего силикатного геля и зон с особым “зубчатым” строением, обусловленным анизотропным

выщелачиванием. Значительная область частиц эвдиалита покрыта осадком затвердевшего силикатного геля, содержащего Zr и P3Э.

Предварительная ультразвуковая обработка суспензии кислотного выщелачивания эвдиалитового концентрата способствует интенсивному растрескиванию поверхности минеральных частиц, вплоть до полного разрушения зерен эвдиалита. При этом на поверхности минеральных частиц практически полностью отсутствует осадок силикатного геля [6].

В связи с чем в работе исследовано влияние интенсивности ультразвуковой обработки на эффективность извлечения ценных компонентов из силикатного геля.

На основе стандартного метода дисперсного анализа установлены оптимальные параметры (соотношение масс силикагеля к воде (Т:Ж) – от 1:20 до 1:10; продолжительность перемешивания – 90 мин; интенсивность ультразвуковой обработки – 25%; температура – 75°C) извлечения ценных компонентов из силикатного геля, обеспечивающие десорбцию из него в жидкую фазу Zr – 47.95%, P3Э – 56.17%. При этом максимальная десорбция Zr и P3Э без использования УЗ воздействий составила 36.43% и 47.8%, соответственно.

Таким образом, в результате выполненных исследований установлено, что использование УЗ-воздействий обеспечивает:

- повышение извлечение кремния в раствор с 9.2 до 21.8% без потерь ценных компонентов в процессе предварительного щелочного разложения эвдиалитового концентрата, что, как следствие, снижает удельный расход кислоты при последующем выщелачивании и объемы образующегося силикагеля;

- повышение извлечения, в процессе последующего азотнокислотного выщелачивания эвдиалитового концентрата Zr на 7.9% с 76.9% до 84.8% и P3Э – на 7.5% с 79.6% до 87.1%;

- обратную десорбцию Zr и P3Э из силикатного геля, образованного в процессе азотнокислотного выщелачивания эвдиалитового концентрата, что снижает общие потери Zr на 20.3%, P3Э – 25.44 %.

Список использованной литературы

1. Захаров В.И., Скиба Г.С., Соловьев А.В., Лебедев В.Н., Майоров Д.В. Некоторые аспекты кислотной переработки эвдиалита // Цв. металлы. — 2011. — № 11. — С. 25–29.

2. Davris P., Stopic S., Balomenos E., Panias D., Paspaliaris I., Friedrich B. Leaching of rare earth elements from eudialyte concentrate by suppressing silica gel formation, *Minerals Engineering*, 2017, Vol. 108, July. — P. 115–122.

3. Богатырева Е.В., Чуб А.В., Ермилов А.Г., Хохлова О.В. Эффективность щелочно-кислотного способа комплексного выщелачивания эвдиалитового концентрата. Ч. 1 // *Цв. металлы*. 2018. № 7. С. 57–61.

4. Богатырева Е.В., Чуб А.В., Ермилов А.Г., Хохлова О.В. Эффективность щелочно-кислотного способа комплексного выщелачивания эвдиалитового концентрата. Ч. 2 // *Цв. металлы*. 2018. № 8. С. 69–74.

5. Чантурия, В. А. Научное обоснование и разработка инновационных процессов извлечения циркония и РЗЭ при глубокой и комплексной переработке эвдиалитового концентрата // *Записки Горного института*. — 2022. — 256. — С. 505-516.

6. Chanturiya V.A., Minenko V.G., Samusev A.L., Koporulina E.V., Kozhevnikov G.A. Physicochemical and energy impact on the process of leaching of a eudialyte concentrate // *Doklady Earth Sciences*. 2022. Т. 505. № 2. С. 534-542.

УДК 662.613.136:622.765

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗ ЗОЛЫ СЖИГАНИЯ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ

**Зеновьев И.А.^{1,2}, Бушуев Д.А.^{1,2}, Кунилова И.В.¹,
Лавриненко А.А.¹, Милетенко Н.И.^{1,3}**

¹*ИПКОН РАН, ²НИТУ МИСИС,*

³*МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИУ), г. Москва*

Введение. Россия занимает 2-е место в мире (после США) по запасам угля. В настоящее время в России действует 68 угольных ТЭС общей мощностью 38,3 ГВт. Уголь является наиболее доступным видом топлива для электростанций Сибири и Дальнего Востока за счет близости угольных месторождений, в связи с чем в этих регионах планируется строительство и модернизация ТЭС. Доля угля в энергобалансе России к 2050 г. может не сократиться с текущих 13% до 4-7%, как предполагалось ранее, а увеличиться до 15%. Данный вариант прорабатывается в новой энергетической стратегии России до 2050 г. [1]. Сжигание угля на ТЭС в «сверхкритическом» и «ультрасверхкритическом» режимах с установками улавливания и захоронения CO₂ позволит снизить выбросы до уровней современных газовых электростанций. Использование обогащенных углей приведет к снижению количества образующихся золошлаковых отходов.

Однако в накопленных и текущих отходах содержание недожженно-го углерода, иначе «недожога», колеблется от 2 до 25%, в зависимости от состава исходного угля, технологий сжигания и удаления [2]. При непосредственном использовании золы в строительных отраслях недожжённый углерод безвозвратно теряется, а в н случае повышенных требований к сырью становится препятствием для применения. В связи с этим разработка методов предварительного выделения недожога из золы является перспективным направлением научных исследований.

Цель исследований – выделение углеродсодержащего продукта из золы сжигания каменных углей.

Задачи исследований:

1. Изучение элементного, минерального и гранулометрического составов пробы золы.

2. Определение эффективного реагентного режима флотации золы.

Объект исследований – зола сухого отбора после сжигания каменных углей одной из российских теплоэлектростанций.

Результаты исследований. Элементный состав образца золы определен рентгенофлуоресцентным полуколичественным методом, содержание углерода - термогравиметрическим методом. Анализ состава образца сухой золы показал (табл.1), что исследуемая зола по содержанию CaO (2,14%) является кислой по ГОСТ 25818-2017, с высоким содержанием кремнезема (57,9%), глинозема (21,3% по Al₂O₃), низким содержанием щелочных оксидов – 0,47% по K₂O (<1,5%) и серы в пересчете на SO₃ - 1,3% (<3%). Содержания оксидов магния и натрия в золе не определялись. Установлено низкое содержание углерода в образце золе - 2,4%.

Таблица 1

Основной состав образца золы, %

| Si | Al | Fe | C | Ca | Ba | Ti | K | S |
|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 27,1 | 11,3 | 2,6 | 2,4 | 1,5 | 0,8 | 0,7 | 0,4 | 0,1 |

Распределение элементов по классам крупности определено исследованием гранулометрического состава золы. По результатам мокрого рассева, в образце золы максимальный выход – 41% – имеет наиболее тонкодисперсная фракция -0,02 мм.

В результате исследований разработан реагентный режим флотации золы с выходом углеродсодержащего продукта 7,9% и содержанием углерода 25,5% при извлечении 85,3% (табл. 2): расход собирателя – дизельного топлива – 4 кг/т, дробная подача пенообразователя МИБК с общим расходом 300 г/т, соотношение

T:Ж=1:5, время кондиционирования с реагентами – по 3 мин., время флотации - 1 мин., до истощения пены – 2,5 мин. Полученный углеродсодержащий продукт после перечистных операций может быть использован в качестве дополнительного топлива на теплоэлектростанции.

Содержание углерода в хвостах составило 0,7% (<1%), что позволит расширить сферы использования хвостов флотации как в строительных отраслях, а также устранить вторичную сорбцию ценных элементов при комплексной гидрометаллургической переработке.

Таблица 2

Распределение основных элементов в продукты флотации

| Показатели/ Элемент | Содержание, % | | | Извлечение, % | |
|---------------------|---------------|------|--------|---------------|--------|
| | Зола | К-т | Хвосты | К-т | Хвосты |
| C | 2,4 | 25,5 | 0,7 | 85,3 | 14,7 |
| Si | 27,1 | 21,9 | 27,4 | 6,3 | 93,1 |
| Al | 11,3 | 8,7 | 11,3 | 6,0 | 92,5 |
| Fe | 2,6 | 1,8 | 2,7 | 5,5 | 95,7 |

Выводы. В результате проведённых исследований определен оптимальный реагентный режим процесса флотационного выделения углеродсодержащего продукта с содержанием 25,5% при извлечении 85,3%.

Список литературы

1. В. Милькин, А.Волобуев. В России к 2050 году доля угля в генерации энергии может вырасти // Ведомости. [Электронный ресурс]: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2023/08/25/991818-v-rossii-k-2050-godu-dolya-uglya-v-generatsii-energii-mozhet-virasti> (дата обращения 29.08.2023).

2. М.Я. Шпирт, В.Б. Артемьев, С.А. Силютин. Использование твердых отходов добычи и переработки углей. – М.: Издательство «Горное дело» ООО Киммерийский центр», 2013. – 432 с.

УДК 662.613.11:662.613.136

ПОЛУЧЕНИЕ АЛЮМОСОДЕРЖАЩИХ КОАГУЛЯНТОВ ИЗ ЗОЛЫ СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ

Сафронов О.А.^{1,2}, Лавриненко А.А.¹, Кунилова И.В.¹

¹ИПКОН РАН, ²РХТУ им. Д.И.Менделеева, г. Москва

Введение. В настоящее время ввиду курса Российской Федерации, ориентированного на устойчивое развитие, актуальным вопросом

становится поиск методов переработки отходов промышленности. Одной из проблем, требующих серьезного внимания, является переработка золы, образующейся в процессе сжигания углей [1]. В отличие от золошлаковых отходов, относящихся, как правило, к 5 классу опасности, зола в связи с концентрированием в ней токсичных элементов, может быть отнесена к 4 или, в некоторых случаях, даже к 3 классу опасности. При этом степень утилизации золы в России крайне недостаточна и составляет, например, для Рефтинской ГРЭС 10%. В данном контексте, получение алюмосодержащих коагулянтов из золы представляет собой перспективный путь к сокращению экологической нагрузки и одновременному получению ценных продуктов [2]. Эффективные способы перевода алюминия из золы в раствор требуют применения высоких концентраций кислотных реагентов, различных интенсифицирующих воздействий, в частности, повышенных температуры и давления, а также введения дополнительных операций для выделения сопутствующих ценных компонентов [3].

Цель исследований – совершенствование метода извлечения алюминия из золы сжигания углей для последующего получения алюмосодержащего коагулянта.

Задачи исследований:

1. Изучение состава сухой золы, полученной при сжигании углей.
2. Определение эффективного режима обжига золы после выделения углерод- и железосодержащих концентратов.
3. Исследование условий выщелачивания продуктов обжига золы.

Объект исследований – проба сухой золы Рефтинской ГРЭС.

Результаты исследований. Анализ состава образца сухой золы показал, что основными компонентами золы являются оксиды кремния (57,9%) и алюминия (21,3%), а также железа (3,7%). Содержание углерода низкое и составляет 2,35%. Зола содержит 2,14% CaO и относится к кислому типу по ГОСТ 25818-2017. Основными примесями являются сера в пересчете на SO₃ - 1,3%, а также щелочные оксиды.

Анализ минерального состава показал наличие упорных к выщелачиванию компонентов - муллита, кварца и его полиморфной модификации коэзита, а также остеклованных фаз.

Анализ гранулометрического состава золы показал, что она является очень тонкодисперсным материалом. Класс -0,02 мм имеет максимальный выход - 41%. Также высок выход класса +0,071мм.

В ходе исследований, проведённых в ИПКОН РАН, был предложен усовершенствованный метод извлечения алюминия и сопутствующих компонентов из золы сжигания каменных углей на основе обогатительно-гидрометаллургических методов, включающий в себя следующие основные этапы:

- Флотация с получением концентрата флотации (углеродного концентрата) и хвостов флотации;
- Магнитная сепарация хвостов флотации с получением магнитной и немагнитной фракций (концентрата и хвостов магнитной сепарации, соответственно);
- Обжиг с NaOH хвостов магнитной сепарации;
- Предварительная ультразвуковая обработка полученного спека;
- Выщелачивание спека с применением сочетания реагентов H_2SO_4 , HCl и окислителя;
- Фильтрация полученного раствора.

В результате проведённых исследований были подобраны эффективные режимы протекания процессов обжига и выщелачивания.

Выводы. В результате исследования комбинированного процесса переработки хвостов магнитной сепарации золы, включающего обжиг с гидроксидом натрия и кислотное выщелачивание с применением ультразвукового воздействия, получен продуктивный раствор с содержанием алюминия 15,5 г/л, в пересчете на Al_2O_3 – 29,3%, который может быть использован для получения коагулянта для очистки промышленных и бытовых сточных вод. Степень извлечения алюминия в раствор составила 45% за счёт образования более сильных окислителей в сравнении с 5-20% извлечением при использовании растворов соляной кислоты.

Список литературы

1. Л.Н. Адеева, В.Ф. Борбат Зола ТЭЦ - перспективное сырьё для промышленности // Вестник Омского университета. - 2009. - №2. - С. 141-151.
2. К.И. Наумов, И.М. Шведов, А.С. Малолетнев Применение новых технологий для получения коагулянта (сульфата алюминия) из углеотходов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2014. - С. 67-72.
3. Valeev D.V. et al. A review of the alumina production from coal fly ash, with a focus in Russia // Journal of Cleaner Production. 2022. Т. 363. С. 132360. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132360.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЖИДКОЙ ФАЗЫ ПУЛЬПЫ НА ФЛОТАЦИЮ АПАТИТА ИЗ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВОЙ РУДЫ

Баева А.П., Митрофанова Г.В.

ГоИ КНЦ РАН, г. Анапты

Обязательным условием работы современных обогатительных фабрик является использование замкнутого водооборота. Солевой состав оборотной воды определяется типом перерабатываемых и руд и перечнем используемых в процессе реагентов.

Ранее проведенными исследованиями показано негативное влияние катионов жесткости, анионов NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} на флотацию апатита из апатит-нефелиновых руд [1,2]. Наиболее сильно это влияние проявляется при флотации сложных по минеральному составу руд – с низкой долей основных минералов апатит и нефелина, с наличием значительного количества вторично измененных минералов [3,4].

В ходе исследований обогатимости широкого ряда разновидностей апатит-нефелиновой руды было установлено, что флотационная пульпа, полученная после измельчения некоторых проб руды, содержит значительное количество ионов кальция, железа и алюминия. Причем ионный состав зависит от условий измельчения.

В настоящей работе сравнительную оценку ионного состава пульпы проводили на трех образцах апатит-нефелиновой руды, значительно отличающихся по содержанию основных минеральных компонентов.

Проба АН-1: апатит- 4,3%; нефелин - 43,4%; пироксены – 8,8%; полевые шпаты – 13,9%; слюды – 6,1%; цеолиты -6,52%, глинистые минералы – 4,7%.

Проба АН-3: апатит- 37,4%; нефелин – 17,3%; пироксены – 2,3%; полевые шпаты – 5,3%; слюды – 17,5%; цеолиты – 4,9%; глинистые минералы – 5,43%.

Проба АН-6: апатит- 35,6%; нефелин – 4,7%; пироксены – 3,6%; полевые шпаты -21,2%; слюды – 13,9%; цеолиты – 4,4%; глинистые минералы – 2,6%.

Отличительной особенностью проб АН-3 и АН-6 было наличие оксидов железа – 1,54% и 3,22% соответственно.

В таблице приведен анализ жидкой фазы пульпы, полученной после измельчения руды на оборотной воде в условиях лабораторно-

го флотационного опыта, с добавлением в измельчение жидкого стекла (ЖСт) в количестве 90 г/т. Содержание твердой фазы в суспензии составило 37,5%, pH=9,5-9,7. Содержание определяемых ионов в оборотной воде составило, мг/л: 22,0 Ca²⁺; 7,6 Al³⁺; 3,0 Fe.

Для понимания источников катионов в водной фазе суспензии апатит-нефелиновой руды была проведена оценка жидкой фазы суспензии минерала в дистиллированной воде при pH=10 (таблица). Также была проведена оценка содержания десорбированных катионов по известной методике при обработке руды 7,5%-ным раствором хлорида калия. Содержание в суспензии твердых частиц в этих опытах составило 31,5% (таблица 3).

Таблица

Содержание ионов в жидкой фазе проб апатит-нефелиновой руды

| Проба руды | Fe(общ), мг/л | Al ³⁺ , мг/л | Ca ²⁺ , мг/л |
|---|---------------|-------------------------|-------------------------|
| В оборотной воде с добавлением 90 г/т ЖСт, pH=9,5-9,7 | | | |
| Проба АН-1 | 13,0 | 29,1 | 13,3 |
| Проба АН-3 | 221,1 | 487,3 | 51,8 |
| Проба АН-6 | 70,1 | 100,6 | 20,3 |
| В дистиллированной воде, pH=10 | | | |
| Проба АН-1 | 5,2 | 34,7 | 10,3 |
| Проба АН-3 | 61,5 | 193,2 | 40,4 |
| Проба АН-6 | 327,0 | 338,7 | 42,5 |
| В 7,5%-ном растворе KCl, pH=10 | | | |
| Проба АН-1 | 0,11 | 0,84 | 33,1 |
| Проба АН-3 | 0,08 | 0,53 | 100,1 |
| Проба АН-6 | 0,10 | 0,05 | 200,2 |

Из полученных результатов видно, что жидкая фаза флотационной пульпы проб руды АН-3 и АН-6 характеризуется высоким содержанием железа и алюминия. Что связано с растворением железозамещающих минералов, вероятнее всего вторично измененных. Высокое содержание железа в пробе АН-6 связано также с наличием в жидкой фазе тонкодисперсных частиц гидроксида железа, которые невозможно отделить повторным центрифугированием и фильтрованием.

При обработке руды раствором хлорида калия наблюдается десорбция значительного количества ионов кальция из руды проб АН-3 и АН-6, в то время как ни десорбции ионов алюминия и железа, ни растворения соответствующих минералов в этом случае не наблюдается. Рассчитанная сорбционная емкость проб руды АН-3 и АН-6 по кальцию составила 0,013 и 0,025 мг-экв/л соответственно.

Проба руды АН-1 характеризовалась минимальными из рассматриваемых проб содержаниями в жидкой фазе определяемых катионов.

Флотацию проб руды проводили в замкнутом цикле с использованием стандартной собирательной смеси включающей смесь талловых масел и синтетический реагент типа Phospholan PE -65.

Из руды пробы АН-1 в виду низкого содержания в ней апатита, не был получен апатитовый концентрат. Максимальное достигнутое содержание P_2O_5 в концентрате составило 32,5% P_2O_5 . Несмотря на сравнимое содержание апатита в руде и близкие особенности ионного состава жидкой фазы, результаты флотации руды проб АН-3 и АН-6 существенно отличались. Из руды АН-3 был получен концентрат с содержанием выше 39% P_2O_5 при извлечении 96,2-97,0%. В то время как из пробы руды АН-6 были получены концентраты с содержанием 38,6 и 39,0% P_2O_5 при извлечении 91,5% и 79,7% соответственно.

Такое различие в результатах флотации очевидно связано с наличием в жидкой фазе пульпы пробы АН-6 именно тонкодисперсных частиц гидроксида железа, которые, осажаясь на поверхности апатита, депрессируют его. Этот вывод подтверждается результатами беспенной флотации чистого апатита (рисунок) при добавлении тонкодисперсного свежесоажденного гидроксида железа.

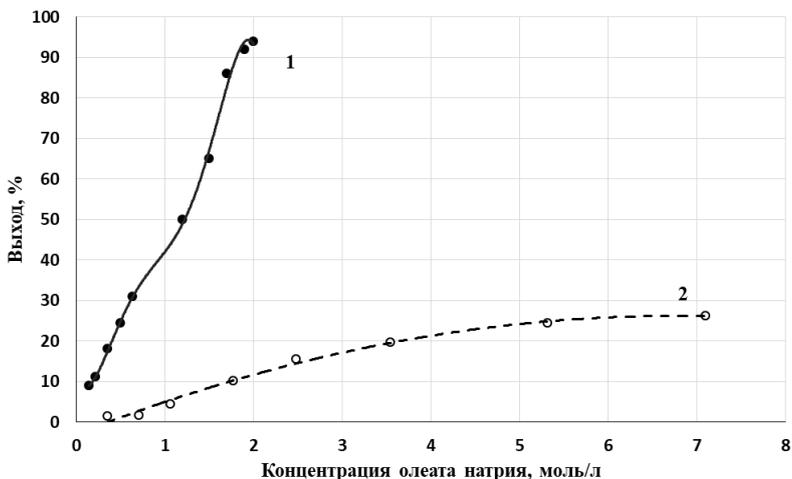


Рис. Результаты беспенной флотации апатита олеатом натрия (1), и в присутствии 0,067 г $Fe(OH)_3$ (2)

Литература

1. Гершенкоп А.Ш., Артемьев А.В. Влияние оборотной воды на флотацию апатито-нефелиновых руд и способы регулирования ее состава// Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2014., №2. С. 36-40.
2. Ruan, Y.; Zhang, Z.; Luo, H.; Xiao, C.; Zhou, F.; Chi, R. Effects of Metal Ions on the Flotation of Apatite, Dolomite and Quartz // Minerals. 2018. №8. 141. <https://doi.org/10.3390/min8040141>.
3. Пеков И.В., Турчкова А.Г., Ловская Е.В., Чуканов Н.В. Цеолиты щелочных массивов. М.: Эксмо. – 2004. – 168 с.
4. Попов В. Г. Абдрахманов Р. Ф. Введение в обменно-адсорбционную концепцию формирования подземных вод: структура и ионообменные свойства глинистых минералов, кинетика процессов // Геологический сборник. – 2014. – № 11. – С. 233-242.

УДК 550.72

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ТИПЫ ФОСФАТИЗИРОВАННЫХ БАКТЕРИЙ В СИРИЙСКИХ МЕЛОВЫХ ФОСФОРИТАХ ПАЛЬМИРЫ

Алзаммар М.¹, Жегалло Е.А.²

¹ РГГРУ им. С. Орджоникидзе,

² Палеонтологический институт
им. А.А. Борисяка РАН, г. Москва

Сирийские фосфориты являются частью крупного и важного в экономическом отношении фосфоритоносного мегабассейна Северной Африки - Ближнего Востока. В этом обширном регионе промышленные месторождения локализованы в отдельных бассейнах, но в целом относящихся к южной периферии Тетиса и восточной – Палеоатлантики [1, 2]. Район исследования расположен в южной части горной цепи Пальмиры (Сирия) и входит в Пальмирский фосфоритоносный бассейн. В районе открытым способом добывают фосфориты месторождений Альшаркия из двух карьеров - А и Б. Продуктивной является толща верхнего кампана [3], формация Саваней, которая является частью группы Сухней. Мощность толщи варьирует от 17 до 317 м, мощность фосфоритовых пластов достигает 10-12 м [4, 5].

Фосфатизированные бактерии различной формы обнаружены в Пальмирских фосфоритах в Сирии, относящихся к позднему мелу

(кампан). Ранее они не изучались и не описаны в работах посвященных сирийским фосфоритам, несмотря на их огромное значение в процессах формирования месторождений фосфоритов.

Ключевые слова: фосфатизированные бактерии, бактериальные формы, микробиолиты, электронная микроскопия, верхний кампан, фосфорит, Пальмира, Сирия.

На основании изучения прозрачных шлифов из руд месторождения Альшаркия установлено, что фосфатные компоненты представлены различными видами фосфатных зерен. Среди них установлены фосфатные оолиты, пеллеты, онколиты, дазикладиевые водоросли, а также фораминиферы, диатомовые водоросли, фрагменты раковин беспозвоночных, много обломков скелетов позвоночных в том числе и зубов рыб, копролиты. Размеры фосфатных зерен по большей части составляют от 0,05 до 0,5 мм, хотя встречаются миллиметровые и редко сантиметровые.

Цемент преимущественно карбонатный: микрокристаллический и мелкозернистый (спаррит), сложен кальцитом и микрокристаллическим доломитом.

При изучении образцов под электронным микроскопом, роль бактерий в образовании и концентрации фосфорита оказывается более важной и существенной в регионе Пальмиры чем предполагалось ранее.

Во многих недавних исследованиях, посвященных Сирийским фосфоритам роль бактерий как существенного фактора их формирования не рассматривалась. Большинство зерен фосфорита представляют собой фосфатизированные фрагменты сообществ бактерий в виде кокков, трубочек, нитевидных форм, а также минерализованного гликокаликса в виде пластинчатых микробиальных пленок и листоватых структур, что свидетельствует о важной роли бактерий не только на стадии осадконакопления, но и позднее, в диагенезе. И эта огромная роль которую играют бактерии в геологических процессах обусловлена их ничтожными размерами, так как бактерии легко проникают в трещины и поры, и они приспособлены к неблагоприятным условиям: высушению, холодам, нагреванию до 80-90°C, не теряя при этом жизнеспособности, а их споры выдерживают кипячение [6].

Авторы разделили эти формы на 5 морфологически отличающихся друг от друга типов бактерий.

Морфологические типы фосфатизированных бактерий и микробиолитов в сирийских меловых фосфоритах Алшаркии включают следующие разновидности:

1. Коккоидные бактерии – фосфатизированные кокковидные бактерии слагают зерна диаметром от 1 до 3,5 мкм, редко до 5 мкм. Они встречаются в виде отдельных зерен, колоний и агрегатов, они разбросаны по поверхности зерен, или находятся в каналах, трубках, и пустотах диаметром 5-15 мкм, которые наблюдались при изучении шлифов при СЭМ (рис. 1-А,Б).

2. Стрептококковидные бактерии – округлые кокковидные бактерии диаметром от 0,3 до 0,8 мкм, собраны в цепочки длиной от 5 до 10 мкм, из-за чисто внешнего сходства названы нами стрептококками (рис.1-В). Они встречаются в трубках и пустотах диаметром от 5 до 20 мкм, а длиной до 40 мкм, также покрывают внутренние стенки этих трубок и пустот. Некоторые из этих пустот выглядят так, как если бы они были вызваны растворением раковин фораминифер и других организмов.

3. Клеточные бактерии – фосфатизированные бактериальные клетки длиной от 1 до 1,5 мкм, и шириной около 0,5 мкм, связанные в виде цепочек, располагаются на внешней поверхности зерен (рис. 1-Г).

4. Овальные (цилиндрические) бактерии – удлиненно-цилиндрической формы с сужающимися концами длиной 7-10 мкм, и диаметром 4-5 мкм (рис.1-Д), по внешнему виду сходны с бациллами (*Bacilli*). Они обнаружены прикрепленными к твердой стенке поверхностных пустот, которые очевидно являлись местами обитания более крупных организмов.

5. Палочковидные бактерии – это бактерии, которые чем-то похожи на предыдущие, но с меньшими размерами, длиной от 1 до 3 мкм, и диаметром около 0,5 мкм (рис.1-Е). Они иногда соединены друг с другом в продольном направлении и выглядят как нити, по форме и размерам напоминающие цианобактерии и пурпурные бактерии.

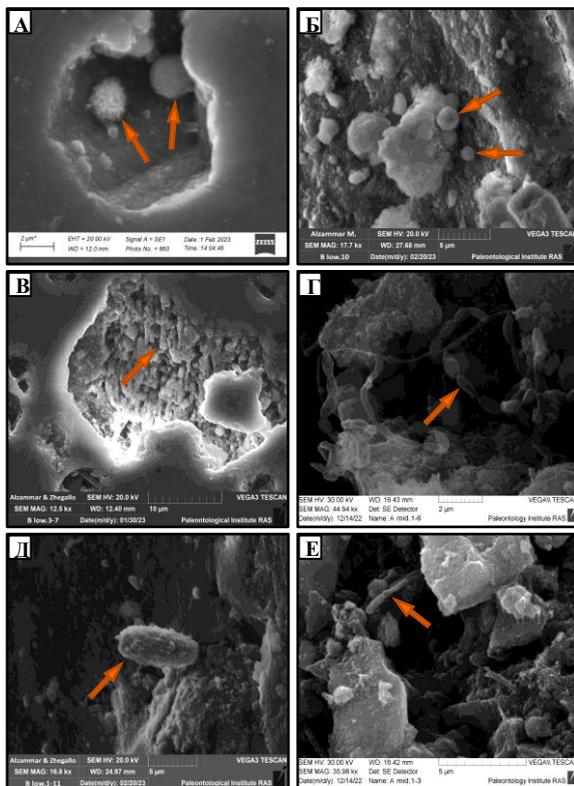


Рис. 1. Фосфатизированные бактерии месторождения Альшаркия, Сирия. А, Б – кокковидные бактерии, В стрептококковидные бактерии, Г – клеточные бактерии, Д – овальные (цилиндрические) бактерии, Е – палочковидные бактерии

Список литературы

1. Природа фосфатных зерен и фосфоритов крупнейших бассейнов мира / Э.Л. Школьник, Тан Тяньфу, Э.А. Еганов, А.Ю. Розанов, Г.Н. Батурин, Е.А. Жегалло, Сюз Яосун, Юй Цунлю, К. Джел, Д. Пайпер, М. Медрано. Владивосток: Дальнаука, 1999. 207 с. 56 - 64.
2. A.Kh. Al Maleh. The geology of the phosphatic deposits in Syria (Senonian and Palaeogene). In: 10th International Field Workshop and Symposium. pp.34-35, Tunis (1987).
3. Al-Maleh, K. and M. Mouty, 1994. Lithostratigraphic characteristics of phosphorite deposits and the regional sedimentational and paleogeographic framework of their formation in the Palmyrides mountain chain, Middle Syria. Proceedings of the 29th International Geological Congress, part C, VSP, p. 225–235.

4. A.Kh. Al Maleh and M Mouty. The sedimentary and paleogeographic evolution of the Palmyridean region during Cretaceous, In: Proceedings 3rd Jordan Geological Conference. pp.213-244 (1988).

5. A.Kh. Al Maleh. The geology of the phosphatic deposits in Syria (Senonian and Palaeogene). In: 10th International Field Workshop and Symposium. pp.34-35, Tunis (1987).

6. Антошкина А.И., Бактериальное породообразование - реальность современных методов исследований. Ученые записки казанского университета, Естественные науки, Том 153, кн. 4, 2011г. С. 114-126.

УДК 622.765.061

ПОВЫШЕНИЕ СЕЛЕКТИВНЫХ СВОЙСТВ ВОДОРАСТВОРИМОГО ПОЛИМЕРА МЕТОДОМ ТВЕРДОФАЗНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ

Гегман В.В., Каркешкина А.Ю.

ИПКОН РАН, г. Москва

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

Создание и разработка новых реагентов сложный и наукоемкий процесс, требующий масштабных научно-исследовательских работ. Одним из перспективных направлений для расширения ассортимента флотационных реагентов - это модификация хорошо изученных и широко применяемых реагентов.

Водорастворимые полимеры (ВП) чувствительные к изменению температуры привлекательны в качестве нового класса реагентов при флотации. Водорастворимые полимеры широко применяются во многих областях науки и техники в качестве структурообразователей (загустителей), разжижителей (диспергаторов), флокулянтов, вызывающих образование флоккул из мелких коллоидных частиц дисперсной фазы [1]. Некоторые ВП зарекомендовали себя в качестве флотационных регуляторов, обладающих флокулирующей или депрессирующей активностью.

Поскольку селективность органических реагентов связана с наличием функциональных групп, которые обеспечивают возможность взаимодействия с ионами металлов и минералов, с последующим изменением их гидрофобности, то наибольшей практической ценностью обладают водорастворимые полимеры с комплексообразующими

группами, способные образовывать устойчивые хелатные комплексные соединения с ионами металлов.

В ИПКОН РАН разработана методика флотационного выделения тонкодисперсных минеральных продуктов, содержащих ценные компоненты, в присутствии термочувствительных полимеров. В качестве нового флотационного реагента для извлечения тонкоизмельченных продуктов флотации, содержащих цветные и благородные металлы, исследован водорастворимый полимер поли-N-винилкапролактан (ПВК) [2, 3].

Повышение селективных свойств ПВК проводили методом твердофазной модификации [4]. Модифицирующим агентом выступил морфолиндитиокарбамат (МДТК). Ранее [5] изучена способность МДТК к комплексообразованию с Au в условиях близких к флотационным. Методами УФ-спектрофотометрией, SLM и ASEM-микроскопией подтверждена адсорбция МДТК на поверхности золотосодержащих сульфидов.

Изучены физико-химические свойства модифицированного полимера (ПВКмдтк). Термочувствительные свойства ПВКмдтк т.е. обратимость процесса при нагревании и остывании соответствует исходному ПВК и лежит в пределах 32-34°C.

С помощью растровой электронной микроскопии и локального рентгеноспектрального микроанализа изучена адсорбция ПВКмдтк на поверхности аншлифов галенита, халькопирита и пирита (рисунок 1).

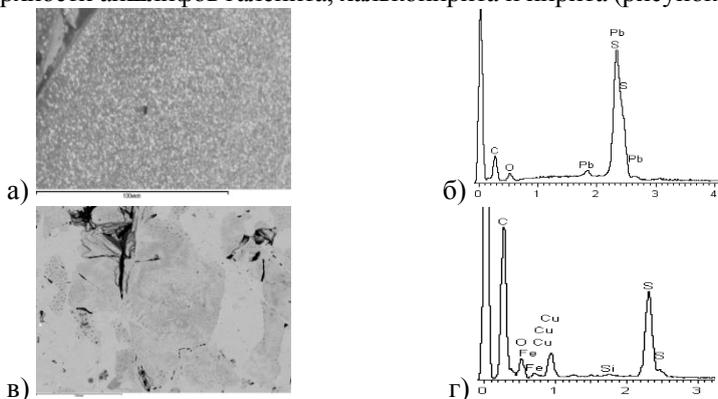


Рис. 1. Микрофотографии участков аншлифа галенита (а) и халькопирита (в) после контакта с раствором ПВКмдтк, полученного на аналитическом микроскопе LEO 1420VP и рентгеновские спектры участков (б,г). 100 мкм

Анализ микрофотографий аншлифов галенита и халькопирита показал наличие адсорбированного ПВКмдтк, что подтверждается рентгеновскими спектрами новообразований. Помимо характерных пиков свинца, серы для галенита и железа, меди, серы для халькопирита, выявлены пики С и О, свидетельствующие об адсорбции реагента ПВКмдтк. На поверхности аншлифа пирита новообразования не выявлены.

Флотационную активность халькопирита, галенита и пирита изучали методом мономинеральной флотации на измельченных мономинеральных порошках крупностью $-0,063+0,044$ мм. Экспериментальные данные приведены на рисунке 2.

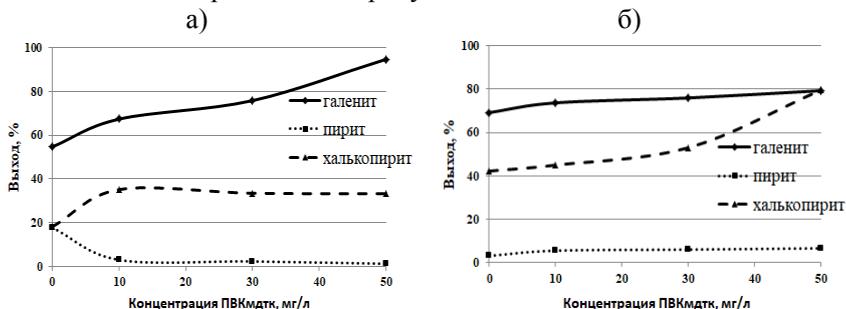


Рис. 2. Результаты сравнительной мономинеральной флотации пирита, арсенопирита, сфалерита, халькопирита и галенита от концентрации ПВКмдтк при pH 5,8 (а) и 10,5 (б)

ПВКмдтк как самостоятельный реагент в слабокислой среде (pH 5,8) рисунок 2 (а) гидрофобизирует поверхность галенита выход возрастает на 40%, при этом практически не изменяет свойств поверхности халькопирита и пирита. При флотации в щелочной среде (pH 10,5), выход галенита и халькопирита возрастает практически до 80%, при этом пирит практически не флотируется, что в условиях рудной флотации будет улучшать качество получаемых концентратов.

Таким образом, твердофазное модифицирование водорастворимых полимеров позволяет повысить их селективность по отношению к минералам цветных металлов и улучшить показатели флотации.

Список литературы

1. Низова С.А., Чепикова М.В. Водорастворимые полимеры. Структура, получение, свойства, применение РГУНиГ им Губкина. Материалы учебного пособия, Москва 2011 г.
2. Матвеева Т.Н., Гетман В.В., Каркешкина А.Ю. Исследование применения поливинилкапролактама в реагентном режиме флотации золота //

Цветные металлы. – 2021. – № 8. – С. 15-20. DOI: 10.17580/tsm.2021.08.02. ISSN: 0372-2929. Scopus 2020 SJR - 0,332 (Q2).

3. Гетман В.В., Каркешкина А.Ю. Применение поливинилкапролактама в процессе флотационного обогащения сульфидных руд // Инновационные процессы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья. Материалы международной конференции. - 2020. - С 173-176.

4. Твердофазный синтез металлооксидных порошков: учебно-методическое пособие /Э.И. Денисова, В.В. Карташов, В.Н. Рычков. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2008. 31 с.

5. Матвеева Т.Н., Громова Н.К., Ланцова Л.Б. Экспериментальное обоснование собирателей класса циклических и алифатических дитиокарбаматов для извлечения золотоносных сульфидов из комплексных руд // ФТПРПИ. - 2021. - № 1. - С. 137 - 145.

ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ АПАТИТА, КАЛЬЦИТА, НЕФЕЛИНА ПОД ВЛИЯНИЕМ ИОНОВ ФЛОТАЦИОННОЙ ПУЛЬПЫ

Кагарманова Г.Д.², Артемьев А.В.¹, Митрофанова Г.В.^{1,2}

¹ *ГоИ КНЦ РАН,* ² *Мурманский арктический университет, г. Апатиты*

Флотация является одним из самых распространенных способов обогащения различных типов руд. Состояние поверхности разделяемых минералов, изменение поверхностных свойств под действием реагентов представляют собой важную характеристику для оценки эффективности флотационного процесса. Основным источником сведений о поверхностном заряде минерала являются измерения дзета-потенциала (ζ). Знак и величина электрокинетического потенциала зависят от многих параметров изучаемого минерала и раствора, таких как рН, концентрация ионов, температура, свойства поверхности минерала, вязкость и т.д. [1].

В настоящей работе рассмотрена возможность использовать для описания состояния поверхности минералов под действием различных реагентов величину суспензионного эффекта. Суспензионный эффект (СЭ) определяли как разницу между значениями рН исходной суспензии минерала и ее фильтрата по истечении двухчасового контакта.

$$\Delta pH = pH_{\text{сусп}} - pH_p$$

Количественная оценка зависимости суспензионного эффекта от рН позволяет определить точку изoadсорбционного состояния минерала (ИАТ).

Основными источниками важного фосфорсодержащего минерала апатита являются апатит-нефелиновые и апатит-карбонатные руды, обогащение которых ведется флотационным способом. Ввиду этого представляет интерес оценка поверхностных свойств разделяемых минералов под влиянием ионов флотационной пульпы. В настоящей работе представлены результаты оценки суспензионного эффекта и положения изoadсорбционной точки апатита, кальцита и нефелина. Согласно литературным данным знак суспензионного эффекта противоположен знаку ξ -потенциала [2]. Положение изoadсорбционной точки ($\Delta pH=0$) отражает соотношение основных и кислотных центров на поверхности.

Положение изоионных точек апатита, кальцита и нефелина, полученное при измерении СЭ (рисунок 1), коррелирует с литературными данными [3,4,5]. Поверхность апатита и нефелина характеризуется небольшим избытком кислотных центров: для апатита $pH_{ИАТ} = 6,7$, для нефелина $pH_{ИАТ} = 6,4$. Для кальцита характерно значительное преобладание основных центров - $pH_{ИАТ} = 9,0$.

Известно, что потенциалобразующие ионы способны адсорбироваться на поверхности минерала, тем самым изменяя поверхностные свойства. Ввиду этого была проведена оценка суспензионного эффекта тех же минералов под действием катиона кальция, и гидрофосфат-, карбонат-, сульфат- анионов (таблица 1).

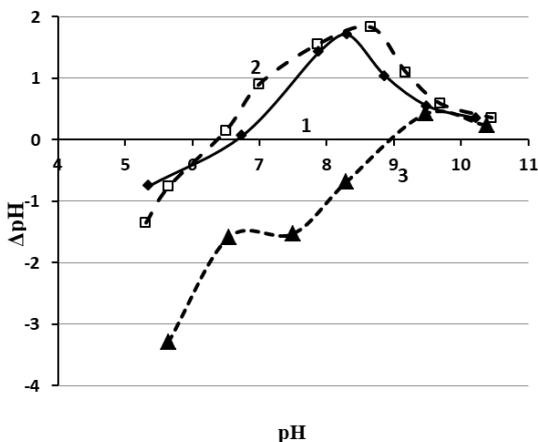


Рис. 1. Суспензионный эффект апатита (1), нефелина (2), кальцита (3)

Таблица 1

Положение изoadсорбционной точки минералов под действием различных ионов

| Минерал | Положение изoadсорбционной точки pH _{ПАТ} | | | | |
|---------|--|---|--|---|-------------------------------|
| | в воде | CO ₃ ²⁻ , 100 мг/л | HPO ₄ ²⁻ , 100 мг/л | SO ₄ ²⁻ , 200 мг/л | Ca ²⁺ , 40 мг/л |
| Апатит | 6,7 | 7,65 | 7,2 | 9,0 | 6,3 |
| Нефелин | 6,4 | 10,0 | 8,0 | 6,6 | 6,2 |
| Кальцит | 9,0 | 8,9 | 8,95 | 9,2 | 8,7 |

Из данных таблицы видно, что в результате адсорбции катионов кальция количество основных центров на поверхности минералов уменьшается. Изoadсорбционная точка сдвигается в сторону меньших значений pH. Влияние анионов проявляется по-разному. Для кальцита смещение изoadсорбционной точки в щелочную область проявляется в присутствии сульфат-иона. Для апатита и нефелина изoadсорбционная точка смещается в более щелочную область в присутствии всех анионов, что говорит об уменьшении количества основных центров на поверхности минералов в результате закрепления этих ионов на поверхности.

Интересный результат был получен при оценке адсорбции фосфат-иона на апатите в зависимости от pH (рисунок 2). Как видно, зависимость от pH имеет явно выраженный минимум при значении pH, близком к значению pH изoadсорбционной точки апатита в присутствии фосфат-ионов.

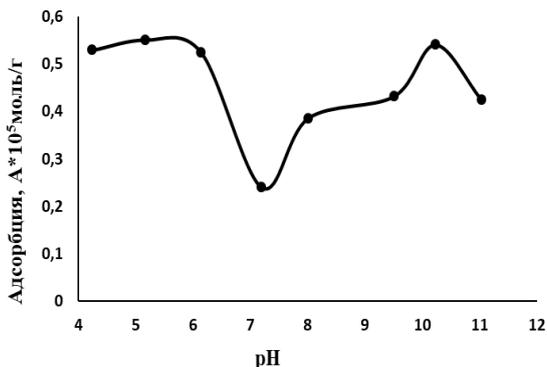


Рис. 2

Фосфат-ионы, закрепляясь на поверхности апатита, депрессируют его, значительно снижая выход и качество апатитового концентрата (таблица 2).

Таблица 2

Результаты флотации апатита (%) в открытом цикле при добавлении в пульпу фосфата натрия.

| Концентрация PO_4^{3-} в ОБ, мг/л | Пенный основной флотации | | Концентрат 2 перерешетки | | |
|--|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| | $\beta_{\text{P}_{205}}$ | $\varepsilon_{\text{P}_{205}}$ | γ | $\beta_{\text{P}_{205}}$ | $\varepsilon_{\text{P}_{205}}$ |
| 7 | 32,82 | 93,2 | 27,9 | 39,82 | 89,8 |
| 17 | 32,61 | 81,8 | 21,2 | 39,43 | 67,6 |
| 57 | 30,30 | 42,9 | 3,8 | 38,07 | 11,7 |

Литература

1. Fuerstenau A review of the measurement of streaming potentials, *Miner. Sci. Eng.*, 1973, № 5, P.267–277.

2. Чернобережский Ю.М. Об исследовании суспензионного эффекта и устойчивости дисперсных систем в связи с их электроповерхностными свойствами // *Вестник ЛГУ*, – 1981, – № 4, С. 60– 62.

3. P. Somasundaran, Y.H.C. Wang Surface chemical characteristics and adsorption properties of apatite, in: D.N. Misra (Ed.), *Adsorption on and Surface Chemistry of Hydroxyapatite*, Plenum Press, New York, 1984, P. 129–149.

4. Al Mahrouqi, D., Vinogradov, J., Jackson, M. D. Zeta potential of artificial and natural calcite in aqueous solution// *Advances in Colloid and Interface Science*, 2017, №240, P.60–76. doi:10.1016/j.cis.2016.12.006

5. Брыляков Ю.Е. Развитие теории и практики комплексного обогащения апатит-нефелиновых руд Хибинских месторождений: специальность 25.00.23 «Обогащение полезных ископаемых»: дисс. на соискание ученой степени доктора технических наук, Кировск - 2004 г. - 308 с.

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ СОСТАВОВ БЕНТОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

Ветюгов Д.А.^{1,2}, Матвеева Т.Н.²

¹ООО «Бентонит Хакасии», г. Черногорск, ²ИПКОН РАН, г. Москва

Представлены результаты исследований новых составов бентополимерных композиций для использования в процессе окомкования железорудных окатышей Стойленского ГОКа. Рассматриваемые бентополимерные композиции являются смесью органического полимера и бентонитовой глины, обладающей улучшенными связующими и упрочняющими свойствами.

Бентонит является традиционным связующим для производства железорудных окатышей [1] и состоит из тонкодисперсных глин,

представленных не менее чем на 70% минералами группы смектита (в основном монтмориллонита), который относится к подклассу слоистых силикатов и состоит, %: 48–56 SiO₂; 11–22 Al₂O₃; 0–5 и более Fe₂O₃; 4–9 MgO; 0,8–3,5 и более CaO; 12–24 H₂O [2]. Применение бентонита обеспечивает гарантированные прочностные характеристики сырых и обожженных окатышей, отвечающие требованиям транспортировки, доменного процесса или металлизации [3]. Основным недостатком бентонита и других связующих на основе силикатных минералов является повышение содержания кремнезема в готовых окатышах в результате их применения. По данным работы [4], повышение содержания кремнезема может также привести к заметному увеличению расхода кокса, что отразится на себестоимости производства чугуна и стали. В случае окатышей для прямовосстановленного железа (ПВЖ) каждый процент добавления кислой пустой породы повышает потребление энергии на 30 кВт·ч/т [4]. Перечисленные негативные факторы преопределили долгосрочный интерес к разработке новых связующих, не содержащих диоксид кремния, т.е. лишенных перечисленных выше недостатков.

В настоящее время в разной степени опробованы и применяются в промышленности следующие альтернативные органические связующие: анионные сополимеры акриламида на нефтехимической основе (например, Floform 1049V производства SNF Floerger), карбоксиметилцеллюлоза натрия (например, КМЦ Peridur XC3), гуминовые вещества, лигносульфонаты (например, Lignibind DP001 производства Lignotest SA), молочные отходы, шламы целлюлозно-бумажного производства, патока (меласса) [5], тяжелые углеводороды, гуаровая камедь, декстрин и модифицированный крахмал [6,7]. Необходимо отметить, что большинство органических связующих из отходов различных производств разрабатывали, в том числе и с целью снижения переплаты за транспортировку в общей стоимости связующего (для США от 10%, в РФ — кратно больше). Основным недостатком органических связующих по сравнению с традиционным бентонитом является их полное выгорание (с остатком или без) в процессе обжига сырых железорудных окатышей при температурах, не достигающих и 300 °С, что отрицательно влияет на прочностные характеристики готовых обожженных окатышей. Наиболее рациональным решением стало использование бентополимерных композиций (БПК), реологические свойства основных типов которых впервые были изучены и систематизированы Д.Ю.Усольцевым

[8], который разработал и научно обосновал способы раздельного ввода полимерной и бентонитовой составляющих в шихту для окомкования.

Целью данной работы является испытание новых составов бентополимерных связующих для использования в процессе окомкования железорудных окатышей Стойленского ГОКа.

В качестве основного компонента БПК использована активированная щелочью бентонитовая глина месторождения 10-й Хутор (Республика Хакасия). В качестве полимерных связующих изучали отечественные высоковязкие полимеры, используемые для улучшения вязкостных и фильтрационных характеристик буровых растворов (в состав которых также входит бентонит). На стадии поисковых исследований отобраны две наиболее перспективные полимерные добавки № 1 и № 3. Номер полимерной добавки соответствует номеру БПК, в которой она используется. Характеристика полимеров, применяемых для производства БПК, приведена в **табл. 2**. Для испытаний по окомкованию железорудной шихты АО «СГОК» в качестве связующих добавок подготовлены два образца БПК (БПК-1, БПК-3), характеристики которых приведены в **табл. 3**

Таблица 2

Характеристика полимеров, применяемых для производства БПК.

| Наименование | Производитель | Массовая доля влаги, % | Эффективная вязкость 1% суспензии, мПа*с | Массовая доля класса крупности -0,071, % |
|-----------------------|---------------|------------------------|--|--|
| Полимерная добавка №1 | РФ | 7,6 | 191,0 | 85,4 |
| Полимерная добавка №3 | РФ | 7,0 | 37,0 | 13,6 |

Таблица 3 – Качественные характеристики бентонита и бентополимерных композиций

| Наименование материала | Массовая доля влаги, % | Индекс набухания, мл/2г | Эффективная вязкость, мПа·с |
|------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Бентопорошок АО «СГОК» | 8,32 | 25,36 | 50,0 |
| БПК - 1 | 8,36 | 37,16 | 122,0 |
| БПК - 3 | 8,30 | 39,30 | 135,5 |

Результаты исследований качественных характеристик сырых и высушенных железорудных окатышей с применением композиций БПК-1 и БПК-3 приведены на рис.1 В качестве базового эксперимента использованы результаты получения окатышей из шихты текущего производства фабрики окомкования АО «СГОК».

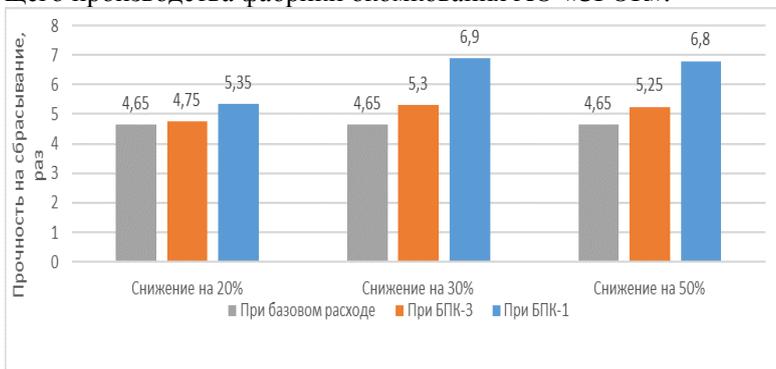


Рис. 1 Прочность сырых окатышей на сбрасывание

В базовом эксперименте (при расходе бентонита 0,72%) получены сырые окатыши с долей влаги 8,44% (мас.), долей класса $-12,5+8$ мм 86,85% (мас.), эквивалентным диаметром $D_{экв.} = 9,81$ мм, прочностью на сжатие — 1,23 кг/ок., прочностью на сбрасывание — 4,65 раз. Прочность сухих окатышей 3,03 кг/ок. ($T_{суш} = 105^{\circ}C$) и 7,24 кг/ок. ($T_{суш} = 300^{\circ}C$). В ходе испытаний определяли возможность снижения расхода бентонита на 20, 30 и 50% путем ввода в шихту БПК и выбора наиболее эффективных БПК для дальнейших исследований. При использовании БПК-1 с различными соотношениями полимера и бентонита наблюдали увеличение прочностных характеристик сырых окатышей: до 90–94% (мас.) класса $-12,5+8$ мм, до 10–11 мм $D_{экв.}$, до 1,51 кг/ок. (на 24% выше базовой) прочности на сжатие, до 6,9 раз (на 48% выше базовой) прочности на сбрасывание. Прочность сухих окатышей повысилась до 8,18 кг/ок. (на 13% выше базовой) в результате сушки при $300^{\circ}C$. При использовании БПК-3 изменение характеристик окатышей имело разнонаправленный характер. Прочностные характеристики сырых окатышей на раздавливание и сбрасывание остались на уровне базовых значений, высушенных окатышей при $T_{суш}=300^{\circ}C$ снизились по отношению к базовым показателям в среднем на 1,59 кг/ок.

Таким образом, в результате проведенных лабораторных испытаний установлено, что наиболее эффективной является композиция

БПК-1 с расходом в шихту 0,5% (абс.), что на 30% (отн.) меньше базового расхода бентонита. Применение БПК в составе шихты является перспективным направлением для производства железорудных окатышей с улучшенными прочностными характеристиками. Снижение дозировки связующего позволяет реализовать тенденцию к повышению содержания железа в окатышах и снижению массовой доли пустой породы в них, что создаст условия для роста эффективности их дальнейшей переработки.

Авторы выражают признательность коллективу лаборатории окомкования ООО «Бентонит Хакасии» и лично руководителю проекта «Бентонит в производстве металлургического сырья» В.И.Лебедевой за оказанную помощь при проведении исследований.

Библиографический список:

1. Ветюгов Д.А., Русский А.В., Жигарев В.В. Бентонит – минеральное сырье для производства железорудных окатышей // Сборник трудов 5 международной научной школы «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр». Под редакцией академика РАН К.Н. Трубецкого // Составители: канд. техн. наук А.В.Шляпин, канд. техн. наук А.Г. Красавин, канд. техн. наук Н.А.Милегенко – М.: ИПКОН РАН. – 2022. – 404 с. (с.186-190).
2. Дорошенко М.В., Башлыкова Т.В. Технологические свойства минералов. Справочник для технологов. – М.: Теплоэнергетик, 2007. – 296 с. (с. 220).
3. Hao Liu, Bing Xie, and Yue-lin Qin. Effect of Bentonite on the Pelleting Properties of Iron Concentrate // Journal of Chemistry. Volume 2017, Article ID 7639326.
4. Sivrikaya, O.; Arol, A.I. Alternative binders to bentonite for iron ore pelletizing - Part I: Effects on physical and mechanical properties // Holos, vol. 3, 2014, pp. 94-103
5. Anand Babu Kotta et al; Characterization of iron ore pellets with dextrin added organic binders under different time and temperature conditions. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 178 012003 (2017).
6. Halt, J.A., Kawatra, S.K. Review of organic binders for iron ore concentrate agglomeration. Mining, Metallurgy & Exploration 31, 73–94 (2014).
7. Wang, C., Xu, Cy., Liu, Zj. Et al. Effect of organic binders on the activation and properties of indurated magnetite pellets. Int J Miner Metall Mater 28, 1145–1152 (2021).
8. Усольцев Д.Ю. Исследование влияния бенто-полимерных композиций на свойства железорудных окатышей и совершенствование на этой основе технологии подготовки шихты для их производства: дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук: 05.16.02 / Екатеринбург, 2007.- 165 с.: ил. РГБ ОД, 61 07-5/5336.

ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ИЗБЫТОЧНЫХ РАССОЛОВ НА КАЛИЙНЫХ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Гапчич А.О.¹, Новиков И.С.²

¹ ИПКОН РАН, г. Москва, ² БФУ им. И.Канта, г. Калининград

Основными промышленными методами утилизации избыточных рассолов на калийных горно-обогатительных комбинатах являются: вакуум-выпаривание рассолов с последующей кристаллизацией солей, закачка в глубокие поглощающие горизонты, закладка в отработанное пространство рудника (гидрозакачка, литая твердеющая закладка). Также в отдельных случаях применимы обратный осмос и термогидролиз бишофитового шелока с получением оксида магния и соляной кислоты.

Вакуум-выпаривание избыточных растворов осуществляется в многокорпусной выпарной установке или в однокорпусном аппарате с рециркуляцией греющего пара тепловым насосом (механическая рекомпрессия пара). Технология обратной закладки представляет собой гидротранспорт или литую твердеющую закладку отходов обогатительной фабрики в отработанное пространство шахты. Таким образом, побочные продукты размещаются в отработанных пустотах рудника, сокращая площади, отчуждаемые для размещения данных объемов на поверхности и уменьшая экологическую нагрузку на зону рядом с производством.

Использование технологии закачивания избыточных рассолов базируется на методике возврата подтоварных нефтяных вод и к настоящему моменту является достаточно отработанным способом. Основные требования – максимальное соответствие химического состава воды исходному составу флюида и соблюдение температурного режима для предотвращения повышенного выпадения солей на оборудование и в призабойную зону скважины. Для калийных предприятий принятие решения по закачке требует достаточно детальной, затратной и длительной по времени проработки – поиск подходящего пласта-коллектора, обоснование закрытости и герметичности резервуара, его защищенности с точки зрения тектонических и иных геологических факторов, изучение емкостных свойств резервуара, пластового давления, проницаемости и эффективной пористости

пород, вещественного состава коллектора, его инертности по отношению к закачиваемым рассолам. Обязательным этапом являются натурные испытания на опытных скважинах в течение 1,5–2 лет (анализ влияния сезонных изменений), которые позволяют получить конкретные параметры приемистости скважины и выполнить расчеты комплекса по закачке. Минимальное количество скважин – рабочая, наблюдательная (резервная), мониторинговая [1].

Дополнительной мерой может являться также технология обратного осмоса. Он относится к группе баро-мембранных технологий. Движущей силой процесса является разница давлений по обе стороны полупроницаемой пористой мембраны. В процессе работы на поверхности и в порах мембраны постепенно накапливается большое количество загрязнений. Этот осадок снижает производительность установки. Восстановить производительность установки можно, проведя цикл регенерации мембран. Несмотря на наличие промышленных установок, обратный осмос не нашел практического применения на калийных предприятиях.

Эксплуатационные расходы выпарной установки в значительной степени определяются потребляемой энергией. В целом, рассматривая мировые тенденции по переходу предприятий на «зеленое производство», внедрение таких инструментов, как углеродные налоги и системы торговли квотами (СТК, emissions trading system, ETS), целесообразно рассматривать комбинированный подход с ранжированием всего объема перерабатываемых рассолов [1, 2]. Например, возможное решение по утилизации избыточных рассолов больших рассолохранилищ (объемом более 3 млн м³ в год) – это применение узла выпаривания с получением технической соли и УЗИР с соотношением 60 на 40%. Данная пропорция определяется наличием поглощающих горизонтов и их приемистостью, а также сравнительным анализом капитальных затрат на выпаривание и УЗИР. Существующие технологии обратной закладки отходов процесса обогащения имеют ряд особенностей (рисунок 1). В первую очередь ограничивающим фактором может являться объем свободного подземного пространства. Как следствие, критическое значение для утилизации отходов данным способом приобретает календарный план работ по месторождению.

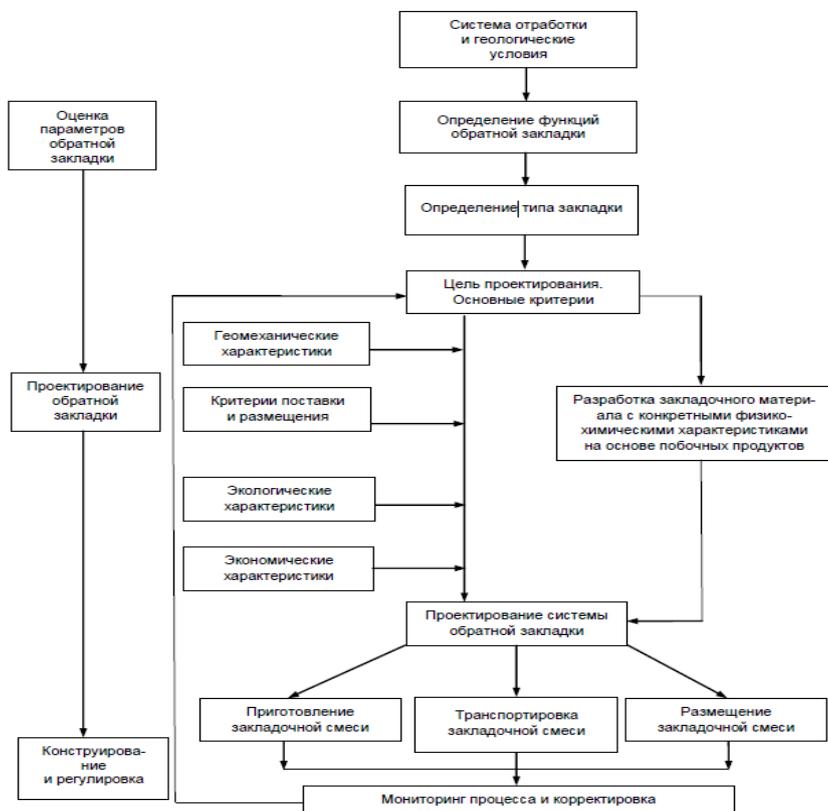


Рис. 1. Принципиальная блок-схема обратной закладки на калийных горно-обогатительных комбинатах

Изучая в целом вопрос оптимальности выбора технологии утилизации избыточных рассолов на калийных предприятиях, следует учитывать целый комплекс факторов. Так, важное значение имеют не только эффективность доизвлечения полезных компонентов из отработанных рассолов, проблема обеспечения экологической безопасности производства, а также обеспечение стабильности горного массива твердеющей обратной закладкой, но и экономические затраты на реализацию данных мероприятий [3].

В первую очередь стоит сказать о том, что затраты на каждую из обозначенных схем могут быть капитальные и переменные. Например, к капитальным затратам могут быть отнесены: создание поверхностного закладочного комплекса, установка на предприятиях

системы когенерации и тригенерации, покупка лицензии на закачку в глубокие горизонты и т. д. К переменным затратам можно отнести: покупку дополнительных реагентов и вяжущих компонентов, расходных материалов, оплату налогов и сборов. Частично данные затраты могут компенсироваться за счет появления дополнительных объемов продукции для реализации или снижением отчислений за побочную нереализованную продукцию (рациональным использованием недр).

Таким образом, с математической точки зрения рассматриваемую проблему можно представить как ряд функциональных зависимостей (рисунок 2). С одной стороны, поиск минимального значения площади из функций (в упрощенной схеме это двумерная модель, результирующими которой являются капитальные и операционные затраты на технологические процессы), а с другой стороны, как наиболее эффективное соотношение объемов утилизируемого материала к энергетическим затратам.

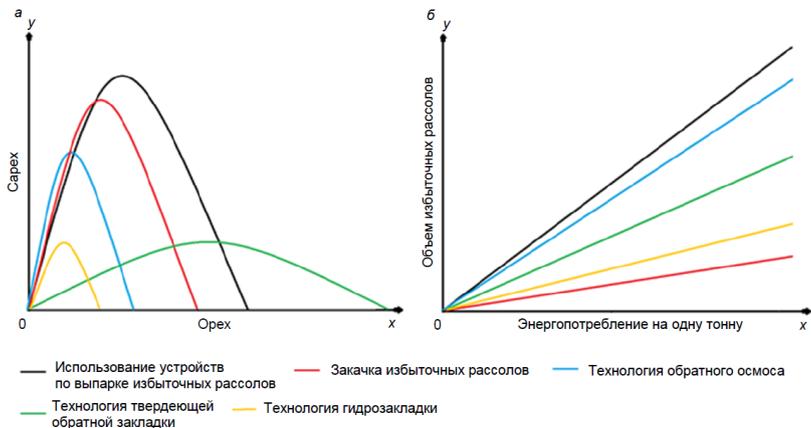


Рис. 2. Обобщенные зависимости: а – объема капитальных и операционных затрат при применении различных технологий утилизации избыточных рассолов; б – объема утилизации избыточного рассола от потребления энергии на одну тонну утилизируемого вещества

На предприятии может существовать одно технологическое решение по утилизации избыточных щелоков, и тогда оно будет определяться описанным способом. Однако, как правило, компания решает не только задачи минимизации финансовых затрат на утилизацию,

но и ряд технических и технологических задач (обеспечение геомеханической стабильности обрабатываемого шахтного поля, обеспечение экологичности процессов утилизации, рациональное освоение недр). Данные факторы могут значительно влиять на выбор той или иной технологии по утилизации избыточных щелоков. Как правило, по различным причинам на калийных комбинатах может одновременно применяться несколько технологий.

Геоэкологическое обеспечение безопасности и стабильности развития территории, на которой находится подобное производство, требует проведения комплексных исследований на возможность применения перечисленных методов.

Моделирование показывает, что для предприятий, производящих калийные удобрения на основе шахтной добычи, оптимальное сочетание технологий по объемам утилизации избыточных щелоков составляет: 60% утилизируются путем использования вакуум-выпарных установок, 20% – при помощи закачки избыточных рассолов, 10–20% приходится на технологии обратной закладки или получение дополнительной продукции.

Список литературы

1. Щербань, П.С., Гапчич А.О., Жданов А.В, Летуновская О.Н. Комплексный подход к повышению эффективности утилизации избыточных рассолов на калийных горнодобывающих предприятиях // Известия УГГУ. 2022. Вып. 1(61). С. 102–111
2. Разумович, С.В. Анализ экономических перспектив разработки месторождений полиминеральных солей в Калининградской области / С.В. Разумович // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2018. – № 10-2. – С. 64-69. – DOI 10.24411/2411-0450-2018-10089.
3. Каплунов Д. Р., Радченко Д. Н. Принципы проектирования и выбор технологий освоения недр, обеспечивающих устойчивое развитие подземных рудников // Горный журнал. 2017. № 11. С. 121–125.

УДК 622.234.42

ПОДЗЕМНОЕ И КУЧНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ МЕДНО-КОЛЧЕДАНОВЫХ РУД

Бектибаев У.А., Исмаилова А.А., Жалгасулы Н.

ИГД им. Д.А. Кунаева, г. Алматы, Казахстан

Переработка руд кучным и подземным выщелачиванием осуществляется ныне более чем на 60 предприятиях США, Замбии,

Австралии, Чили, Испании, Португалии, Зимбабве, Мексики, производящих более 650 тыс. т меди в год. Количество предприятий с гидрометаллургическим производством меди в этих странах непрерывно растет.

Основанием этому является:

- существенное снижение содержания меди в исходном природном сырье, увеличение вредных примесей, повышение требований к охране воздушного и водного бассейнов;

- появление новых гидрометаллургических процессов, таких, как автоклавное и бактериальное выщелачивание, экстракционные и сорбционные процессы концентрирования и разделения металлов.

Новые процессы позволили сократить время перевода металлов в раствор, упростить их выделение из него с высокой степенью селективности, повысить комплексное использование сырья.

В настоящее время имеется широкая научная и опытная база по освоению гидрометаллургической переработки различных медь- и цинксодержащих руд, составлена номенклатура устойчиво работающего оборудования и химических реагентов [1].

Для выщелачивания используются различные растворы, в том числе вода, растворы кислот, щелочей, аммиака и т.д. Для окисления меди используются растворы $Fe_2(SO_4)$ или $FeSO_4$, а также смесь серной кислоты с раствором одной из этих солей. Интенсивность процесса выщелачивания зависит от соотношения окисленных и сульфидных минералов в руде и степени ее предварительного дробления. Сульфидные минералы менее растворимы и требуют дополнительных способов подготовки, например искусственного окисления (обжига) или окисления с помощью микроорганизмов типа *Th. ferrooxidans*, которые регенерируют раствор $Fe_2(SO_4)_3$. При бактериальном и химическом (с применением сульфата окиси железа) выщелачивании руд, содержащих сульфиды меди (пириты, халькопириты), роль бактерий заключается в окислении сульфидов до сульфатов и регенерации раствора с окислением избытка железа [2-4].

Превод металлов в раствор является первой частью гидрометаллургической схемы. Второй частью является его выделение из раствора, чаще всего бедного. Для выделения меди из растворов институтом «Унипромедь» (Россия) разработан и внедрен барабанный цементатор, позволяющий в десятки раз увеличить производительность процесса разделения относительно широко применяющихся желобов для отсадки меди на железном ломе.

В настоящее время доказано, что подземное выщелачивание относится к рентабельным производствам даже при малой производительности, при этом себестоимость меди значительно снижается относительно существующих пирометаллургических процессов.

Медно-колчеданное месторождение «50 лет Октября», на базе которого строится горнодобывающее предприятие АО «Коктау», расположено в пределах Мугоджарского меднорудного района Актюбинской области. На месторождении выделены три рудные залежи: Южная, Центральная и Северная. В Южной залежи наибольшие запасы - 39 млн т (С +С2) при среднем содержании меди 1,88%, серы 37,2%. Форма залежи линзообразная, падение под углами от 10 до 750. В Центральной залежи запасы составляют 2,6 млн. т с содержанием меди 1,21 % и серы 35,6%. Руды относятся к первичным сульфидным колчеданным образованиям халькопиритного, халькопирит-пирротинового и пиритного состава. Содержание меди по месторождению колеблется от 0,72 до 5,39%, среднее расчетное содержание меди 1,64%, серы 37%, железа 20%, цинка 1,2%, теллура 4 г/т, галлия 9 г/т, селена 73г/т, кобальта 0,031% среднее содержание мышьяка 0,013%, фтора 0,01%.

Глубина залегания рудной залежи, согласно общему углу падения, нарастает от 100 до 400 м. По проекту предусмотрена открытая отработка с выемкой 81% руды. Ожидаемые водопритоки трещинных вод в карьер составляют 380-390 м³/час. Средний коэффициент вскрыши 9,4 м³/м³ или 2,5 м³/т. Для обеспечения производительности карьера 2,3 млн т/в год потребуется ежегодно выполнять вскрышных работ в объеме 7 млн т. К месторождению подведена железная дорога протяженностью 60 км, а также автодорога 70 км. Построена линия электропередачи 110 КВ. Водоснабжение рудника запроектировано из Кзыл-Камского месторождения подземных вод расположенного в 10 км от промплощадки рудника. Для повторного использования карьерной воды предусмотрены специальные отстойники.

В качестве альтернативы открытому способу добычи руды для отработки данного месторождения предлагается скважинная технология подземного выщелачивания меди с двухстадийным ведением технологического процесса. Для полноты отработки запасов и управления технологическими процессами вскрытие рудного тела предполагается малым объемом технологических подземных выработок в первую очередь для исключения воздействия естественных

гидродинамических течений, возможных потерь растворов (особенно в тектонических зонах разлома).

Процесс первой стадии осуществляется внутри высокотемпературного очага, например с помощью наддува перегретой паровоздушной или паро-кислородной смеси с начальной температурой 550°C, где будет происходить обжиг колчедана с окислением сульфидов FeS_2 и CuFeS_2 , до сульфатов FeSO_4 и CuSO_4 с образованием серной кислоты, причем температура в очаге реакции будет повышаться на 40-50% за счет эндогенного тепла. После «розжига» очага температура наддува может быть снижена до 350°C.

Процесс второй стадии осуществляется при сравнительно низкой температуре (300-350°C) после вытеснения продуктов обжига из высокотемпературного очага в смежные слои сульфидов, где они охлаждаются за счет эндогенного процесса разложения серной кислоты. Здесь идет обработка сульфидов меди и железа раствором серной кислоты, выделяемой в процессе первой ступени. Для дополнительной интенсификации процессов целесообразно применить местное наложение высокочастотного электро-магнитного поля. Сульфаты меди и железа легко образуют водные растворы (медный и железный купоросы). Насыщенный раствор выдается на поверхность, очищается от примесей, нейтрализуется и направляется на металлургическое предприятие для разделения меди и железа. Предполагается совмещение пирометаллургического окисления и гидрометаллургического процессов в единый процесс, интенсивно протекающий в рудной залежи под землей, причем способ частично осуществляется за счет собственного химического энергоисточника при окислительных процессах.

Насыщенный раствор содержит купоросы меди и железа до 25% при температуре + 40-75°C. Растворимая часть каждой тонны руды, переведенная в раствор, образует объем до 1,5 м³. Имея прогнозируемый водоприток в шахту 380-390 м³/час или 3,35 млн м³/год, на собственных водных ресурсах можно обеспечить производительность по руде до 2,2-2,25 млн т в год. При большой производительности недостающая для технологического процесса вода может подаваться дополнительно.

Таким образом, интенсификация процесса выщелачивания зависит от соответствия окисленных и сульфидных минералов в руде и степени ее предварительного дробления. Сульфидные минералы менее растворимы и требуют дополнительных способов подготовки.

Список литературы

1. Калабин Л.И. Добыча полезных ископаемых подземным выщелачиванием и другими геотехнологическими методами. М.: Атомиздат, 1981.
2. Жалгасулы Н., Когут А., Исмаилова А.А. Исследование выщелачиваемости медных руд Жезказганского месторождения. Горные науки и технологии. 2018;(2):14-22. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2018-2-14-20>.
3. Синянская О.М. Разработка и обоснование параметров технологии переработки смешанных медных руд Жезказганского региона: диссертация кандидата технических наук: 25.00.13, Магнитогорск, 2019.-170 с.
4. Н.Жалгасулы, А.В. Когут, А.А. Исмаилова, У.А.Бектибаев. Подземное выщелачивание меди с направленным гидродинамическим потоком растворителей. Доклад на межд. науч.-практ.конф. посвященной 70-летию член-корреспондента НАН КР Кожогулова К.Ч.- №3, 2020г.- Бишкек-2020.- С.65-79.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФЛОТАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ

Хамзина Т.А., Кузнецова И.Н.

ИПКОН РАН, г. Москва

Уголь имеет большое значение, он является источником энергии, тепла и ценным сырьем для коксования, химии и других отраслей промышленности. В последнее время на угольных разрезах и шахтах снижается качество добываемых углей, выемка осуществляется маломощных угольных пластов, поступающие на обогащение угли, становятся все более высокозольными с большим содержанием мелких классов. Это вызывает необходимость более глубокого обогащения, так как для основных потребителей возможность использования углей определяет их качеством. Количество угольной мелочи менее 1 мм при поступлении на углеобогадательную фабрику достигает 25-45%.

Наиболее эффективным способом обогащения тонких угольных классов является флотация, которая стала одним из основных технологических процессов переработки.

В настоящее время на 30 углеобогадательных фабриках флотируются угольные шламы из них: в Кузбассе – 25 фабрик, в Республике Саха-Якутия - 3 фабрики, в Хабаровском Крае – 1 фабрика и в Республике Коми -1 фабрика. Флотируются угли марок Г, Ж, К, Т, КС, ОС и СС. Шламы коксующихся углей флотируются полностью. Объем обогащения флотацией энергетических шламов составляет 10%.

На углеобогащительных фабриках одним из наиболее существенных резервов увеличения выхода концентрата является полная переработка угольного шлама – главного источника шламообразования. Это позволяет не только решить задачу рационального использования наиболее ценной части углей, но и удовлетворить в значительной мере растущие потребности металлургической промышленности в концентратах коксующихся углей.

В России произошли существенные изменения в качественной характеристике углей. Изменилось не только количество перерабатываемого угольного шлама, но также качественная характеристика. Если раньше зольность питания флотации не превышала 25-28%, то теперь она достигает 40% и более. Количество таких шламов с каждым годом будет увеличиваться.

Несмотря на то, что номенклатура применяемых при флотации углей реагентов широка, в настоящее время промышленное применение на углеобогащительных фабриках нашло ограниченное количество реагентов. В качестве аполярных реагентов применяется Газойль легкий каталитического крекинга и коксования Марка А, в качестве гетерополярных реагентов Кубовый остаток ректификации стирола (КОРС), Оксаль Т-66, Оксаль-Т-92, КЭТГОЛ, или ФЛОТЭК-212. Помимо традиционных аполярных и гетерополярных собирателей для флотационного обогащения угольного шлама используют комплексный флотореагент ФЛОТЭК - 404.

Схемы флотации на большинстве фабрик применяются простые, включают одну операцию с выделением готового концентрата и хвостов, и только на нескольких фабриках обогащающих высокозольные угли, применяются схемы с перечистками всего пенного продукта. Плотность питания доведена до 100-140 г/л.

Анализ оснащенности углеобогащительных фабрик флотационными машинами показывает, что на фабриках установлены и эксплуатируются флотомшины марок МФУ, Wemco и СЕТСО.

За последние 10 лет проведена большая работа по техническому перевооружению флотационных отделений фабрик. Полностью исключено использование в операциях основной флотации малообъемных низкопроизводительных машин,

По-прежнему слабым остается классификация пульпы перед флотацией. Увеличение содержания в исходном крупном классе ведет к большим потерям угля с отходами.

На ряде углеобогащительных фабрик недостаточен фронт флотации, что приводит к перегрузке водно-шламовой схемы. Есть фабрики, на которых экономически целесообразно применять флотацию, но она до сих пор не внедряется.

До настоящего времени не разработаны надежные методы определения оптимальных показателей обогащения угольных шламов флотацией, что затрудняет качественную оценку эффективности применяемой или вновь рекомендуемой технологии.

В области практики флотации угольного шлама основными вопросами являются:

- Улучшение качественно-количественных показателей флотации. Получение эффективных показателей при обогащении угольного шлама флотационным методом обогащения требует детального и углубленного исследования угольного сырья.

- Изыскание эффективных, недефицитных экономичных реагентов.

- Строительство новых и реконструкция существующих флотационных отделений.

- Создание высокопроизводительных флотационных машин.

- Эффективность обогащения энергетических углей.

Анализ современного состояния и перспективы развития флотации угольных шламов, совершенствования применяемого оборудования и технологии флотационного обогащения показывает, что в настоящее время объем применения флотации резко возрос.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР

УДК 338

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО РАЗНОСА БОРТОВ КАРЬЕРА С ЦЕЛЬЮ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО

**Задорина Д.С., Масальский С.С., Петров К.Д.,
Назарова Д.С., Баскаков А.Д.**

*Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург*

В работе рассматривается экономическая эффективность ведения дополнительных работ по добыче полезного ископаемого, залегающего в бортах карьера.

Актуальность исследования. Законодательство РФ при выдаче лицензии устанавливает перед добывающими компаниями обязательства, одним из которых является рациональное использование недр. В тех случаях, когда основное доступное полезное ископаемое добыто, необходимо изучить остатки тела залежи и принять решение о дальнейшей разработке карьера. Залегание полезного ископаемого в бортах карьера не является редкостью, и разнос бортов карьера один из способов более полной отработки карьера.

Методы исследования. Исследование проводилось методами анализа научных работ по теме исследования, изучения особенности способа добычи полезного ископаемого из бортов карьера.

Основная часть. Добыча полезных ископаемых приносит большую долю средств в государственный бюджет Российской Федерации. Именно поэтому государство, при выдаче лицензии на добычу, выставляет определенные требования к добывающим компаниям, одно из которых рациональное использование недр. Налог на земельные участки, как предусмотрено НК РФ, рассчитывается на базе их кадастровой стоимости, которая в свою очередь, должна быть обоснованной и учитывать особенности использования соответствующей территории [1].

Одним из способов добычи «дополнительного» полезного ископаемого является разнос бортов, однако это связано с рисками обвала разрабатываемого борта. Решение о разносе бортов принимается на стадии планирования, в случае если это обеспечивает безопасность работников. Проводится экономический анализ различных вариантов, самые популярные разнос бортов и переход на подземный способ отработки. В массивах пород, прилегающих к откосам и содержащим природные поверхности ослабления (дизъюнктивные нарушения, тектонические трещины большого протяжения, слабые контакты слоев и другое), которые частично или полностью могут представлять собой поверхность скольжения, форму и местоположение поверхности скольжения призмы обрушения откоса. [2]. Это все нужно учитывать при планировании дальнейшей разработки, чаще всего укрепление откоса борта специальными приспособлениями, для повышения их устойчивости является менее затратным, чем переход на подземный вид добычи полезного ископаемого. На главные параметры карьера при проектировании отработки этапами существенным образом влияют принятые параметры этапа, которые значительно воздействуют на экономическую эффективность отработки в целом [3].

На практике при разносе бортов карьера и укреплении его откоса проводят значительное количество опытов по дополнительной разведке территории, залегания полезного ископаемого. Основным при укреплении откосов бортов является сейсморазведка и проверка прочности пород, в которых залегает рудное тело. В зависимости от тектонических разломов будет различаться способ укрепления откосов разносимых бортов.

При выборе способа укрепления откосов бортов и дальнейшей разработке карьера важно учитывать множество факторов, однако основными являются безопасность персонала и экономическая эффективность принятого решения. Большое количество вскрыши в любом случае снизит доход при добыче такого полезного ископаемого, однако наша разработка поможет снизить объем количества вскрыши при добыче.

Выводы. В ходе исследования была описана важность эффективного использования, имеющихся в государстве ресурсов. Мы пришли к выводу, что наименее затратным и безопасным способом добычи остатков полезного ископаемого, является дополнительный разнос бортов карьера.

Каждый карьер индивидуален и многое зависит от геологических условий территории, однако укрепление откосов разнесенных бортов будет более экономически эффективно, чем полный переход на подземный способ добычи полезного ископаемого.

Список литературы:

1. Быкова Е.Н., Хайкин М.М., Шабаетова Ю.И., Белобородова М.Д. Развитие методологии экономической оценки земельных участков для добычи и переработки твердых полезных ископаемых // Записки Горного Института. 2023. Т. 259. С. 52-67. DOI:10.31897/PMI.2023.6.

2. Методические указания по определению параметров бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов. – М.: ИПКОН РАН, 2022. – 80 с.

3. Фомин С.И., Овсянников М.П. Обоснование оптимальных технико-экономических параметров карьера при этапной разработке рудных крутопадающих месторождений // Записки Горного института. 2022. Т. 000. С. 1-10. DOI: 10.31897/PMI.2022.73.

УДК 658.51

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ, ВЛИЯЮЩИХ НА ОХРАНУ ТРУДА

Назарова Д.С., Петров К.Д., Задорина Д.С., Масальский С.С.

*Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург*

В работе рассматриваются факторы организации производства, влияющие на охрану труда и безопасность рабочих во время процесса.

Актуальность исследования. Изучение структуры производственного процесса и выявление логических цепей в производстве позволяет выявлять факторы, неблагоприятно влияющие на охрану труда. Правильно организованная работа по обеспечению безопасности труда повышает дисциплинированность работников, что, в свою очередь, ведёт к повышению производительности труда [1].

Только систематизировав всю работу, подчинив её единой стратегии, направленной на достижение успеха во всех подсистемах производственного процесса, можно говорить о конкурентоспособности всего предприятия [2].

Методы исследования. Исследование проведено историческим и логическим методами, методами индукции и дедукции, а так же методом системного подхода.

Основная часть. Организация производства является важным аспектом обеспечения безопасности и охраны труда рабочих во время процесса. Существует несколько факторов, которые оказывают влияние на эту область.

Идея исследования - выявление основных факторов и нахождение путей поддержания приемлемого уровня безопасности на производстве. Адаптивное внедрение моделей способствует достижению приемлемого корпоративного уровня культуры производственной безопасности, совершенствованию лидерских компетенций, улучшению условий труда и, как следствие, снижению уровня производственного травматизма и профессиональной заболеваемости [3, 4]. По состоянию на данный момент трудно говорить об эффективном применении теоретико-методических основ экономического обоснования охраны труда в практике сохранения человеческих ресурсов в организациях Российской Федерации [5].

В целом, безопасность и охрана труда во время процесса производства зависят от множества факторов, которые включают в себя физическую среду, организацию рабочего пространства, обучение и тренинг, использование персональных защитных средств и регулярное обслуживание оборудования. Эти факторы должны быть учтены и реализованы правильно, чтобы обеспечить безопасность и охрану труда рабочих.

Выводы. Работа подтверждает важность организационных и экономических факторов для охраны труда и рекомендует принимать все эти факторы во внимание при разработке стратегии безопасности и здоровья на рабочем месте.

Обоснована необходимость поддержания безопасных условий труда и внедрения технологий, позволяющих ее обеспечить.

Работа указывает на важность социального и культурного контекста для охраны труда.

Список литературы:

1. Брусенцов С.Г. Роль охраны труда на производстве // Концепт. - 2015. - № 12 (декабрь). - ART 15423. - 0,4 п. л.
2. Бавыкина Е.Н. Совершенствование системы охраны труда на предприятии // РППЭ. 2021. №8 (130).
3. Глебова Е.В., Волохина А.Т., & Вихров А.Е. (2023). Оценка эффективности управления культурой производственной безопасности в компаниях ТЭК. Записки Горного института, 259, 68-78. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.12>.

4. Булдакова Е.Г., Гридина Е.Б. (2014) Анализ производственного травматизма и этапов создания эффективной системы управления промышленной безопасностью на примере ОАО «Воркутауголь». Записки Горного института. Том 207. С. 95.

5. Усикова О.В., Экономическое обеспечение охраны труда: теория, методология, практика // Экономика Профессия Бизнес. 2019. №1.

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ КОНВЕРГЕНТНЫХ ГОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА

Якушева Е.Д.

ИПКОН РАН, г. Москва

Экологические последствия развития современной технократической цивилизации позволяют добавить к длинной череде экологических кризисов, вызванных несоответствием уровня и структуры потребления человека с ресурсными возможностями геосфер нашей планеты, ещё один тип кризиса, который может быть назван кризисом геосфер. Он характеризуется тем, что созданная человеком антропосфера поглощает остальные четыре геосферы Земли в объёмах, которые в глобальном масштабе становятся соизмеримыми с внутренними защитными возможностями их самовосстановления, а в масштабах локальных – превосходят эти возможности [1].

Представляется вполне очевидным, что в методологическом плане технологические ответы на экологические вызовы следует искать в изучении систем, где эти ответы уже получены, т.е. в биологических системах.

В результате сравнительного анализа действующей технологической парадигмы освоения минеральных ресурсов литосферы и ограничений экологического императива установлено, что при современной несбалансированной добычи и потребления полезных ископаемых с естественным циклом биосферы развитие минерально-сырьевого комплекса всегда будет происходить в условиях антагонистического противоречия с существованием естественной биоты Земли. Поэтому преодоление быстро нарастающего экологического кризиса неизбежно будет связано с формированием новой технологической парадигмы освоения недр, в которой экологическая сбалансированность является неременным свойством применяемой горной технологии.

Выполненные методом функциональных триад [2] исследования динамической организации развития биологических систем позволили структурировать существующее множество управляющих факторов и выделить те из них, которые обеспечивают воспроизводство и движение биомассы.

Биологические системы существуют и развиваются за счёт не загрязняющей среду и практически вечной солнечной энергии, поступление которой относительно постоянно и избыточно.

Существование природно-равновесных биосистем базируется на основе большого и малого круга биотического обмена, при котором получение ресурсов и переработка отходов происходит в рамках замкнутого кругооборота всех элементов.

Чем ниже трофический уровень, тем больше биомасса данной категории организмов, а на каждом трофическом уровне производится только новая биомасса, количество которой обратно пропорционально длине пищевых цепей (рис. 1).

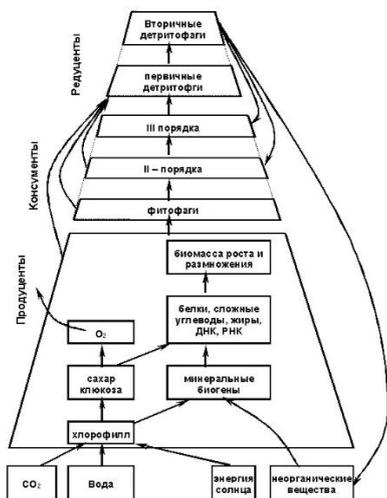


Рис. 1. Схема прямых и обратных связей элементов биотической структуры экосистем (по [3])

Биологические системы обладают пороговым состоянием, переход через которые ведёт к резкому качественному изменению протекающих в них процессов. В силу вероятностного характера этого перехода обратное движение становится невозможным. Поэтому положение о необратимом характере биологической эволюции является важнейшим принципом функционирования биологических систем.

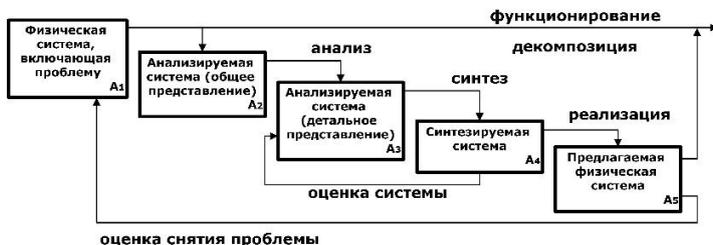


Рис. 3. Общий подход к решению проблемы

В этом случае управляемая гармония между несовместимыми компонентами достигается за счёт подобия их функциональных структур и ограничения уровня техногенных воздействий диапазоном толерантности структуроопределяющих элементов биоты природных систем.

Установлено, что при создании природоподобных горных технологий необходимо задействовать одновременно все функциональные биогенные принципы (рис. 4).



Рис. 4. Биотехнологические принципы формирования конвергентной горной технологии

Биотехнологические принципы формирования конвергентной горной технологии отражают иерархию их функциональной дифференциации по внутреннему содержанию. Первые два принципа формируют новый облик горной технологии для добычи полезного ископаемого, возникающей в результате гомеостатической трансформации в техносферу соответствующих принципов формирования биологических систем, определяющих изменение состояния вещества в этих системах [4].

Третий биотехнологический принцип отражает необходимость новой организации функциональной структуры горнотехнической

системы разработки месторождения, соответствующей характеру обращения вещества в биологических системах.

Два других принципа определяют характер и условия взаимодействия компонентов всей природно-технической системы освоения ресурсов участка недр, обеспечивающее сохранение устойчивости её природной составляющей, а также – экологически приемлемое энергосбережение технической составляющей.

Одновременная реализация всех биогенных принципов позволяет структурировать во времени и пространстве процесс получения полезных ископаемых в полном соответствии с ограничениями экологического императива и устойчивого развития.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Бурцев Л.И. Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. М.: Научтехлитиздат, 2003. – 261 с.
2. Кочуров Б.И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории. Смоленск: Изд. Смол. Гос. университета; 1999. – 154 с.
3. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Природоподобная технология комплексного освоения недр – проблемы и перспективы. М.: Научтехлитиздат, 2020. – 368 с.
4. Галченко Ю.П., Еременко В.А. Природно-технические системы подземной разработки рудных месторождений на основе конвергентных горных технологий: Монография / Отв. редактор чл.-корр. РАН В.Н. Захаров. М.: Издательство «Горная книга», 2023. – 288 с.

УДК 504.05; 622.235

К ВОПРОСУ О МЕТОДОЛОГИИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ КОНТРОЛЯ ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ В ПРЕДЕЛАХ ГОРНО-ДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА

Галченко Ю.П., Докутович М.И.

ИПКОН РАН, г. Москва

Функции контроля и управления пылевым загрязнением экосистем региона формируются в виде комплекса прямых и обратных связей в сложной природно-техногенной системе, у которой общая структура природной составляющей определяется законами экологии, а развитие каждого компонента техническими составляющими – законами физики и аэрологии. Следовательно, создание интерактивной системы текущего контроля за локальным пылевым загряз-

нением в пределах горно-добывающего региона и обоснование технологических путей управления возможно при главном утверждении (тезисе), что все проблемы экологии биологического характера, а их возможные решения находятся (связаны) с применением горной технологии.

Экосистемы геонамической среды горно-добывающего региона: А) экосистема естественной биоты Земли; Б) экосистема жизнеобеспечения человека (сельскохозяйственная деятельность); В) экосистема среды обитания человека (урбанизация).

Тогда первым этапом работы надо для каждого из рассмотренных типов источников пыли построить схему количественного распределения пыли заданного гранулометрического состава по высоте ввода в атмосферу, для чего выполняется последовательность действий:

1. Определяется содержание и внутренняя структура понятия техногенная минеральная пыль.

2. Вводится и идентифицируется понятие единичного источника техногенной пыли.

3. На основании классической триады экологии: «изменение – транзит – депонирование» единичный источник структурируется в виде следующих физических систем:

- система технологического формирования (образования, поступления) минеральной пыли в атмосфере;
- система транзита техногенной минеральной пыли в атмосфере;
- система депонирования техногенной минеральной пыли в геонамической среде.

4. Исследование методов экологической оценки подавление пыли защиты экосистем геонамической среды.

Строится схема распределения пыли заданного гранулометрического состава по высоте ввода в атмосферу.

На втором этапе работы даётся визуализация распределения различных фракций техногенной пыли по земной поверхности при различной форме «розы ветров»:

5. Исследования процессов транзита минеральной пыли в атмосфере для каждого из принятых типов источников.

- определяются формулы для расчета длины переноса каждой фракции при различной скорости ветра. Затем по розе ветров строится картина распределения пыли по площади;

- определяется время формирования зоны осаждения пыли;
- определяется концентрация «витающей» пыли, в воздухе как «фон» для пыли, выпадающей на поверхности;
- создается методика расчета количества минеральной пыли, выпадающей на единицу площади поверхности от каждого единичного источника в зависимости от характера образования и поступления пыли, её гранулометрического состава и состояния атмосферы.

6. Для каждого географического объекта интегральное влияние системы единичных источников оценивается путём суммирования поступлений пыли от каждого источника, определяемого путём наложения зон выпадения пыли.

«Витающая» пыль от всех источников также оценивается путём сложения концентраций в воздухе. Установлено, что «витающая» пыль опасна для человека, а в природе она не опасна.

7. Оценка экологических последствий депонирования минеральной пыли в экосистемах земной поверхности.

Для каждого функционального типа экосистем используется своя методика количественной оценки экологических последствий от выпадения минеральной пыли:

- для экосистем естественной биоты - по снижению интенсивности фотосинтеза за счёт запыления листовых пластинок, с учетом интенсивности выпадения осадков;
- для экосистем «второй природы» (сельскохозяйственного назначения) – по снижению плодородия почв или хозяйственной ценности угодий;
- для экосистем селитебных и рекреационных – по степени соответствия санитарным нормам.

Таким образом, разрабатывается три модели:

I. Комплексная модель формирования (образования, поступления) минеральной пыли в атмосфере;

II. Модель транзита минеральной пыли в атмосфере;

III. Модель депонирования минеральной пыли в экосистемах.

Результатом реализации данного методологического подхода является разработка детерминированной системы моделей формирования (образования, поступления), транзита и депонирования минеральной пыли в атмосфере описывающих процессы формирования во времени и пространстве пылевого загрязнения экосистем земной поверхности в горно-добывающих регионах с последующей разработкой алгоритма для количественной оценки величины этого загрязнения.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Потапов М.Г., Виноцкий К.Е., Мельников Н.Н. и др. Справочник. Открытые горные работы. – М.: Горное бюро, 1995. – 590 с.
2. Викторов С.Д., Галченко Ю.П., Закалинский В.М., Рубцов С.К. Разрушение горных пород сближенными зарядами. – М.: Научтехлитиздат, 2006. – 276 с.
3. Клименко А.П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли. – М.: Химия, 1978. – 207 с.
4. Поздняков Г.А., Закутский Е.Л. Мониторинг пылевзрывобезопасности горных пород. // Научно-технический сборник Взрывное дело. Выпуск №97/54. Совершенствование технологии взрывных работ на горных предприятиях. – М.: МВК по взрывному делу при АГН, 2007. – С. 203-209.
5. Сенченко Д.С., Докутович М.И. Геоэкологические аспекты взрывных работ на месторождениях известняка. // ГИАБ, №8. – М.: Горная книга, 2014. – С. 215-220.
6. Ивлиева М.С. Математическое моделирование конвективно-диффузионного переноса известняковой пыли на почвы прилегающей территории нарушенных открытыми горными работами. // Научно-технический сборник Взрывное дело. Выпуск №138/95. Теория и практика взрывного дела. – М.: МВК по взрывному делу при АГН, 2023. – С. 131-148.
7. Угольников В.К., Симонов П.С. Мероприятия по снижению пылегазовых загрязнений атмосферного воздуха при взрывных работах на карьерах. // Научно-технический сборник Взрывное дело. Выпуск №91/48. – М.: МВК по взрывному делу при АГН, 1998. – С. 231-234.

УДК 502/504:622

СИБАЙ – ЗОНА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО БЕДСТВИЯ ИЛИ...?

Сибгагуллина А.А., Волкова Е.А.

МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск

Находящийся в Башкирии Сибайский карьер – один из самых глубоких в мире. Его глубина – более 500 метров, а диаметр карьера – 2 километра. Трудно представить весь масштаб этого крупнейшего карьера. Его глубина такова, что даже стоя на краю, не видно дна колоссальной воронки.

Актуальность разработки месторождений полезных ископаемых не способен оспариваться никем, даже экологами, считающими, что это приносит вред окружающей среде. Ущерб наносится всем составляющим: и атмосфере, и почвам, и водным объектам.

Как правило, это мало кто замечает, кроме специалистов-экологов, но неграмотная хозяйственная деятельность, игнорирование требований законодательства в сфере охраны окружающей среды, а

также экономические аспекты, которые являются определяющим на стадии завершения отработки, могут привести к непоправимым последствиям, пренебрегать которой невозможно.

Примером может служить ситуация, сложившаяся на Сибайском карьере.

В данное время борта карьера поставлены в предельное положение с углом падения 38-42° с формой. Отсутствие предохранительных берм повышает опасность работы. Однако остающиеся запасы не позволяют законсервировать работу карьера. В гидрогеологическом строении Сибайского месторождения принимают участие два основных водоносных горизонта, гидравлически связанных между собой.

Главным рудным минералом является пирит –10-90%, подчиненное значение имеют халькопирит – 0,1-20%, сфалерит – 0,1-5% и пирротин – 15-85%. Руды Сибайского месторождения по степени склонности к самовозгоранию, отнесены ко второму классу – умеренно склонные к самовозгоранию, а в целом месторождение по степени пожароопасности отнесено ко II типу – пожароопасное. Согласно «Инструкции...» [1] при отработке руд, отнесенных к II классу, в зависимости от горно-технических условий, допускается применение систем разработки с закладкой выработанного пространства твердящими смесями либо с обрушением вмещающих пород и последующим профилактическим заиливанием выработанного пространства.

Просмотрев существующую техническую документацию и технологию очистной выемки руды на рудниках Урала, а также проведенные ранее научно-исследовательские работы по отработке Сибайского месторождения подземным способом, авторы «Технологического регламента...» [2] пришли к выводу о возможности отработки Ново-Сибайской залежи системами с обрушением вмещающих пород без профилактического заиливания с разработкой дополнительного комплекса противопожарных профилактических мероприятий по предупреждению эндогенных пожаров.

Сульфидные руды сорбируют кислород в присутствии воды. При увлажнении скопления раздробленной сульфидной руды удельная скорость поглощения кислорода многократно увеличивается. Практика и прямые измерения скорости сорбции кислорода показали, что наиболее склонны к возгоранию руды, существенную часть которых представляют пирит и марказит, что наблюдается на сульфидных рудах Сибайского месторождения.

Так, на сегодняшний день при отработке Сибайского месторождения комбинированным способом жители города и работники Си-

байского подземного рудника столкнулись с чрезвычайной ситуацией, которая началась достаточно давно - ещё при принятии решения об отказе от заиливания при отработке прибортовых запасов. Обводненность месторождения, наличие пирита и других сульфидов в достаточно большом количестве, большая трещиноватость руд привела к возникновению эндогенного пожара в бортах карьера. Чрезвычайная ситуация заключается в распространении продуктов горения и тления сульфидов на близлежащие жилые секторы.

Действие, которое оказывает диоксид серы на окружающую среду и здоровье человека, довольно полно изучено.

В результате фотохимического окисления часть диоксида серы превращается в серный ангидрид SO_3 , который вступает в реакцию с водяным паром атмосферы, образуя аэрозоли серной кислоты. Большая часть выбрасываемого диоксида серы во влажном воздухе образует кислотный полигидрат $SO_2 \cdot nH_2O$ (сернистую кислоту H_2SO_3), который в свою очередь постепенно окисляется до серной кислоты. Всё это становится причиной кислотных осадков (дожди, туманы, снег). Действие диоксида серы на организм человека подробно рассмотрено в работе Минияровой Д.В. [3]

Всё это выдвигает вопросы минимизации негативного воздействия объекта на прилегающую территорию с целью, прежде всего, сохранения здоровья людей (жителей и рабочих) на первый план.

В настоящее время руководством принято решение в частичном подтоплении карьера.

Залить огромный карьер сверху технологически практически невозможно – очаги возгорания находятся на глубине 469 метров. В такую «яму» техника залететь не сможет, а выливать сверху – расточительно. При этом необходимо помнить, что карьер связан выработками с шахтой, которая не может быть затоплена, т.к. там идет добыча руды.

Все мероприятия по предупреждению, локализации и ликвидации очагов самовозгорания направлены на выполнение следующих условий:

- устранение окисляющихся материалов;
- предотвращение доступа кислорода к окисляющемуся материалу;
- снижение химической активности, а именно окислительной способности самовозгорающегося материала;
- охлаждение нагретой массы;
- сокращение времени нахождения самовозгорающегося материала в соприкосновении с кислородом.

Изоляция является одним из основных противопожарных мероприятий при подземной разработке самовозгорающихся углей и руд. Существуют два вида изоляции: изоляция выработанного пространства (или пожарного участка) от действующих выработок и изоляция очага от поверхности.

Наиболее лучшим средством является заиливание глинистым раствором выработок и целиков. Проникновение глинистого раствора в трещины создает надежную изоляцию выработанного пространства.

Изначально, на стадии разработки проекта было установлено, что заиливание необходимо для профилактики самовозгорания, однако решили экономить!

Люди остаются, добыча прекращена. Серный воздух, которым за несколько лет пропиталась даже почва, отравил и эту, единственную спасительную нить для людей, которые кровью и потом, из поколения в поколение работали в шахтах на благо Родины.

Список использованной литературы

1. Инструкция по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров на горно-рудных предприятиях министерства цветной металлургии СССР. Утверждено зам. министра цветной металлургии СССР Н.Н. Чепеленко 4 сентября 1981 г.

2. Технологический регламент «Доработка залежи «Новый Сибай» Сибайского месторождения подземным способом», Екатеринбург, 2008 г.

3. Миниярова Д.В. Диоксид серы и его влияние на здоровье человека // [Электронный ресурс]: <http://cscb.su/n/040201/040201005.htm>

УДК 622.277.3

ОБОСНОВАНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОМ ДОБЫЧИ РУД ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ

**Метакса А.С., Избай А.И, Бектибаев У.А.,
Метакса Г.П., Исмаилова А.А.**

ИГД им. Д.А. Кунаева, г. Алматы, Казахстан

В Институте горного дела им. Д.А. Кунаева [1] для решения задач геомониторинга были проведены исследования по изучению природных механизмов восстановления равновесия. Выявлено, что количество водорода в атмосфере поддерживается постоянным за счет состояния границы раздела фаз «вода-воздух». Расчеты показывают, что 3-5 монослоев Мирового океана поглощая углекислый газ,

который тяжелее воздуха и поэтому концентрируется на границе раздела фаз.

Этому способствует новые открытия, связанные с изменением радиуса протона в сторону его уменьшения на 4% [2]. При этом резко расширяются возможности, связанные с управлением новыми свойствами воды путем изменения молекулярной структуры, т.е. становится возможным получать активную воду с заданными свойствами.

Для проведения работ по выявлению отличительных признаков взаимно перпендикулярных перемещений планетного уровня расщепления нами была разработана новая методика измерения показаний γ -излучения. Для этого использовали 2 датчика, измерительная часть которых располагалась в направлениях «север-юг» и «восток-запад». Главной особенностью методики замеров является одновременность записи показаний датчиков, установленных во взаимно перпендикулярных направлениях на добычном трубопроводе скважины: на северном; восточном и в центральной части месторождения.

Для математического анализа использовали разницу между первым и вторым датчиком. Далее строили гистограмму распределения этих значений, используя закон Пуассона, в соответствии с которым можно выявить основные причинно-следственные взаимосвязи по количеству и качеству выявляемых максимумов на гистограмме распределения. Так, малые отличия показаний датчиков свидетельствуют об идентичности протекаемых процессов а высокие – наоборот - указывают на максимальное различие протекающих в трубопроводе процессов, которые в соответствии с ритмов работы «качалки» периодически наполняются и опустошаются.

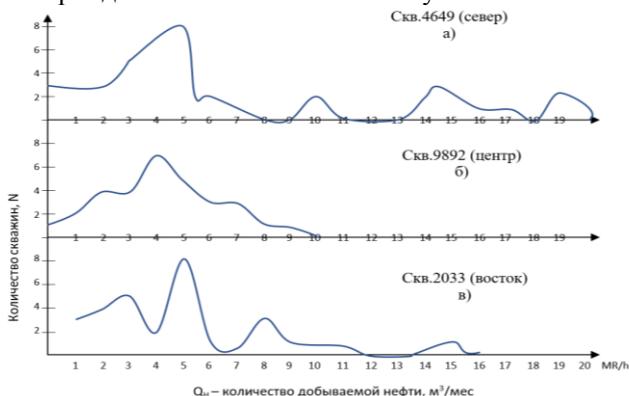


Рис. 1. Разность показаний Δ счетчика γ -импульсов для скважин 4649 (север), 9892 (центр), 2033 (восток)

На рис.1 представлены результаты замеров, обработанные по нашей методике для 3-х скважин (4649, 9892, 2033), расположенных в разных зонах месторождения Узень. Если бы скважины находились в одинаковых динамических условиях, то при замерах были бы выявлены идентичные распределения показаний приборов. Не уточняя механизма формирования откликов на внешние воздействия, можно отметить, что все три скважины работают в разных условиях. Так скважина №4646, находящаяся на Северной стороне месторождения, имеет наиболее сложный характер гистограммы откликов. Здесь разница между показаниями восточных и северных датчиков имеет резко выраженный максимум в области низких значений гамма-излучения, что может означать преобладание идентичных условий формирования отклика в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Однако на гистограмме 1а присутствуют еще несколько пиков, причина появления которых должна быть выявлена отдельным исследованием, зато центральная скважина 9892 показывает (1б) идеальное распределение разности показаний датчиков около одной причинной цепочки.

Скважина №2033, расположенная в восточной части месторождения (1в), обладает собственной характерностью в распределении максимумов на гистограмме.

Литература

1. Метакса Г.П., Сармурзина Р.Г., Бойко Г.И., Карабалин У.С., Любченко Н.П. Системные взаимосвязи для веществ в разных агрегатных состояниях, СПб, 2022, 199 с.

2. Axel Beyer, Lothar Maisenbacher, Arthur Matveev, and other. The Rydberg constant and proton size from atomic hydrogen, Volume 358 | Issue 6359, 6 October 2017.

К ВОПРОСУ О НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ИНИЦИИРУЮЩИХ СОСТАВОВ В КАПСЮЛЯХ ДЕТОНАТОРАХ

Жуликов В.В.

ООО «АЗОТТЕХ», г. Москва

Проведение взрывных работ в горнодобывающей промышленности, строительстве и других отраслях народного хозяйства непременно подразумевает использование средств инициирования (СИ). Современные штатные СИ изготавливаются на основе инициирующих

(первичных) взрывчатых веществ (ИВВ), способных под действием относительно слабого начального импульса претерпевать взрывное превращение и вызывать воспламенение, взрыв или детонацию других, менее чувствительных взрывчатых веществ. Ввиду своего практического назначения ИВВ имеют высокую чувствительность к простым видам начального импульса (удар, трение, сжатие, искра, пламя, нагрев) и способность детонировать в весьма малых количествах.

В табл.1 приведены характеристики основных ИВВ, отчасти сохраняющих свое лидирующее положение использования в СИ промышленного назначения [1].

Таблица 1

| Показатели | Гремучая ртуть | Азид свинца | Тетразен | ТНРС |
|---|----------------|-------------|----------|-------|
| Теплота взрыва, кДж/кг | 1697 | 1596 | 2302 | 1751 |
| Объем газов, л/кг | 316 | 308 | 425 | 448 |
| Температура взрыва, °С | 4450 | 4300 | 4350 | 3030 |
| Плотность, г/см | 3,5 | 4,6 | 1,68 | 2,9 |
| Кислородный баланс, % | -11,8 | - | - | -56,0 |
| Скорость детонации, км/с | 5,4 | 5,3 | 5,3 | 5,2 |
| Работоспособность в свинцовой бомбе, см ³ | 110 | 115 | 115 | 110 |
| Температура вспышки, °С | 165 | 327 | 140 | 270 |
| Чувствительность к удару (высота падения груза 2 кг), | 20 | 40 | | 110 |

Особенностью таких ИВВ является наличие атомов тяжелых металлов. В частности, ПДК соединений свинца определяется именно его наличием в составе соединения и составляет для атмосферного воздуха - 0,003 мг/м³, воды - 0,03 мг/л, почвы - 20,0 мг/кг [2].

В США, после принятия в 1993 г. специальных законов, снижающих и даже исключаящих закупки опасных веществ и материалов для нужд федерального правительства, ведутся систематические исследования по синтезу малотоксичных, экологичных иницирующих веществ, предназначенных для замены свинец содержащих ИВВ в средствах инициирования. В конце XX века в ряде стран также были приняты государственные программы по ограничению или исключению применения солей свинца в гражданских средствах инициирования. По итогу, в 2006 году исследователями из Лос-Аламосской Национальной Лаборатории (ЛАНЛ, США) были опубликованы

весьма жесткие требования к не наносящим вреда окружающей среде энерго-насыщенным веществам (ЕВ), предназначенным для замены азида и стифната свинца в гражданских КД, ЭД и КВ.

Проблематика разработки новых экологических составов для средств инициирования и стрелкового оружия так же отмечается и в ответственных научных кругах [3,4].

Компании и научные организации более 50 лет занимаются разработкой новых экологически безопасных иницирующих составов а так же разработкой более экологичных способов их изготовления [5].

В настоящее время к самым распространённым ИВВ можно отнести азид свинца, тринитрорезорцинат свинца (ТНРС), моногидрат 5-(4-амидино-1-тетразено)тетразола (Тетразен), Диазодинитрофенол.

Из приведённых веществ тетразен [1-(5-тетразолил)-3-гуанилтетразен гидрат] на данном этапе можно условно отнести к экологичным соединениям, однако, данное ИВВ широкого применения в капсюлях детонаторах не нашло, вероятно, из-за нечувствительности к термическому импульсу мостика накаливания в спрессованном виде [6].

2-диазо-4,6-динитрофенол нашел применение в Китае и Южной Корее как первичное иницирующее вещество для промышленных КД и ЭД [7,8]. Однако, соединения динитрофенолов относятся к веществам I класса опасности [2], что значительно осложняет производство СИ на их основе, хотя в настоящее время успешно ведутся работы по повышению экологичности и упрощения способов получения данного соединения [9]. Разработан способ получения сыпучего диазодинитрофенола с высокой гравиметрической плотностью для экологически чистых составов капсулей-воспламенителей стрелкового оружия, рассматривается как один из вариантов перехода на данный тип состава. Однако, на данном этапе не имеется достаточных сведений о санитарно-гигиенической безопасности такого производства диазодинитрофенола.

Существуют и другие органические соединения с достаточно коротким участком перехода горения в детонацию и при этом относительно стабильными свойствами, но в большинстве они также не обладают необходимыми взрывными характеристиками или не удовлетворяют требованиям экологической безопасности, но оставляют простор для поисковых работ.

В качестве малотоксичного эффективного инициирующего вещества для промышленных КД и ЭД в России предлагался перхлорат 2,4-динитро- фенилдиазония [4]. Однако, данное соединение гигроскопично и теряет инициирующую способность при высокой влажности, что повышает требования к СИ и ограничивает условия их эксплуатации.

Также учитывая не только сами способы применения и токсичность во время использования на наш взгляд кажется важным отметить и необходимость выбора экологических составов с точки зрения их изготовления: например, уничтожение отходов азидов изготовления азидов свинца сводится к банальному захоронению в отстойниках.

Для исключения воздействия на окружающую среду и человека отходами производства и применения азидов свинца зарубежные компании (например, мировой лидер горнодобывающей отрасли ORICA) разрабатывают капсулы детонаторы без первичных инициирующих веществ с применением только ТЭНа [10].

В настоящее время вопросы экологической безопасности применения ИВВ сохраняют свою актуальность и продвигаются на федеральном уровне в рамках национального проекта «Экология». Согласно паспорту проекта одной из целей является снижение выбросов опасных загрязняющих веществ, оказывающих наибольшее негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека, в том числе, по средствам внедрения наилучших доступных технологий [11].

Учитывая вышеизложенное актуальной задачей на современном уровне развития техники и технологии является поиск новых малотоксичных ИВВ на основе соединений, не содержащих тяжелых металлов и других токсичных веществ, разработка экологически и гигиенически безопасных методов их синтеза и изготовления СИ на их основе для решения вопроса негативного воздействия процессов производства и применения, а также повышения эффективности капсул-детонаторов.

Список литературы

1. Добрынин А.А. Взрывчатые вещества. Химия. Составы. Безопасность. – М.: ИД Жуковского, 2014. – 527 с.

2. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»;

3. Гильманов Р.З., Фалыхов И.Ф., Гильманова Т.Б., Хайрутдинов Ф.Г. Новые экологически безопасные иницилирующие вещества для народного хозяйства // Вестник Казанского технологического университета. 2012. №13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-ekologicheski-bezopasnye-initsiiruyuschie-veschestva-dlya-narodnogo-hozyaystva> (дата обращения: 16.08.2023);

4. М.А. Илюшин, И.В. Шугалей, И.В. Целинский, А.В. Гарабаджиу Некоторые экологические проблемы использования энергонасыщенных соединений для средств инициирования и пути их решения // Экологическая химия 2012, 21(3); 154–163.

5. Патент РФ RU 2 728 133 C1 Способ получения диазодинитрофенола [Электронный ресурс]// Google Patents [Справочная система] //Режим доступа: URL: <https://patents.google.com/patent/RU2728133C1/ru> (дата обращения 16.08.2023)

6. Л.И. Хмельницкий Справочник по взрывчатым веществам часть 2 Москва 1962 г. 829 с.

7. Илюшин М.А., Смирнов А.В., Судариков А.М., Целинский И.В., Шугалей И.В. «Зеленые» энергонасыщенные вещества для промышленных средств инициирования. Состояние и перспективы развития // Царскосельские чтения. 2010. №XIV. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zelenye-energonasychennye-veschestva-dlya-promyshlennyh-sredstv-initsiirvaniya-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya> (дата обращения: 17.08.2023).

8. SAFETY DATA SHEET HiNEL PLUS® (1.4S) Revised Date: Sep.20/2018, HANWHA CORPORATION

9. Патент РФ Способ получения диазодинитрофенола Авторы патента: Баскаков Ю.М. Королев В.П. Фогельзанг А.Е. Бибнев Н.М. Колесов В.И. Егоршев В.Ю. Агеев В.Н. Ховансков В.Н. [Электронный ресурс]// Google Patents [Справочная система] //Режим доступа: URL: <https://patents.google.com/patent/RU2151134C1/ru> (дата обращения 16.08.2023)

10. SAFETY DATA SHEET6 Exel™ MS, LP, U Det, Handidet™ SL, ORICA

11. Паспорт национального проекта «Национальный проект «Экология» [Электронный ресурс]// Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации [Официальный сайт] //Режим доступа: URL: <http://www.mnr.gov.ru/> (дата обращения 16.08.2023)

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ ПРОЕКТОВ

Сметанина Л.А., Колмогорова В.А.

АО «ТомскНИПИнефть», г. Томск

Вступление в силу Федерального закона №296-ФЗ [1] поставило перед российскими нефтегазодобывающими компаниями задачу по сокращению выбросов парниковых газов. В настоящее время практически все крупные нефтегазовые компании развивают стратегии декарбонизации и реализуют планы углеродного менеджмента. С введением квот на выбросы диоксида углерода, актуальность данных вопросов возрастет.

Согласно приказу Минприроды РФ №371 [2], к источникам выбросов парниковых газов, подлежащих обязательному учету, относятся: стационарное сжигание топлива, сжигание в факелах, фугитивные выбросы. Выбросы от факельных установок возможно сократить, исключив рутинное сжигание попутного нефтяного газа и оборудовав факельные установки насадками беспламенного горения. Сокращение фугитивных выбросов возможно при исключении применения на месторождении резервуаров сырой нефти, оборудование резервуаров крышками с понтонами, соблюдении технических регламентов работы оборудования.

При условии 95-ти % полезного использования попутного нефтяного газа, основной вклад в выбросы парниковых газов на месторождениях вносит собственная генерация электроэнергии, следовательно, именно сокращению выбросов парниковых газов от объектов стационарного сжигания топлива в настоящее время уделяется наибольшее внимание.

Наиболее распространенным вариантом собственной генерации энергии на месторождении в настоящее время являются газотурбинные электростанции (ГТЭС) открытого цикла. Возможными способами сокращения выбросов диоксида углерода, характеризующимися наибольшей эффективностью, в данных условиях являются:

1. эффективное использование теплового выхлопа энергии;
2. замена электрического обогрева теплоснабжением с использованием теплофикационной воды от котельных;
3. использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ);

4. повышение эффективности работы газотурбинных агрегатов (ГТА) за счет организации парогазового цикла (ПГЦ);

5. организация системы улавливания углекислого газа от объектов стационарного сжигания топлива.

Под эффективным использованием теплового выхлопа энергии понимается применение установок утилизации тепла выхлопных газов энергогенерирующих установок с целью получения тепловой энергии для теплоснабжения потребителей.

Технологии №№1-4 обеспечивают сокращение выбросов парниковых газов за счет сокращения потребления топливного газа на электростанции. Организация системы улавливания углекислого газа направлена на отбор CO_2 из выхлопных газов ГТЭС до их попадания в атмосферу. Предложенные технологии обеспечивают сокращение выбросов парниковых газов в широком диапазоне. При этом, оптимальной считается та технология, которая позволяет добиться целевых показателей сокращения выбросов при минимальных капитальных вложениях и операционных затратах.

С целью определения оптимальной технологии сокращения выбросов, было проведено ранжирование существующих технологий по двум показателям: капиталовложениям и потенциалу сокращения выбросов CO_2 . Экономическая оценка вариантов проводилась на основе данных из открытых источников и разработанной технико-экономической модели в ПО IHS Questor.

По результатам технико-экономической оценки отмечено, что комбинирование технологии улавливания CO_2 с альтернативными вариантами генерации электроэнергии позволяет повысить долю сокращения выбросов CO_2 и снизить капиталовложения на организацию объектов улавливания и хранения углекислого газа. Однако, данный вариант предполагает внесение значительных изменений в схему энергогенерации и может быть применим только на перспективных электростанциях.

На основании результатов технико-экономической оценки был разработан алгоритм выбора способа снижения выбросов парниковых газов при условии наличия ГТЭС как основного источника выбросов парниковых газов (Рисунок 1).

Таким образом, в работе был проведен комплексный анализ существующих вариантов снижения выбросов парниковых газов на нефтегазодобывающих предприятиях. Предложенный алгоритм

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФЛОТАЦИИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВЗВЕСИ УГОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ИЗ ШАХТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Колмачихина О.Б., Лобанов В.Г.,
Хабибулина Р.Э., Маклашова Е.Д.

*УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург*

В последние годы остро стоит проблема очистки шахтных вод самого разного состава. Перед попаданием этих вод в водоемы необходимо удалять из них не только химические примеси, но и механические – мельчайшие твердые частицы, уносимые водой [1]. В качестве объекта исследований использовали сточную воду угольной шахты (Кемеровская обл.), отобранную в усреднителе-отстойнике шахтных вод (рис.1). Вода в отстойнике не подвергается никакой обработке, отстаивание проводится естественным путем. Вода насыщена мельчайшей взвесью частиц угля, которую необходимо удалить перед сбросом осветленной воды в водоем.



Рис. 1. Внешний вид пробы сточных вод угольной шахты

Флотация широко применяется для очистки сточных вод различного состава, так как позволяет эффективно и достаточно быстро удалять механические примеси [2]. Но в связи с тем, что очищенные воды в данном случае предполагается сбрасывать непосредственно в водохранилище, имеются ограничения по выбору и расходу флотореагентов из-за токсичности ряда реагентов. Соответственно, нежелательно использовать реагенты, традиционно применяемые для флотации угля – аполярные реагенты (керосин, дизтопливо, отходы нефтехимической промышленности и пр.). Лимитирующим показателем вредности для нефтепродуктов является органолептический – это пленка на поверхности воды; нормы ПДК нефтепродуктов для водоемов санитарно-бытового водопользования составляют $0,3 \text{ мг/дм}^3$, для объектов рыбохозяйственного значения - не более $0,05 \text{ мг/дм}^3$ и практически все они относятся к 4 классу опасности [3]. Хотя

нефтепродукты в воде постепенно разлагаются на углекислоту и воду, процесс протекает достаточно медленно - летом пленка нефтепродуктов разлагается в течение 10-14 дней, а осенью (при температуре ниже +4°C) и зимой процесс разложения не происходит. Так как образование сточных вод происходит круглогодично, а холодный период составляет до 6-7 месяцев, подбор реагентов при выборе флотации как метода очистки, имеет большое значение. Кроме того, необходимо учитывать сложность флотационного удаления подобных мелкодисперсных частиц.

Целью проведения исследований было оценить возможность флотационного выделения мелкодисперсных частиц (шламов) угля из сточных шахтных вод, не применяя реагенты на основе нефтепродуктов. Флотацию проводили в нейтральной среде (рН шахтной воды 7). На первом этапе провели тестовый опыт по флотации без использования флокулянтов, с добавкой только вспенивателя, но вывести угольные шламы в пенный продукт не удалось (рис.2).

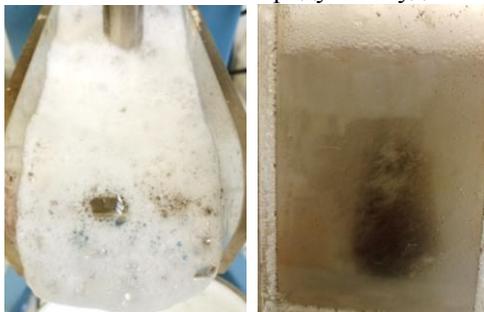


Рис. 2. Пустая флотационная пена и шахтная вода в кювете флотомашины после эксперимента безреагентной флотации

На втором этапе варьировали номенклатуру и расход флокулянтов и коагулянтов для укрупнения шламистых частиц и расход реагентов на флотацию. В качестве реагентов для сгущения использовали раствор $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3\text{Na}$; раствор сульфата алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; Праестол Pr 853. Для флотации - собиратель Flotent DSB и вспениватель – раствор лаурилсульфата натрия.

Пробу сточных вод заливали в кювету флотомашины, включали импеллер без подачи воздуха, добавляли коагулянты и флокулянты, перемешивали до образования хлопьев. После этого добавляли собиратель и активировали пульпу в течение ~1 мин для лучшего закрепления его на поверхности твердых частиц. Включали подачу

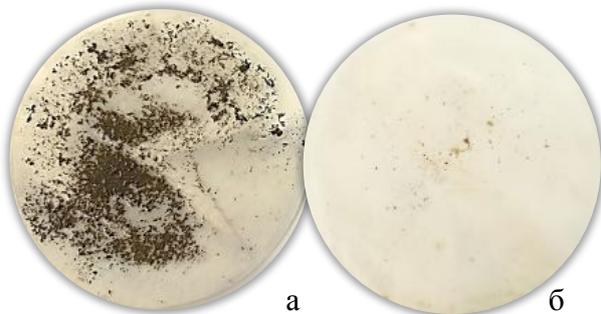
воздуха, добавляли вспениватель; снимали образующуюся пену. Продолжительность процесса флотации составила 3-4 мин.

После завершения процесса флотации отфильтровывали пенный продукт и оставшуюся в кювете флотомашины воду для оценки количества твердого в каждом продукте. Оптимизацию расхода реагентов не проводили, остаточную концентрацию реагентов в воде не оценивали.

Лучший результат по удалению углерода получили в опыте с комбинацией всех трех реагентов для сгущения шламов (рис.3-4)



Рис. 3. Флотационная пена и очищенная шахтная вода в кювете флотомашины после эксперимента с применением флокулянтов и флотореагентов



**Рис. 4. Укрупненные угольные частицы:
а - перешедшие в пенный продукт; б - оставшиеся в воде**

Таким образом, флотационная очистка сточных вод угольных шахт возможна, но лучшие показатели (минимальное содержание

твердого в воде после флотации) показал эксперимент с предварительной коагуляцией частиц при использовании комбинации сульфат алюминия + Pr 853 + додецилсульфат натрия и добавкой собирателя и вспенивателя, подбор и дозировка которых требует дополнительных исследований.

Список литературы

1. Ворон Л.В., Ланге Л.Р., Благоразумова А.М. Проблемы очистки шахтных вод // Вестник СГИУ. – 2015. – №2. – С. 76–79.

2. Золотов А.В., Лисовский В.А., Багреева И.С., Слепова Е.В., Ефременко Р. А. Флотация и её применение для очистки сточных вод // Science Time. – 2016. – №12 (36). – С 266–274.

3. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. N 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (с изменениями и дополнениями).

УДК 504.06

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЛИКВИДАЦИИ ОБЪЕКТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ ОТРАСЛИ ЧЁРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Анамов Д.Ф.

*Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург*

Чёрная металлургия является важным источником негативного воздействия на состояние окружающей среды [7]. Помимо выбросов отходящих газов печей и сбросов промышленных сточных вод, в результате деятельности по производству чугуна и стали образуется ряд специфических отходов: сталеплавильные и доменные шлаки, пыль газоочистки печей, замасленная окалина и осадки нейтрализации травильных растворов.

Хранение и захоронение любых многотоннажных отходов непосредственно связано с формированием объектов их размещения, которые также оказывают негативное воздействие на окружающую среду посредством водной [8] и воздушной миграции загрязняющих веществ, вместе с тем изымая значительные территории из хозяйственного пользования [4].

Многие из этих техногенных массивов могут быть отнесены к объектам накопленного вреда окружающей среде, ликвидация наиболее опасных из которых является одним из критериев выполнения национальной цели развития Российской Федерации – «Комфортная и безопасная среда для жизни» [9].

Очевидно, что для полного устранения экологических проблем, связанных с объектами размещения данных отходов, только лишь их консервации недостаточно, необходима полная переработка. Таким образом, целью данной работы является выявление проблем и перспектив ликвидации объектов размещения отходов отрасли чёрной металлургии.

Для того, чтобы определить в объектах каких типов чаще всего на практике размещаются перечисленные отходы, был произведён анализ государственного реестра объектов размещения отходов [3], на основании этого составлена таблица 1. Кроме того, в ней отражены пути утилизации этих отходов, выявленные в ходе анализа литературы.

В настоящее время большая часть новообразованных шлаков используется в дорожном строительстве, а также в качестве сырья для строительных материалов [7], другие же методы утилизации [6, 10, 11], представленные в литературе, не применяются в широкой практике.

При этом другие перечисленные отходы в основном подвергаются захоронению на полигонах промышленных отходов [3], где также размещаются отходы иных производств. Такая неоднородность техногенных массивов может привести к образованию новых соединений и к тому же создать проблему для будущей их обработки.

Стоит отметить важность поиска новых и альтернативных существующим методов утилизации отходов, несмотря на то, что многие из них могут быть неприменимы в условиях современной экономической конъюнктуры. Но при изменении рыночных условий их использование станет возможным.

В рамках анализа государственного реестра объектов размещения отходов [3] было выявлено всего 18 специализированных объектов, а при аудите государственного реестра объектов накопленного вреда окружающей среде [2] был обнаружен лишь 1, что при сопоставлении с масштабами данной отрасли говорит о недоучтённости таких объектов. При этом не учитываются объекты, эксплуатация которых завершена в прошлом веке и которые могут оказывать воздействие посредством миграции загрязняющих веществ.

Таблица 1

Объекты размещения и пути утилизации специфических отходов чёрной металлургии [составлено автором]

| Вид отхода | Объект размещения | Пути утилизации |
|--|--|---|
| Шлаки | Отвал | <p><i>Общераспространённые:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – материал основания дорог или их покрытия [7]; – компонент строительных материалов (вяжущее или инертный заполнитель) [7]. <p><i>Перспективные:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – реагент для водоочистки [1]; – мелиорант / удобрение [6]; – материал геохимических барьеров [10]; – извлечение металлов [7]. |
| Пыль газоочистки | Полигон промышленных отходов, шламохранилище | |
| Замасленная окалина | Полигон промышленных отходов | <p><i>Перспективный:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – пиролиз с последующим добавлением остатка в рудную шихту на этапе агломерации. |
| Осадок нейтрализации растворов травления | Полигон промышленных отходов, шламохранилище | – |

Перспективным шагом на пути к ликвидации объектов размещения отходов может послужить преобразование технологий на основе комплексного использования ресурсов [13]. К примеру, сейчас одним из отходов сталеплавильных производств является уже упомянутый осадок нейтрализации травильных растворов известковым молоком, помимо этого при приготовлении известкового молока образуется осадок гашения извести. Образования этих отходов можно избежать интеграцией в процесс очистки щелочных отходов [5].

Дальнейшие экспериментальные исследования будут направлены на оценку возможности использования сталеплавильных шлаков и пыли газоочистки дуговых печей ПАО «Ижсталь» для очистки отработанных травильных растворов этого же предприятия.

Список литературы

1. Антонинова Н.Ю., Собенин А.В., Усманов А.И., Шепель К.В. Оценка возможности использования отходов железо-магниевого производства для очистки сточных вод от тяжелых металлов (Cd²⁺, Zn²⁺, Co²⁺, Cu²⁺) // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 257-265. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.34>
2. Государственный реестр объектов накопленного вреда окружающей среде [электронный ресурс: [https://www.mnr.gov.ru/upload/medialibrary/980/ГРОНВОС%20по%20состоянию%20на%2012.07.2023%20\(22142477%20v1\).XLSX/](https://www.mnr.gov.ru/upload/medialibrary/980/ГРОНВОС%20по%20состоянию%20на%2012.07.2023%20(22142477%20v1).XLSX/)] Дата обращения: 31.07.2023.
3. Официальный сайт Росприроднадзора / Сведения из государственного реестра объектов размещения отходов [электронный ресурс: <https://rpn.gov.ru/activity/regulation/kadastr/oro/>] Дата обращения: 04.06.2023.
4. Пашкевич М.А., Алексеенко А.В., Нуреев Р.Р. Формирование экологического ущерба при складировании сульфидосодержащих отходов обогащения полезных ископаемых // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 155-167. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.32>
5. Пашкевич М.А., Харько П.А. Применение композитной смеси для очистки кислых дренажных вод хвостового хозяйства от металлов // Обогащение руд. 2022. № 4. С. 40-47. <https://doi.org/10.17580/or.2022.04.07>
6. Петрова Т.А., Рудзиш Э. Виды мелиорантов для рекультивации техногенно нарушенных территорий горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 4. С. 100-112. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_4_0_100
7. Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Зубкова О.С., Святченко А.В., Шайхиева К.И., Воронина Ю.С. Пыль электросталеплавильного производства как сырье для получения коагулянта // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 279-288. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.23>
8. Семячков А.И., Почечун В.А., Семячков К.А. Гидрогеоэкологические условия техногенных подземных вод в объектах размещения отходов // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 168-179. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.24>
9. Указ Президента Российской Федерации № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» от 21 июля 2020 г.
10. Чукаева М.А., Поваров В.Г., Сверчков И.П. Железосодержащие отходы металлообработки как хемосорбент для очистки сточных вод от ионов молибдена // Вестник Московского университета. Химия. 2020. Т. 61, № 1, С. 43-51.
11. Matveeva V.A., Chukaeva M.A., Sverchkov I.P. Low-cost sorption technologies for large-tonnage wastewater treatment in mining industries // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1384. № 012028. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1384/1/012028>

12. Strizhenok A.V., Korelskiy D.S. Improvement of the system of industrial environmental monitoring of atmospheric air in the area of anthropogenic arrays impact // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1384. № 012052.

13. Strizhenok A.V., Korelskiy D.S., Kuznetsov V.S. The wastewater disposal system modernization during processing of amber deposit as a way to reduce the anthropogenic load on the Baltic Sea ecosystem // Journal of Ecological Engineering. 2019. Vol. 20, № 3. P. 30-35. <https://doi.org/10.12911/22998993/99731>

УДК 669.331: 669.334: 669.223.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЖИГА ШЛАМА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО РАФИНИРОВАНИЯ ВТОРИЧНОЙ МЕДИ

Выдыш С.О., Богатырева Е.В.

НИТУ МИСИС, г. Москва

В процессе получения катодной меди образуются шламы, являющиеся концентратом благородных металлов. Содержание меди в шламах медного электролиза находится в диапазоне от 5 до 40 % [1]. Повышенное содержание меди в шламах способствует увеличению потерь благородных металлов с оборотами в процессе получения сплава Доре: медный штейн, шлаки. С целью снижения негативного влияния меди и снижения оборотных нагрузок применяется предварительное обезмеживание медеэлектролитных шламов в растворе серной кислоты с подачей кислорода в качестве окислителя. Известно, что для получения шлама с низким содержанием меди наиболее распространены технологии автоклавной переработки, позволяющие повысить концентрацию растворенного кислорода в растворе серной кислоты и разрушить труднорастворимые селениды и теллуриды меди и благородных металлов. В данном процессе наблюдается переход части серебра в раствор, который растет с повышением концентрации серной кислоты в растворе выщелачивания и температуры, но редко превышает 3%, что делает нецелесообразным извлечение серебра в селективный продукт на данном этапе [2-3]. С учетом этого, представляет интерес исследование возможности повышения извлечения серебра уже на первом этапе переработки медеэлектролитных шламов в серной кислоте.

Известно, что при высокотемпературной сульфатизации удается достичь перехода серебра в раствор на уровне 90%, но процесс имеет существенные недостатки, связанные с высокими энергозатратами

ми (до 3500-4000 кВт·ч на тонну шлама), сложностью фильтрования пульпы и переработки полученных растворов [3].

На основании вышеизложенного, для повышения извлечения серебра в раствор без применения дополнительных химических реагентов целесообразна предварительная термическая обработка шлама для изменения его фазового состава.

Объект исследования - медьэлектролитный шлак с содержанием меди и серебра 10,1% и 6,3%, соответственно, который подвергли обжигу в муфельной печи при температурах 500; 600; 700 и 800 °С продолжительностью 1 ч с последующим сернокислотным выщелачиванием (150 г/л H_2SO_4) в присутствии пероксида водорода (2 моль/л H_2O_2) при комнатной температуре в течение одного часа в стакане с магнитной мешалкой при 400 об/мин.

Исследования показали, что в процессе предварительного обжига значительная часть серебра окисляется и образует сложные серебросодержащие гидросульфаты меди различного состава, что позволило извлечь от 76,10 до 84,10% серебра в раствор сернокислотного выщелачивания при температурах предварительного обжига от 500 до 800°С. Большому извлечению серебра препятствует фаза $AgCl$, не вступающая во взаимодействие с раствором серной кислоты. При этом повышение температуры обжига до 800°С снижает извлечение меди в раствор с 96,40 до 48,30 %, которое может быть связано с образованием новых, нерастворимых в растворах серной кислоты соединений.

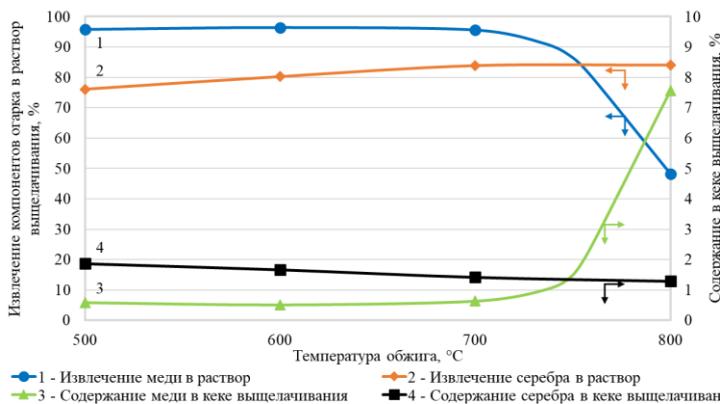


Рис. 1. Зависимости влияния температуры обжига на изменения содержания меди и серебра в кеках выщелачивания и их извлечения в раствор ($t=24^{\circ}C$; $C_{H_2SO_4}=150$ г/л; $C_{H_2O_2}=2$ моль/л; $\tau = 1$ ч)

Список литературы

1. Habashi F. Handbook of extractive metallurgy. Vol. II. Primary metals. Secondary metals. Light metals // Weinheim – 1997.
2. Lui G, Wu Y., Tang A., Pan D., Li B. Recovery of scattered and precious metals from copper anode slime by hydrometallurgy: A review. // Hydrometallurgy. – 2020 – Vol. 197, 105460.
3. Мاستюгин С.А., Волкова Н.А., Набойченко С.С., Ласточкина М.А. Шламы электролитического рафинирования меди // Екатеринбург: УрФУ – 2013. – 258 с.

УДК 66.0

ВЫДЕЛЕНИЕ АЛЮМИНИЯ КАК ЦЕННОГО КОМПОНЕНТА ИЗ ОТХОДОВ УГЛЕБОГАЩЕНИЯ

Легочева Е.С., Тихомирова А.В.

КузГТУ им. Т.Ф. Горбачёва, г. Кемерово

Угольная промышленность включает в себя добычу и переработку. Уголь повседневно применяется для производства электроэнергии, изготовления металлургического кокса, непосредственного сжигания в топливных целях, химической переработки, в результате которой получают различные виды продукции, но недостатком является то, что после его использования остается огромное количество отходов [1].

Угольные отходы – многокомпонентная система, из них можно извлекать в промышленных масштабах множество ценных компонентов. Одним из ценных химических элементов, входящих в состав отходов, является алюминий. В связи с постепенным истощением запасов природных ископаемых, с одной стороны, и накоплением огромного количества отходов, содержащих ценные компоненты, с другой, все большую актуальность приобретает проблема разработки технологии их извлечения [2].

Алюминий – химически активный металл, отличающийся высокой технологичностью, низким удельным весом, из него легко можно получать изделия сложной формы. Несмотря на то, что данный элемент является самым распространённым металлом в составе земной коры, запасы природных ископаемых минералов алюминия в России практически истощены. А мировая практика производства глинозема базируется именно на бокситах. В нашей стране их месторождения сконцентрированы преимущественно в европейской

части (91%). Помимо бокситов традиционным видом сырья являются и нефелиновые руды. Но поскольку некоторые месторождения этих руд эксплуатируются уже более 40 лет, то качество их оставляет желать лучшего. Поэтому, например, большая часть бокситов закупалась из Украины и Австралии.

Из вышесказанного следует, что извлечение алюминия, как ценного компонента из отходов углеобогащения приобретает всё большую значимость в условиях санкционных ограничений.

Задачи работы:

1. Анализ химического состава отобранных отходов углеобогащения;

2. Выбор метода извлечения алюминия из отходов;

3. Проведения экспериментов по извлечению алюминия.

Для извлечения соединений алюминия применяют щелочное и кислотное выщелачивание.

Щелочное вскрытие заключается в обработке сырья раствором гидроксида натрия. В результате щелочного воздействия алюминий в составе метаалюмината натрия (NaAlO_2), подвергают гидролизу с получением нерастворимого в воде гидроксида алюминия, после кальцинации которого получают Al_2O_3 . Данный метод используют при получении глинозема из бокситов. Но в случае зольного сырья, которое в отличие от бокситов содержит большое количество оксида кремния, технология щелочного разложения малоэффективна.

Кислотное выщелачивание заключается в обработке сырья минеральными кислотами с последующим осаждением щелочью в нерастворимый гидроксид алюминия [3].

Для извлечения алюминия был выбран порода с тяжелосреднего сепаратора обогащения угля. Далее он был сожжен при температуре 900°C . Данные химического состава были получены на рентгенофлуоресцентном спектрометре спектроскан МАКС-GV, размер навески составлял 0,2–0,5 г. Химический состав золы представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав золы

| Минеральные компоненты | Процентное содержание (%) |
|-------------------------|---------------------------|
| 1 | 2 |
| SiO_2 | 42,80 |
| Al_2O_3 | 12,50 |
| Fe_2O_3 | 12,60 |

продолжение табл. 1

| | |
|-------------------------------|------|
| 1 | 2 |
| MnO | 0,13 |
| MgO | 1,61 |
| CaO | 2,11 |
| Na ₂ O | 1,00 |
| K ₂ O | 3,60 |
| TiO ₂ | 0,61 |
| P ₂ O ₅ | 0,10 |

Отход смешали с концентрированной азотной кислотой и оставили на сутки. При этом наблюдалась бурная реакция и выделение пахучего, коричневого цвета газа (выщелачивание проводили до тех пор, пока не прекратилось выделение оксидов азота). Полученная смесь была профильтрована на вакуум-насосе. Твердый осадок и осадок после осаждения гидроксидом аммония сожгли при температуре 900 °С и определили их химический состав (таблица 2). Из результатов определения следует, что азотной кислотой полноценно получается извлекать только железо, далее твердый остаток от первой стадии выщелачивания смешивали с концентрированной серной кислотой при нагревании до 110°С в течении двух часов, а затем повторили те же действия, что и при выщелачивании азотной кислотой (таблица 2).

Таблица 2

Результаты определения химического состава отходов после выщелачивания

| Минеральные компоненты | Проба после выщелачивания (азотной кислотой) (%) | Проба после осаждения NH ₄ OH (%) | Проба после выщелачивания (серной кислотой) (%) | Проба после осаждения NH ₄ OH (%) |
|--------------------------------|--|--|---|--|
| SiO ₂ | 70,20 | 4,60 | 73,03 | 0,40 |
| Al ₂ O ₃ | 21,80 | 8,40 | 18,00 | 84,70 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,80 | 70,80 | 1,30 | 2,30 |
| MnO | 0,01 | 0,40 | 0,003 | 0,011 |
| SO ₃ | 0,08 | 1,85 | 3,00 | 2,50 |
| CaO | 0,12 | 9,90 | - | 0,40 |
| K ₂ O | 5,02 | 1,40 | 4,00 | 1,80 |
| TiO ₂ | 0,84 | - | 0,50 | 6,90 |

Из данных, представленных в таблице видно, что с помощью кислотного выщелачивания, алюминий выделяется из отходов, однако степень извлечения недостаточная, так как соединения алюминия всё ещё остаются в твёрдом остатке, хотя должны переходить в раствор. Для более качественной переработки отходов необходимо определить момент наступления равновесия в системе.

Список литературы

1. Черкасова Т.Г. Угольные отходы как сырьё для получения редких и рассеянных элементов / Т.Г. Черкасова, Е.В. Черкасова, А.В. Тихомирова, А.А. Бобровникова, А.В. Неведров, А.В. Папин / Вестник КузГТУ. №6. - 2016. – С. 185-188.

2. Зоря В. Н. Исследование техногенных отходов черной металлургии, в том числе отходов от обогащения и сжигания углей, и разработка технологий их переработки. Диссертация на соискание ученой степени кандидатских технических наук. Новокузнецк, 2015. - 207с.

3. Тихонов В.Н. Аналитическая химия алюминия / В.Н. Тихонов, М.: Изд-во «Наука», 1971. – 267 с.

УДК 67.03

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Баринкова А.А., Пирайнен В.Ю.

*Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург*

Алюминий является самым востребованным цветным металлом в мире. Как известно получение алюминиевой продукции – сложный технологический процесс в следствии которого образуется большое количество отходов. Согласно данным, представленных в общедоступных источниках, для получения 1 тонны алюминия, необходимо переработать 4-4,5 тонны руды, все остальное является побочными продуктами [1-3]. Как известно, основная часть отходов образуется на этапе извлечения глинозема, среди которых самым значительным по количеству и вредным является красный шлам.

Красный шлам (КШ) – отход, получаемый в процессе выщелачивания боксита. В качестве характерных особенностей бокситового остатка выделяют высокое значение водородного показателя (рН 11-13) и малую дисперсность частиц (преимущественно менее

20 мкм), что затрудняет процессы его переработки и утилизации без предварительной обработки [4].

На сегодняшний день широко применяемый способ переработки и утилизации красного шлама – складирование отхода в специальные шламохранилища, в связи с чем общее количество накопленного бокситового остатка на окончание 2022 года насчитывалось свыше 4 млрд тонн с ежегодным приростом в 140 млн тонн [5]. Однако, такой метод — это временное решение, так как помимо задействования «полезных» площадей земли наблюдается периодическое возникновение аварий на отстойниках с последующими рисками возникновения экологических катастроф [6].

Постоянное накопление красного шлама и повышение рисков разрушения шламохранилищ из-за постоянно растущих объемов отхода является серьезной причиной и основанием для поиска новых способов, которые позволят переработать и утилизировать как имеющийся КШ, так и вновь образованный. Среди таких способов самым реальным и очевидным, с точки зрения крупномасштабной переработки, является использование бокситового остатка в роли сырья для изготовления материалов. В качестве областей применения большого количества отходов, можно выделить производство строительных материалов на основе красного шлама и композиционных смесей для рекультивации и восстановления нарушенных земель.

В данной работе КШ будет рассмотрен как компонент композиционной смеси, предназначенный для рекультивации и восстановления нарушенных земель. Согласно опубликованным источникам, известно, что композиции в состав которых входит бокситовый остаток возможно применять в качестве материалов, способных рекультивировать грунты, а также в качестве материалов, способных стимулировать качество прорастания семян и рост растений [6, 7].

Для получения органоминеральной композиционной смеси были использованы: красный шлам Уральского алюминиевого завода (табл. 1) и верховой торф Заозерского месторождения Ленинградской области (табл. 1) влажностью 30% и 80%, соответственно. Применение торфа в качестве компонента композиционной смеси обосновано его высокой кислотностью (3,5-4 рН), которая способна привести к нейтральному состоянию водородный показатель бокситового остатка, а также значительным содержанием гумуса в соста-

ве, который обеспечивает плодородность почвы благодаря присутствию необходимых питательных веществ.

Таблица 1

Химический состав компонентов

| Оксиды | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | CaO | SiO ₂ | TiO ₂ | Na ₂ O | MgO | P ₂ O ₃ | ост. |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------------------|------------------|-------------------|------|-------------------------------|-------|
| КШ | 43,1 | 13,6 | 10,4 | 10,6 | 4,41 | 4,15 | 0,93 | 0,33 | 12,48 |
| неорг. ч. торфа | 0,19 | 0,2 | 0,57 | 1,01 | - | - | - | 0,08 | 97,95 |

Приготовление органоминеральной смеси было выполнено за счет ручного и механического измельчения двух составляющих с последующим их смешением, гранулированием экструзионным методом. После сушки в течении суток гранулы подвергались испытаниям на механическую устойчивость и статическую прочность. Было подготовлено и испытано несколько вариантов образцов с разной концентрацией компонентов (табл.2).

Таблица 2

Свойства образцов

| № | Соотн. комп. по сух. в-ву, КШ/торф | pH композиции | Рассыпчатость, % | Стат. прочн., МПа |
|---|------------------------------------|---------------|------------------|-------------------|
| 1 | 1/1,14 | 7,0 | 4,1 | 1,75 |
| 2 | 1/0,86 | 7,0 | 4,9 | 1,53 |
| 3 | 1/1 | 7,0 | 5,6 | 1,21 |
| 4 | 1/0,71 | 8,0 | 17,8 | 0,98 |
| 5 | 1/1,43 | 6,0 | 9,3 | 1,14 |

Наиболее подходящим соотношением составляющих для органоминеральной смеси являются составы, относящиеся к образцам 1-3, так как предложенные концентрации позволяют получить композиции с итоговым нейтральным значением водородного показателя и малым процентом рассыпчатости с достаточной устойчивостью к разрушению при постоянном давлении на готовый продукт.

Для проверки пригодности органоминеральной смеси в качестве композиции для рекультивации и восстановления нарушенных земель были проведены испытания на определение всхожести и прорастания семян овса. Всхожесть семян наблюдалась по истечению суток, а сравнение длины ростков производилось на 7 сутки. Результаты исследований показали, что применение предложенного удобрения способствует увеличению всхожести зерен с 88% до 96%, а

длины ростков - на 75% , относительно пророщенных семян без добавления гранул. Из чего следует, что использование красного шлама в качестве компонента для получения органоминеральной композиции является перспективным способом утилизации бокситового остатка, так как помимо возможности использования значительного количества отхода предложенный метод позволяет получить полезный товарный продукт с хорошими агрохимическими свойствами.

Предложенное решение защищено патентом РФ на изобретение [патент РФ на изобретение № 2 788 695, от 24 января 2023 г., опубликован Бюл. №3.] и может найти широкое применение в ландшафтном озеленении, лесном хозяйстве, а также при рекультивации и восстановлении нарушенных земель. Все испытания выполнены согласно ГОСТам 21560.0.82, 21560.2, 21560.5.82, 12038-84, 54248-2010.

Список литературы

1. Aluminum - lithium alloys: types, properties, application, and production technologies. Overview / I. K. Ablakatov, B. M. Bayserikov, M. B. Ismailov, M. R. Nurgozhin // Комплексное использование минерального сырья. – 2022. – No 4(323). – P. 5-14. – DOI 10.31643/2022/6445.34.

2. Fedorova E., Pupyshcheva E., Morgunov V. Modelling of red-mud particle-solid distribution in the feeder cup of a thickener using the combined CFD-DPM approach. *Symmetry*. 2022. Vol. 14, No. 11. DOI: 10.3390/sym14112314.

3. Archambo M. S., Kawatra S. K. Red mud: fundamentals and new avenues for utilization. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2020. Vol. 42. pp. 427–450.

4. Lebedev, A. B. Use of Alumina Production Waste Red Mud During Molten Sulfur-Containing Slag Granulation / A. B. Lebedev, V. A. Utkov, V. Y. Bazhin // *Metallurgist*. – 2019. – Vol. 63. – No 7-8. – P. 727-732. – DOI 10.1007/s11015-019-00882-z.

5. Bauxite and Alumina Statistics and Information – текст: электронный// USGS: science for a changing world: [сайт]. – 2023. – URL: <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/bauxite-and-alumina-statistics-and-information>: 3.08.2023)

6. Пиирайнен, В.Ю. Разработка композиционных материалов на основе красного шлама / В.Ю. Пиирайнен, А.А. Баринкова // Обогащение руд. – 2023. – № 3 – С. 37–43 – doi:10.17580/or.2023.03.06.

7. Трушко, В.Л. Актуальность и возможности полной переработки красных шламов глиноземного производства/ В.Л. Трушко, В.А. Утков, В.Ю. Бажин // Записки Горного университета – Санкт-Петербург, 2017. – Т. 227. – С. 547-553.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОКСИТОВОГО ОСТАТКА В КАЧЕСТВЕ ШИХТОВОГО МАТЕРИАЛА

Баринков В.М., Пиирайнен В.Ю.

*Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург*

Стабильное развитие металлургической промышленности является одним из ключевых показателей современного государства. Нарращивание экономического потенциала нашей страны представляет собой задачу стратегического значения, в связи с чем обеспечение предприятий черной металлургии качественным, доступным и дешевым сырьём по-прежнему носит актуальный характер. Удорожание доставки, добычи и переработки железорудного сырья мотивирует к поиску альтернативных путей решения данных задач. Разработка технологий переработки железосодержащих отходов, и их массовое применение, позволит получить существенные экономические выгоды и одновременно устранить проблемы потенциальных экологических угроз, которые несет в себе длительное хранение техногенных отходов.

Одним из таких дополнительных источников сырья является, так называемый, красный шлам (КШ), отход глиноземного производства, который образуется в процессе выщелачивания бокситов и имеет в своем составе до 55% оксидов железа [1]. Особенностью этого бокситового остатка служит высокая щелочная активность (рН 11-13) и мелкодисперсность, затрудняющие в дальнейшем процессы его переработки и вынуждающие складировать в специальные шламоотвалы [2]. В свою очередь, участвовавшие аварии на хвостохранилищах начиная с 2010-х годов (Венгрия, Бразилия и т.д.) настойчиво сигнализируют о необходимости перехода на методы обращения с бокситовым остатком, предполагающие его переработку, а не накопление [3].

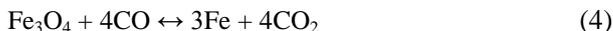
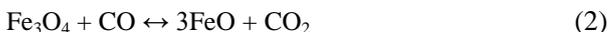
К таким методам переработки относится извлечение из красных шламов железа, непосредственно в цикле производства. Большого количества гематита (Fe_2O_3) в красном шламе позволяет провести прямое восстановление железа (табл. 1) [4]. Полученный полупродукт может быть использован в качестве шихты для выплавки чугуна и стали.

Таблица 1

Химический состав красного шлама [составлено авторами]

| Оксиды (% масс.) | Fe ₂ O ₃ | CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | MgO | TiO ₂ | SO ₂ | P ₂ O ₃ | Na ₂ O |
|------------------------|--------------------------------|------|------------------|--------------------------------|-------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------|
| мин - макс | 42-55 | 8-13 | 5-15 | 14-17 | 0,5- 1,4 | 2-5 | до 2 | 0,2- 0,5 | до 4 |

Уравнения ниже описывают восстановительный процесс [5].



В данной работе красный шлам рассматривается как компонент шламо-торфяной композиционной смеси, используемой в качестве шихты для производства чугуна и стали. Это позволяет использовать отход в количестве до 30% от общей массы смеси. В роли восстановителя и углесодержащего компонента разрабатываемой шихты был использован верховой торф Заозерского месторождения Ленинградской области. Кислотные свойства (pH = 2,6-4,5) различных типов торфа позволяют нейтрализовать щелочной КШ [6]. В качестве железосодержащего компонента шихты использовался красный шлам Уральского алюминиевого завода (УАЗ).

Исследование по восстановлению железа было проведено на образцах с различным содержанием компонентов в шихте. Образцы подготовлены путем добавление железосодержащего компонента в торф, влажность которого составляла более 80%. Получены показатели pH от 6,8 до 7,3. В последующем были сформованы окатыши диаметром 10 (мм) (рис.1).



Рис. 1. Окатыши до термообработки (справа) и после (слева) (фото авторов)

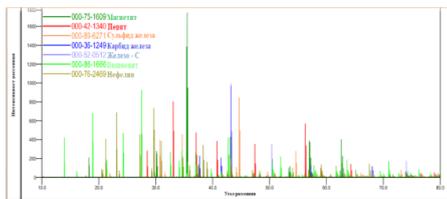


Рис. 2. Фазовый анализ

Отверждённые образцы помещались в лабораторную печь прокаливания (Top 100 + C440, Nabertherm), где подвергались различным режимам термической обработки. Далее образцы дробились, а полученные магнитные порошки черного цвета подвергались спектральному анализу, который показал наличие в фазовом составе магнетита (Fe_3O_4) с присутствием железа до 93% (рис. 2).

В результате исследования были обнаружены вкрапления практически чистого железа, подтверждающие протекание процесса его углелермического восстановления даже при невысоких температурах (560°C) (рис.3).

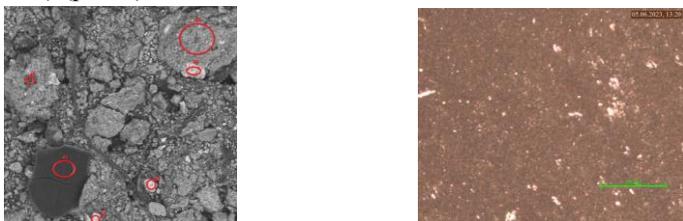


Рис. 3. Структура и морфология

Полученные результаты, несмотря на их предварительный характер, указывают на перспективность выбранного метода извлечения из красного шлама железосодержащего компонента и вероятной возможности его крупнотоннажного использования в качестве шихты для выплавки чугуна и стали. Для этого необходимо провести дальнейшие исследования, с целью установления оптимальных технологических параметров.

Список литературы:

1. Zinoveev D, Petelin A, Grudinsky P, Zakunov A, Dyubanov V. Extraction of Iron from Russian Red Mud by a Carbothermic Reduction and Magnetic Separation Process. Materials Proceedings. 2021; 3(1):23. <https://doi.org/10.3390/IEC2M-09247>.

2. Зиновьев Д.В. Обзор мировой практики переработки красных шламов. Часть 1. Пирометаллургические способы [Текст]/ Д.В. Зиновьев,

П.И. Грудинский, В.Г. Дюбанов, Л.В. Коваленко, Л.И. Леонтьев// Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2018. – Том 61. - №11 – С. 843-858.

3. Трушко, В.Л. Актуальность и возможности полной переработки красных шламов глиноземного производства/ В.Л. Трушко, В.А. Утков, В.Ю. Бажин // Записки Горного университета – Санкт-Петербург, 2017. – Т. 227. – С. 547-553.

4. Lebedev, A.B. Use of Alumina Production Waste Red Mud During Molten Sulfur-Containing Slag Granulation / A.B. Lebedev, V.A. Utkov, V.Y. Bazhin // Metallurgist. – 2019. – Vol. 63. – No 7-8. – P. 727-732. – DOI: 10.1007/s11015-019-00882-z.

5. Archambo M. S., Kawatra S. K. Red mud: fundamentals and new avenues for utilization. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2020. Vol. 42. pp. 427–450.

6. Piirainen, V.Y., Mikhailov, A.V., Barinkov, V.M., & Starovoitov, V.N. (2022). The use of sludge-peat composition for the processing of alumina production waste. Obogashchenie Rud, 2022(6), 51-58. doi:10.17580/or.2022.06.09

УДК 669.05

ПРОЦЕСС AVR: ЭФФЕКТИВНАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ ЦИАНИДА ИЗ ЦИАНИДНЫХ РАСТВОРОВ И ПУЛЬП

Каналы Е.С.^{1,2}, Болотова Л.С.¹

¹ *Филиал РГП «НЦ КПМС РК» ГНПОПЭ «Казмеханобр»*

² *АО «Казахстанско-Британский технический университет»,
г. Алматы, Казахстан*

Цианид является главным элементом выщелачивания, применяемый в горнодобывающей промышленности для переработки золотосодержащих руд [1]. Внедрение технологии сорбционного цианирования с применением активированных углей и ионообменных смол в золотодобывающей промышленности привело к увеличению потерь цианида. Цианид активно адсорбируется сорбентами в виде комплексных и частично свободных ионов CN, а затем во время десорбции золота и регенерации сорбентов разлагается элюентами при высокой температуре, что приводит к существенным потерям.

Примерно 20-30% от общего расхода реагента при цианировании золота уходят на химические потери цианистого натрия. Когда в руде присутствуют быстроокисляющиеся сульфидные минералы железа и медьсодержащие минералы, потери цианида на бесполезные взаимодействия с ними значительно возрастают. Для сокраще-

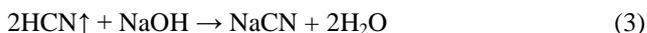
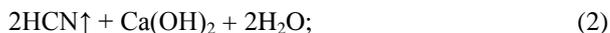
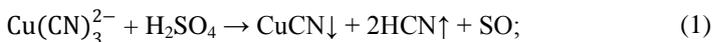
ния потерь дорогостоящего реагента необходимо проводить анализ каждого конкретного случая потерь и разрабатывать соответствующие мероприятия по их снижению [2 - 5]. Следует отметить, что цианидные комплексы цветных металлов проявляют большую стойкость по сравнению со свободным цианид-ионом и могут накапливаться в хвостохранилищах.

В настоящее время существует целый ряд известных методов и технологий для обработки хвостовых продуктов, которые содержат цианидные соединения, включая свободный цианид натрия. Процесс AVR является одним из них.

AVR получил свое название от условного обозначения, которая образована из названий различных операций, включающих в себя: Acidification (Подкисление) Volatilization (Возгонка) RENEUTRALIZATION (Регенерация).

Для снижения pH с 10 до 3-5 в растворах хвостов, получаемых в результате выщелачивания, применяется процесс подкисления с использованием серной кислоты. Во время этого процесса происходит выделение свободного цианида, а также превращение слабосвязанных цианидных комплексов (Zn, Cd, Ni, Cu) в HCN (цианид водорода), который затем выводится из раствора или пульпы путем пропускания мощной струи пузырьков воздуха. Для извлечения цианида газовый поток воздух/ HCN промывается известью или раствором каустической соды до уровня pH 10-11, чтобы преобразовать газообразный HCN обратно в свободные цианид-ионы [6].

Ниже, в последовательности приведены реакции, происходящие в процессе извлечения цианида:



По процессу AVR 67% цианида, присутствующего в растворе в виде комплексов ионов, можно вернуть в процесс в виде HCN, которой при поглощении щелочью переходит в NaCN. При наличии в растворе меди остальные 33% цианида осаждаются в виде одновалентной соли меди CuCN, которая обладает токсичными свойствами, но не используется как товарный продукт. Принципиальная схема процесса AVR приведена на рисунке 1.

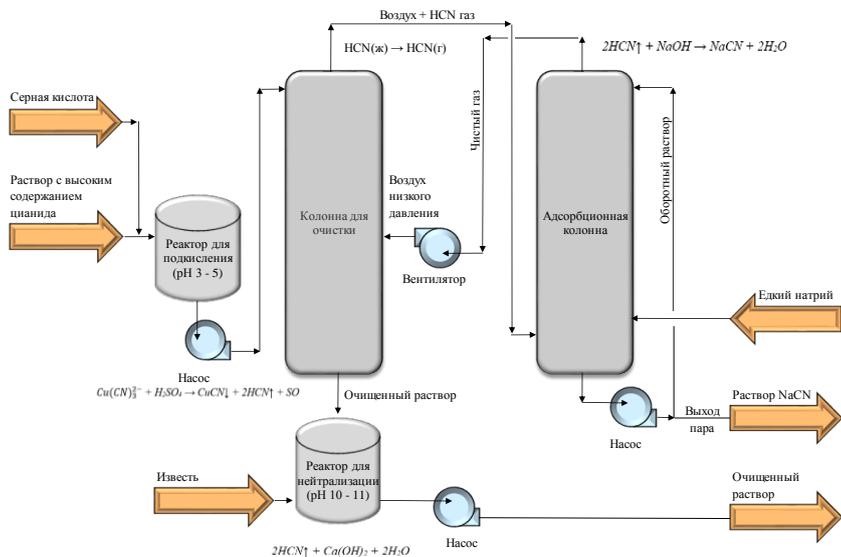


Рис. 1. Принципиальная схема процесса извлечения цианида AVR

Начало процесса протекает в специальном герметичном реакторе из нержавеющей стали, в который добавляется серная кислота. Этот этап длится около 10-20 минут, в результате чего значение pH снижается до 3-5. Задача подкисления на данном этапе заключается в сдвиге равновесия от цианистых комплексов металлов в сторону образования свободного CN^- и далее к HCN . Полученная в результате газообразная синильная кислота затем подвергается возгонке на следующем этапе процесса. Рекомендуется использовать сжатый воздух с удельным расходом от 300 до 800 м^3 на 1 м^3 раствора. Возгонка длится 3-4 часа. Поток диспергированного воздуха подается против течения рабочего раствора после подкисления. Из-за высокой летучести синильной кислоты (точка кипения 26 °C) и ее высокой растворимости в воде, массоперенос ухудшается. Поэтому высота противоточной камеры возгонки должна быть менее 3 метров, чтобы избежать слияния воздушных пузырьков. На следующем этапе синильная кислота улавливается в адсорбционной колонне, куда добавлен гидроксид натрия до повышения pH 10-11. При этом газ HCN регенерируется в цианид натрия. Регенерированный цианид натрия возвращается в основной технологический цикл для повторного использования при выщелачивании руды или концентрата.

Эффективность данной технологии зависит от нескольких факторов, включая количество цианидов, присутствующих в исходном растворе, и степень их извлечения, а также расход воздуха и реагентов, используемых для выполнения процесса. Чем больше цианидов содержится в исходной пульпе, тем быстрее данная технология окупается. Эффективность извлечения цианидов зависит от времени, которое затрачивается на кислотную обработку и последующее выделение цианида в газообразном виде. Однако, увеличение времени технологических процессов может привести к повышению энергозатрат и расходу реагентов [7].

Более 70 лет назад процесс AVR стал одним из первых опытов в горнодобывающей промышленности по извлечению цианида из хвостохранилищ. Этот процесс был успешно применен на серебряном руднике Пачука в Мексике и на руднике Флин Флон в Манитобе, Канада. В 2000 годы он также был внедрен на руднике Голден Кросс в Новой Зеландии и на руднике Деламар в Айдахо, США, Рио-Паракату в Бразилии и Серро Вангвардия в Аргентине. В настоящее время эти установки остаются единственными крупномасштабными коммерческими установками по регенерации цианида. Исследование в данной области продолжаются и, скорее всего, число подобных установок возрастет в следующем десятилетии [6].

Литература:

1. Silva A.L., Costa R.A., Martins A.H. Cyanide regeneration by AVR process using ion exchange polymeric resins. 2003. V. 16. P. 555-557.
2. Барченков В. В. Обогащительные и гидрометаллургические процессы извлечения из руд. 2022 г. С. 154.
3. Меретуков М. А., Струков К. И. Современные гидрометаллургические способы переработки золото-медных и медно-золотых руд. Зарубежный опыт. Цветные металлы. 2023. №1. С. 21-37.
4. Dai X., Simons A., Breuer P. A review of copper cyanide recovery technologies for the cyanidation of copper containing gold ores. Minerals Engineering 2012. V. 25. P. 1–13.
5. Lopez O., Petrovic N., Krashenina S. Copper and cyanide recovery from barren leach solution at the gold processing plant. International Mineral Processing Congress (IMPC 2014) in Santiago, Chile 2014.
6. Fleming C.A., Trang C. V. Review of Options for Cyanide Recovery at Gold and Silver Mines. Randol gold and silver forum. 1998. P. 313-318.
7. Кирнарский А.С. Теория и практика регенерации цианидов при обогащении золотосодержащих руд. Mineral processing 2012 - Вип. 50(91).

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИРОДНО-
ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ОСВОЕНИИ
ГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «САЛМАНОВСКОЕ»,
П-В ГЫДАНСКИЙ**

Дронов Д.А., Калабин Г.В.

ИПКОН РАН, г. Москва

Особенностью газодобычи в России является нахождение месторождений в труднодоступных и малонаселенных районах Крайнего Севера, в условиях многолетней мерзлоты, что, с одной стороны затрудняет добычу газа, а с другой - приводит к нарушению неустойчивого экологического баланса территорий. В данной работе приведены анализ и результаты исследований негативных последствий техногенных процессов, связанных с деятельностью предприятия по разработке газового месторождения «Салмановское (Утреннее) НГКМ. На основе анализа результатов выполненных ранее исследований, собственных наблюдений, а также проектной документации дается общая характеристика источников загрязнения, а также формирования и развития, негативных процессов в окружающей среде, при освоении газовых месторождений Арктики. Для обеспечения оперативного контроля за состоянием природной среды в режиме реального времени и оценки последствий рекомендуется использовать космические средства наблюдения что весьма актуально для удаленных и малонаселенных территорий.

К настоящему времени на полуострове Гыданский открыты 26 различных месторождений, отличающихся по величине запасов и фазовому состоянию углеводородов. Одним из крупнейших, является Салмановское (Утреннее) нефтегазоконденсатное месторождение (НГКМ) расположено на территории Тазовского района ЯНАО в северной части Гыданского полуострова и частично в акватории и на восточном берегу Обской губы. Состоит из 34 залежей: 16 газовых, 15 газоконденсатных, 2 нефтяных и газоконденсатных и 1 нефтяной [3].

Основными источниками загрязнения атмосферы территорий размещения предприятий газовой промышленности являются низкие организованные выбросы, которые переносятся ветровыми потоками в приземной атмосфере на большие расстояния и приводят к гибели местной фауны (мхи, лишайники), которые не имеют корневой си-

стемы и питаются за счет воздуха. Это буровые станки, работающие в основном на дизельном топливе, дымовые трубы печей, выхлопные трубы газоперекачивающих агрегатов, факельные установки, взрывные работы и др., которые выбрасывают в атмосферу окислы азота, окись углерода, углеводороды C_1-C_5 , метиловый спирт, соединения серы при наличии её в продукции скважин, бенз(а)пирен.

В современных условиях глобального потепления климата, больших тепловыделений при работе оборудования интенсифицируются процессы подтаивания активного слоя многолетней мерзлоты, что может привести к разрушению целостности почвенного покрова и гибели пастбищ северных оленей за пределами земельного отвода.

Антропогенные воздействия на окружающую среду в эпоху научно - технического прогресса становится всё более интенсивными и масштабными. Особенно серьёзно ощущается это в северных районах. Как показывает опыт освоения нефтяных и газовых месторождений о. Ямал, основной проблемой, связанной с рекультивацией земель, является неконтролируемое состояние фонда ликвидированных глубоких нефтяных и газовых скважин. Крупной проблемой является также погашение пустот, образовавшихся в толще породы при добыче полезных ископаемых. Ко всему прочему появились и ранее неизвестные геоэкологические проблемы. В 2014–2017 гг. на полуостровах Ямале и Гыданском обнаружено 12 гигантских кратеров (воронки) газовых выбросов (рис. 3) [7]. Сейчас кратеры полностью заполнились водой и превратились в озера округлой формы.

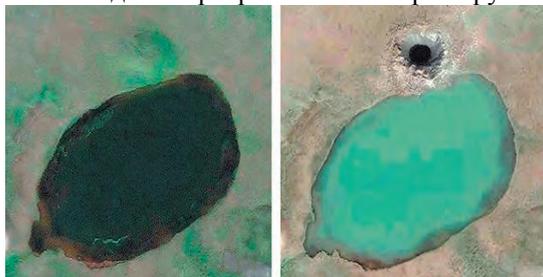


Рис. 1. Снимки Дерябинской площади со спутника DigitalGlobe 1 августа 2009 г. и 19 июля 2013 г. после формирования кратера газового выброса [8]

Наиболее опасными процессами и явлениями в криолитозоне России, способными привести к возникновению серьезных аварийных ситуаций, считаются пучение и осадка свайных фундаментов, образование бугров пучения с деформирующим воздействием на

инженерные сооружения. Основным условием пучения грунтов служит превышение общего объема замерзшей и незамерзшей воды, аккумулированной в массиве промерзшего грунта. Пучение грунта не будет наблюдаться, если объем свободных от воды пор будет равен или превысит приращение объема замерзшей воды.



Рис. 2 - Локальный бугор пучения на площадке агрегата воздушного охлаждения газа I очереди дожимной компрессорной станции УКПГ-1В, вскрытый буровым станком [8]

Обобщая потенциальные воздействия негативных инженерно-геологических процессов и явлений на промышленные объекты п-ва «Гыданский» с учетом ряда объективных факторов, можно перечислить основные риски их проявления, в [8]:

- пучение и осадка свайных фундаментов сооружений, часто с отрывом сварных соединений ригелей;
- повышение геотемпературного поля оснований;
- понижение кровли многолетней мерзлоты;
- деформация свайных фундаментов и потеря их устойчивости;
- прямое воздействие бугров пучения на здания и сооружения и т.д.

Для исключения развития такой ситуации Лаборатория мерзлоты Инженерно-технического центра (ИТЦ) осуществляет регулярные режимные измерения температур грунтов и других параметров. Маркшейдерская служба контролирует вертикальные и горизонтальные подвижки свайных фундаментов. Строятся карты пространственной визуализации параметров верха криолитозоны, позволяющие спрогнозировать развитие криогенного пучения, а значит, и своевременно устранить криогенные напоры в гидродинамической системе.

Техногенные изменения сложившихся условий природного равновесия, превышающие энергетический потенциал саморегуляции геосистем, приводят в действие механизмы их адаптации к новым условиям, которые приводят к (внешне проявляющиеся к) возникновению геохимических аномалий, изменению экзогеодинамических условий и активизации комплекса криогенных процессов, угрожающих надежности функционирования промышленных объектов.

Решение проблемы обеспечения геоэкологической безопасности природно-технических комплексов в уникальных по сложности при-

родных и горно-геологических условиях Ямала может быть успешным только с использованием принципов экологического нормирования при смене парадигмы «контроль воздействия на окружающую среду» на «предупреждение воздействия».

Список литературы

1. Петенко Н.И. Восстановление и использование нарушенных земель в районах нефтедобычи Тюменской области. Москва 1999г.

2. Тихановский Ф.Н. Разработка научных основ ресурсосберегающих технологий рекультивации земель крайнего севера Западной Сибири. Салехард 2004 г.

3. Калякин В.Н., Романенко А.В. и др. Гыданский заповедник// Заповедники Сибири. - М.: Логата.2000-Т.2. с.47-55.

4. «НОВАТЭК» заявил о двух новых залежах Утреннего месторождения и росте ресурсной базы проекта «Арктик СПГ 2» [электронный источник]: oilgascom.com <https://oilgascom.com/novatek-zayavil-o-dvux-novyx-zalezhax-utrennego-mestorozhdeniya-i-roste-resursnoj-bazy-proekta-arktik-spg-2/> © <https://oilgascom.com/> (дата обращения 11.05.2023).

5. Колчин И.М., Фуникова В.В., Ермолинский А.Б. «Экзогенные геологические процессы в зоне влияния трубопровода на территории гыданского полуострова» // Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории Земли — 2022, Издательство МИСИ – МГСУ, с. 85 – 91, 2022 г.

6. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. - Омск: ФГУП «Омская картографическая фабрика», 2004.

7. Аветов Н.Р., Краснова Е.А., Якушев В.С. Некоторые особенности приуроченных газопоявлений из интервала криолитозоны на территории Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения // Газовая промышленность. 2017. № 8. С. 44–47.

8. Арно О.Б., Арабский А.К., Зайцев А.Н. Некоторые аспекты геоэкологических техногенных проблем и космической погоды при освоении газовых месторождений в районе Ямбурга // Газовая промышленность. 2017. №S4 (762). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-aspekty-geoekologicheskikh-tehnogennyh-problem-i-kosmicheskoy-pogody-pri-osvoenii-gazovyh-mestorozhdeniy-v-rayone-yamburga> (дата обращения: 10.05.2023).

9. Способ снижения воздействия сил морозного пучения и повышения устойчивости свайных фундаментов в криолитозоне: пат. RU 2602538 С1: МПК E02 D27/35 (2006.01) / Арно О.Б., Арабский А.К., Балтабаев Ш.Г. и др.; патентообладатель ООО «Газпром добыча Ямбург»; № 2015137662/03; заявл. 03.09.2015; опубл. 20.11.2016, Бюл. № 32.

10. Гыданский полуостров // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. - 3-е изд. - М.: Советская энциклопедия, 1969-1978.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

| | |
|---|----|
| <i>Радченко Д.Н.</i> Совершенствование параметров технологии подземной разработки месторождений калийных солей на базе формирования консолидированных закладочных массивов | 3 |
| <i>Кубрин С.С.</i> Риски остановки технологического процесса добычи угля подземным способом | 6 |
| <i>Дрибан В.А.</i> Эволюция НДС обводненных массивов | 11 |
| <i>Самусев А.Л., Миненко В.Г., Кожевников Г.А.</i> Влияние ультразвуковых воздействий на выщелачивание редкоземельных элементов из нетрадиционного минерального сырья | 14 |
| <i>Кунилова И.В., Лавриненко А.А.</i> Современное состояние и основные направления извлечения ценных компонентов из отходов сжигания углей | 18 |
| <i>Минаев В.А., Нафизин И.О., Ишимухаметова В.Т., Устинова С.А., Петров В.А.</i> Применение данных дистанционного зондирования Земли для геологических, геотехнических и геоэкологических задач. | 21 |
| <i>Стефуныко М.С., Лусис А.В., Иванова Л.А.</i> Экологическая стабилизация нарушенных горных работами ландшафтов с применением мелиорантов на основе отходов селитяного комплекса в Арктической зоне РФ | 25 |
| <i>Жабин Д.В.</i> Повышение ходимости шин крупногабаритных самосвалов с применением методов компьютерного зрения в системе тепловизионного контроля | 28 |

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

| | |
|---|----|
| <i>Исаев В.С., Котов П.И., Киока А.</i> Динамика геокриологических условий ключевого участка уральского берега Байдарацкой губы. | 32 |
| <i>Котов П.И., Авилон Д.А.</i> Динамика температурного режима мерзлых грунтов в центре города Норильск | 35 |
| <i>Матюшенко А.А., Иванов А.А.</i> Результаты изучения карстовых процессов на территории г. Москвы геофизическими методами | 38 |
| <i>Никитенкова А.В., Никитенков А.Н.</i> Опыт применения гидродинамического моделирования для изучения условий Моховского водозабора (Республика Хакасия) | 42 |

| | |
|--|----|
| <i>Уткина А.В., Набатов В.В.</i> Выявление областей разуплотнённых грунтов в заобделочном пространстве тоннелей метрополитенов с помощью комплексирования признаков, вычисляемых по результатам обработки георадиолокационных трасс..... | 45 |
|--|----|

ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ, РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

| | |
|--|----|
| <i>Жариков И.Ф., Докутович М.И.</i> «Чистый уголь – зеленый Кузбасс» к вопросу определения рациональной забойки при производстве взрывных работ на разрезе | 49 |
| <i>Кулибаба С.Б.</i> Об углах сдвижения земной поверхности..... | 52 |
| <i>Шалованов О.Л., Бородин Д.С., Салий С.Г.</i> Перспективы использования микросейсмических наблюдений для изучения скоплений углеводородов в геодинамически активных приразломных зонах | 55 |
| <i>Рева В.Н., Васютина В.В.</i> Прогноз предельного состояния горного массива над выработанным пространством с позиции механики разрушения | 59 |
| <i>Канин В.А., Туманов В.В., Пивень Ю.А., Васютина В.В.</i> Методы контроля эффективности закрепления неустойчивости горного массива синтетическими скрепляющими составами | 62 |
| <i>Добрынин А.А., Марков В.С., Меркушев С.Г.</i> Опыт применения патронированных эмульсионных взрывчатых веществ при строительстве Московского метрополитена | 66 |
| <i>Шилова Т.В., Сердюк И.М.</i> Особенности измененеия проницаемости грунтов при укреплении двухкомпонентным полимерным составом | 69 |
| <i>Ломов М.А., Сидляр А.В.</i> Моделирование полей напряжений и оценка устойчивости массива горных пород при отработке очистного блока в удароопасном массиве горных пород..... | 72 |
| <i>Пашичев Б.Н., Трофимов В.А., Филиппов Ю.А.</i> Использование геомеханических расчетов в блочной модели ГГИС MICROMINE | 75 |
| <i>Прищепов В.В., Лучакина М.Д.</i> Разработка метода оценки абразивных свойств грунтов для прогнозирования износа режущего инструмента при щитовой проходке | 79 |
| <i>Баева Е.К.</i> Обоснование модели напряженно-деформированного состояния массива мерзлых горных пород | 82 |

| | |
|---|-----|
| <i>Якимчук Н.В., Старикова И.Г., Кравченко А.В.</i> Теплогазокинетические параметры угольных пластов..... | 85 |
| <i>Радченко А.Г.</i> Закономерности изменения природной газоносности и выбросоопасности углей Донбасса в ряду метаморфизма, с ростом глубины и по площади..... | 90 |
| <i>Радченко А.Г.</i> Способы обнаружения участков, опасных по газопроявлениям в горном массиве | 93 |
| <i>Азаров А.В., Сердюков С.В.</i> Исследование закономерностей развития трещины гидроразрыва вблизи цилиндрической полости..... | 97 |
| <i>Шилин Н.А., Бессчетнов С.А., Шилин В.А.</i> Возможности использования интерференционной микроскопии для исследования структурной нарушенности геоматериалов..... | 101 |
| <i>Хохлов Б.В., Дрибан В.А.</i> Методика прогноза долговременной геомеханической устойчивости шахтных стволов в водоотливном комплексе..... | 104 |
| <i>Дрибан В.А., Хозлов Б.В., Рожко М.Д., Антипенко А.В.</i> Изменение прочности пород обводненных массивов на примере участка «Ясиновский глубокий» | 107 |
| <i>Кулибаба С.Б., Рожко М.Д.</i> Повышение достоверности результатов инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности. | 110 |
| <i>Рыбалкин Л.А., Ефремов С.В., Сердюков С.В.</i> Исследование создания противодиффузионных экранов твердеющим составом в серии трещин гидравлического разрыва..... | 113 |
| <i>Ягель Н.В., Загорименный И.М., Блохин Д.И.</i> Оценка устойчивости повторно используемых подготовительных выработок при разработке пологозалегающих угольных пластов | 116 |
| <i>Федоров Е.В., Кулибаба С.Б., Милетенко Н.А.</i> Оценка эффективности дегазации неразгруженного массива пластовыми скважинами | 120 |
| <i>Федоров Е.В., Кулибаба С.Б.</i> Характер изменения параметров метановыделения при переходе очистного забоя в надработанный участок горного массива..... | 122 |
| <i>Дрибан В.А., Дуброва Н.А., Шевченко Е.Н.</i> Формирование пустотности подработанного массива в условиях крутого падения горных пород | 125 |
| <i>Дмитриев С.В., Семенова И.Э.</i> Учет влияния параметров межблоковых интерфейсов нарушенного массива горных пород в методе конечных элементов..... | 129 |

| | |
|--|-----|
| <i>Ковальчук И.О., Кондрашов А.В.</i> Метод определения оптимального времени замедления между сближенными скважинными зарядами | 132 |
| <i>Радченко А.Г.</i> Особенности изменения газоносности угольных пластов при проведении горных выработок | 136 |
| <i>Салюков В.С.</i> Внутренние механические потери в горных породах в низкочастотном диапазоне | 140 |
| <i>Франтов А.Е., Мингазов Р.Я., Никитин Г.Б.</i> Некоторые характеристики гранулитов с углеродными компонентами | 142 |
| <i>Кулибаба С.Б., Силевич А.С.</i> Оценка перспективы использования фотограмметрического метода для наблюдений за сдвижением земной поверхности | 148 |
| <i>Антипенко А.В.</i> Формирование базы данных повреждений земной поверхности Донбасса | 152 |
| <i>Харченко А.В.</i> Газоносность рудных месторождений | 154 |
| <i>Li Jingkai, Andrian S. Batugin, Wang Zhiqiang.</i> Influence of isolated island mining face length on the underlying main roadway: A case study in China | 158 |
| <i>Брухавецкая А.О.</i> Сравнительный анализ результатов гранулометрического состава горной массы, взорванной с использованием различных средств инициирования | 161 |
| <i>Кочанов А.Н., Кочанов С.А.</i> Влияние структурной неоднородности и влажности на прочностные и упругие свойства образцов горных пород | 163 |
| <i>Багаутдинова Б.Р.</i> Управление геомеханическими процессами при отработке и рекультивации карьера по добыче кварцевых песков | 166 |
| <i>Франтов А.Е., Белоусов Ф.С.</i> Сравнительный анализ характеристик твердых горючих добавок для простейших взрывчатых веществ | 170 |
| <i>Докучаева А.И., Коцюба В.А., Малинникова О.Н.</i> Элементный состав углей при определении склонности к самовозгоранию | 173 |
| <i>Докучаева А.И., Малинникова О.Н., Долгова М.О.</i> Экспериментальное обоснование температурного интервала для изучения склонности углей к самовозгоранию ТГ-методом | 175 |

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

| | |
|---|-----|
| <i>Клементьева И.Н., Куулар О.О.</i> Зависимость мощности электродвигателя механизма размыкания грузевого ковша с люлькой выемочно-погрузочного драглайна от категории экскавируемых пород | 178 |
| <i>До Чи Тхань, Чан Суан Фуонг (Вьетнам)</i> Модели нейронной сети для прогнозирования концентрации метана в шахте Вьетнама | 181 |
| <i>Хасанов М.К., Бородин С.Л., Столповский М.В.</i> Инжекция перегретого водяного пара в природный пласт | 185 |
| <i>Савватеев Я.В., Иляхин С.В., Корнилов Б.А.</i> Усиление отраженного сигнала георадиолокационного зондирования под действием фонового поля (поля подсветки)..... | 187 |
| <i>Татарников В.И.</i> Влияние добавок отходов переработки руд фосфорита на механические характеристики консолидирующегося закладочного массива при освоении Гремячинского месторождения | 191 |
| <i>Ковальский Е.Р., Конгар-Сюрюн Ч.Б.</i> Особенности многостадийной выемки руды при разработке калийных месторождений | 195 |
| <i>Масальский С.С., Петров К.Д., Задорина Д.С., Назарова Д.С. Баскаков А.Д.</i> Обоснование применения САД систем при проектировании разработки месторождений открытым способом | 198 |
| <i>Петров К.Д., Масальский С.С., Задорина Д.С., Назарова Д.С., Баскаков А.Д.</i> Обоснования применения специализированного автотранспорта в стесненных условиях на открытых горных работах | 200 |
| <i>Хапсироков А.С., Белодедов А.А.</i> Расчет параметров развала рудной массы с учетом минералосодержащих формаций..... | 202 |
| <i>Ребенок Е.В., Глухов А.А.</i> Использование методов сейсморазведки для прогноза зон вероятного скопления метана в углепородном массиве | 205 |
| <i>Яковлев И.В.</i> Обоснование условий транспортирования сухих компонентов закладочных смесей в калийный рудник | 209 |
| <i>Фролова А.Ю., Зотов В.В.</i> Анализ способа повышения ресурса футеровки скипов рудничных подземных установок | 212 |
| <i>Кирков А.Е., Зубков П.О.</i> Исследование напряженно-деформированного состояния геомеханической системы целик-закладка при формировании консолидированных закладочный массивов при разработке глубокозалегающих месторождений калийных солей | 215 |

| | |
|---|-----|
| <i>Трофимов В.В.</i> Особенности прогноза сейсмоакустическим методом тектонических нарушений сближенных угольных пластов | 216 |
| <i>Бабанова И.С.</i> Современное состояние и проблемы надежности систем электроснабжения электротехнических комплексов предприятий минерально-сырьевого комплекса на основе применения специализированного программного обеспечения | 220 |
| <i>Красюкова Е.В.</i> Обоснование параметров геотехнологии выемки запасов алмазоносных месторождений в опасных зонах от водных объектов..... | 223 |
| <i>Айтказинова Ш.А., Киргизбаева Д.М., Нукарбекова Ж.М., Нурпеисова М.Б.</i> Способ укрепления откосов борта карьера | 225 |
| <i>Нефедов С.И., Икренников М.С.</i> Использование группы датчиков для определения параметров источника сейсмических колебаний . | 229 |
| <i>Нефедов С.И., Икренников М.С.</i> Достоверность измерений трех координатного датчика виброскорости..... | 232 |
| <i>Имашов А.Ж., Салкынов А.Т.</i> Автоматизированный мониторинг массива горных пород при повторной разработке Жезказганского месторождения | 235 |

АЭРОГАЗОПЫЛЕДИНАМИКА

| | |
|---|-----|
| <i>Кубрин С.С., Стрелецкий А.А.</i> Выявление морфологических характеристик пыли, образованной в результате проведения массовых взрывов на угольном разрезе, и фрактальной размерности Минковского..... | 239 |
| <i>Кобылкин А.С., Докучаева А.И.</i> Проблемы дисперсного анализа угольной пыли при использовании анализатора частиц Analysette 22 . | 241 |

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

| | |
|--|-----|
| <i>Айбек уулу М.</i> Распознавание оползней на основе данных дистанционного зондирования оптического диапазона | 245 |
|--|-----|

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ

| | |
|---|-----|
| <i>Романевич К.В., Мулев С.Н.</i> Использование машинного обучения и нейронных сетей в задачах классификации геодинамических процессов по электромагнитному излучению горных пород и данным сейсмомониторинга | 249 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| <i>Дианов П.А., Блохин Д.И., Загорименный И.М.</i> Использование нейронной сети для прогнозирования циклов обрушения кровли при высокоинтенсивной отработке угольного пласта механизированными комплексами | 252 |
| <i>Беляев А.М., Беляева Т.С.</i> Исследование параметров пуска вертикальных подъемных установок с резинотросовыми канатами | 255 |
| <i>Швыдкин С.А., Герике Б.Л., Ефимов А.С.</i> Обеспечение безаварийной эксплуатации несущих элементов карьерной техники..... | 259 |
| <i>Вальнев В.В., Котелева Н.И.</i> Программный сервис по обслуживанию и ремонту оборудования на основе дополненной реальности . | 262 |
| <i>Князькин Е.А.</i> Эволюция бизнес-процессов горного предприятия на фоне развития цифровых технологий | 265 |
| <i>Сыропятов А.А., Нефедов С.И.</i> Обзор современных средств определения объема сыпучих материалов на складах добывающих и перерабатывающих предприятий | 267 |
| <i>Милетенко Н.И., Федотенко Н.А.</i> Обеспечение безопасности информационных систем для горнодобывающих предприятий | 273 |

ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

| | |
|---|-----|
| <i>Баранов А.Г., Васюшко М.В., Ананьева А.В.</i> Экспресс-метод анализа железа магнитного в рудных материалах с минимизацией процесса пробоподготовки | 277 |
| <i>Абурова В.А., Афанасова А.В.</i> Применение микроволнового излучения для извлечения благородных металлов из углеродистого сырья..... | 278 |
| <i>Лублянова В.А., Афанасова А.В.</i> Извлечение меди из комплексных медных руд на основе комбинирования флотации и выщелачивания..... | 280 |
| <i>Мусаев В.В., Чиннова Н.Б., Ключников А.М., Шакиров Д.А., Братыгин Е.В., Дмитриева Е.Г.</i> Комплексная переработка пиритных хвостов | 284 |
| <i>Заятдинов С.В., Ефремова Т.А.</i> Преимущества поверхностного рентгенофлуоресцентного метода над объемным рентгеноабсорбционным при сортировке многокомпонентных медьсодержащих руд..... | 287 |

| | |
|--|-----|
| <i>Богатырева Е.В., Карташева А.И.</i> Исследования влияния микроволновой обработки карбоната церия на характеристики диоксида церия | 290 |
| <i>Сагатбек С., Тусупбекова Т.Ш.</i> Исследование влияния депрессоров углерода при обогащении золотосодержащей руды | 291 |
| <i>Прохорова Е.О., Смирнов А.Ю.</i> Направленное регулирование поверхностных свойств углеродсодержащих материалов..... | 297 |
| <i>Тимофеев А.С., Двойченкова Г.П., Подкаменный Ю.А.</i> Результаты опытно-промышленных испытаний азотированного ферросилиция..... | 299 |
| <i>Адамова Л.С., Дмитрак Ю.В.</i> К вопросу о математическом моделировании процесса разрушения горных пород..... | 302 |
| <i>Мельник Ф., Богатырева Е.В.</i> Особенности экстракции РЗМ цериевой группы смесями экстрагентов ТБФ-Alіquat 336 | 306 |
| <i>Гладышева О.И., Матвеева Т.Н.</i> Экспериментальное обоснование применения цианэтилированного эфира дитиокарбаминовой кислоты для повышения извлечения золотосодержащих сульфидов ... | 308 |
| <i>Громова Н.К.</i> Современное состояние технологии разделения коллективных концентратов в процессах обогащения медно-молибденовых руд..... | 311 |
| <i>Громова Н.К., Минаев В.А.</i> особенности адсорбции эфира дитиокарбаминовой кислоты на золотосодержащем халькопирите | 315 |
| <i>Гетман В.В.</i> О взаимодействии дитиопирилметана с медью и серебром в процессе флотации комплексной труднообогатимой руды | 317 |
| <i>Бушуев Д.А., Зеновьев И.А., Лавриненко А.А., Сыса П.А.</i> Повышение эффективности магнитной сепарации при обогащении железистых кварцитов..... | 320 |
| <i>Кожевников Г.А., Самусев А.Л., Миненко В.Г.</i> Влияние ультразвуковых воздействий на эффективность выщелачивания циркония и РЗЭ из эвдиалитового концентрата | 322 |
| <i>Зеновьев И.А., Бушуев Д.А., Кунилова И.В., Лавриненко А.А., Миленко Н.И.</i> Исследование процесса получения углеродного концентрата из золы сжигания каменных углей | 327 |
| <i>Сафронов О.А., Лавриненко А.А., Кунилова И.В.</i> Получение алюмосодержащих коагулянтов из золы сжигания углей | 329 |

| | |
|---|-----|
| <i>Баева А.П., Митрофанова Г.В.</i> Влияние состава жидкой фазы пульпы на флотацию апатита из апатит-нефелиновой руды..... | 332 |
| <i>Алзаммар М., Жегалло Е.А.</i> Морфологические типы фосфатизированных бактерий в сирийских меловых фосфоритах Пальмиры . | 335 |
| <i>Гетман В.В., Каркешикина А.Ю.</i> Повышение селективных свойств водорастворимого полимера методом твердофазного модифицирования..... | 339 |
| <i>Кагарманова Г.Д., Артемьев А.В., Митрофанова Г.В.</i> Оценка поверхностных свойств апатита, кальцита, нефелина под влиянием ионов флотационной пульпы..... | 342 |
| <i>Ветюгов Д.А., Матвеева Т.Н.</i> Применение новых составов бенто-полимерных композиций для производства высококачественных железорудных окатышей..... | 345 |
| <i>Гапчич А.О., Новиков И.С.</i> Проблемы утилизации избыточных рассолов на калийных горно-обогатительных предприятиях и пути их решения..... | 350 |
| <i>Бектибаев У.А., Исмаилова А.А., Жалгасулы Н.</i> Подземное и кучное выщелачивание медно-колчедановых руд..... | 354 |
| <i>Хамзина Т.А., Кузнецова И.Н.</i> Современное состояние и перспективы развития флотации угольных шламов..... | 358 |

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР

| | |
|---|-----|
| <i>Задорина Д.С., Масальский С.С., Петров К.Д., Назарова Д.С., Баскаков А.Д.</i> Определение экономической эффективности дополнительного разноса бортов карьера с целью добычи полезного ископаемого..... | 361 |
| <i>Назарова Д.С., Петров К.Д., Задорина Д.С., Масальский С.С.</i> Определение факторов организационно-экономической структуры горного предприятия, влияющих на охрану труда..... | 363 |

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ

| | |
|---|-----|
| <i>Якушева Е.Д.</i> Методологические аспекты создания конвергентных горных технологий при реализации концепции устойчивого развития минерально-сырьевого комплекса..... | 366 |
| <i>Галченко Ю.П., Докутович М.И.</i> К вопросу о методологии решения проблемы контроля пылевого загрязнения экосистем в пределах горно-добывающего региона..... | 370 |

| | |
|---|-----|
| <i>Сибатуллина А.А., Волкова Е.А.</i> Сибай – зона экологического бедствия или...? | 373 |
| <i>Метакса А.С., Избай А.И., Бектибаев У.А., Метакса Г.П., Исмаилова А.А.</i> Обоснование новых технологических приемов добычи руд выщелачиванием | 376 |
| <i>Жуликов В.В.</i> К вопросу о негативных последствиях производства и применения иницирующих составов в капсулах детонаторах .. | 378 |
| <i>Сметанина Л.А., Колмогорова В.А.</i> Комплексный подход к решению задач декарбонизации нефтегазовых проектов | 383 |
| <i>Колмачихина О.Б., Лобанов В.Г., Хабибуллина Р.Э., Маклашова Е.Д.</i> Использование флотации для удаления взвеси угольных частиц из шахтных сточных вод | 386 |
| <i>Анамов Д.Ф.</i> Проблемы и перспективы ликвидации объектов размещения отходов отрасли чёрной металлургии | 389 |
| <i>Выдыш С.О., Богатырева Е.В.</i> Исследование процесса обжига шлама электролитического рафинирования вторичной меди | 393 |
| <i>Легачева Е.С., Тихомирова А.В.</i> Выделение алюминия как ценного компонента из отходов углеобогащения | 395 |
| <i>Баринкова А.А., Пиирайнен В.Ю.</i> Рациональное использование отходов глиноземного производства | 398 |
| <i>Баринков В.М., Пиирайнен В.Ю.</i> Рациональное использование бокситового остатка в качестве хитового материала | 402 |
| <i>Каналы Е.С., Болотова Л.С.</i> Процесс AVR: эффективная регенерация цианида из цианидных растворов и пульп | 405 |
| <i>Дронов Д.А., Калабин Г.В.</i> Методические подходы обеспечения геоэкологической безопасности природно-технических комплексов при освоении газового месторождения «Салмановское», п-в Гыданский | 409 |



ГК «ЭВОБЛАСТ» – производитель передовых коммерческих взрывчатых веществ, средств инициирования и инженерных решений в области ведения буровзрывных работ (БВР) для горнодобывающей и строительной отраслей промышленности. Работает на российском рынке с 1993 года. Является локальным преемником компании ORICA, применяя лучшие мировые практики и стандарты при проектировании и ведении БВР.

Группа специализируется на предоставлении решений премиального качества: передовых эмульсионных взрывчатых веществ для открытых и подземных горных работ, решений для геотехнического мониторинга, инженерных решений в области применения электронных систем инициирования для надежного и эффективного проведения взрывных работ.

ГК «ЭВОБЛАСТ» реализует проекты в 14 регионах – от Кольского полуострова до Чукотки. В компании работает более 500 специалистов.

Профессиональная команда, технологические решения и высокие стандарты – это фундамент устойчивого развития группы. Решения группы разрабатываются как с учётом эффективности, так и с заботой об окружающей среде. ГК «ЭВОБЛАСТ» инвестирует в будущее поколение, сотрудничая с учебными заведениями России.

ГК «Эвобласт»,
Москва, 125315, Ленинградский проспект, 72, к.1, 8 эт.,
+74956411164, www.evoblast.ru

ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР В XXI ВЕКЕ ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ

Техническое редактирование
и компьютерная верстка *Н.А.Вдовина*

Подписано в печать с оригинал-макета 05.10.2023 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага «Мега Copy Office». Печать офсетная. Набор компьютерный. Объем
26,5 п.л. Тираж 300 экз. Заказ № 271.

Институт проблем комплексного освоения недр им. академика
Н.В. Мельникова РАН
111020, Москва, Крюковский тупик, 4.
Издание ИПКОН РАН, 111020, Москва, Крюковский тупик, 4