

**Российская академия наук  
Отделение наук о Земле РАН  
Российский фонд фундаментальных исследований  
Научный совет РАН по проблемам горных наук  
Институт проблем комплексного освоения недр  
им. академика Н.В. Мельникова РАН**

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

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

**16-20 ноября 2020  
Москва**

**Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр.** Под редакцией академика РАН К.Н. Трубецкого.// Составители: канд. техн. наук А.В. Шляпин, канд. техн. наук А.Г. Красавин, канд. техн. наук Н.А. Милетенко – М.: ИПКОН РАН. – 2020. – 524 с.

В сборнике опубликованы статьи участников 4-й конференции Международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого, видного ученого и признанного лидера в области горных наук, комплексного освоения недр Земли и экологии.

Конференция организована Российской академией наук, Отделением наук о Земле, Научным советом РАН по проблемам горных наук, Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН.

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

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

*Финансовая поддержка оказана  
Российским фондом фундаментальных исследований  
Грант РФФИ №20-05-22039 «Научные мероприятия»*

## ПРИВЕТСТВИЕ

---

---

### УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ!

В этом году ИПКОН РАН в очередной раз радушно открывает свои двери участникам конференции Международной научной школы академика РАН К.Н.Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр».

Эффективное управление природными ресурсами является основой устойчивого развития всех государств, напрямую влияет на качество жизни и здоровье миллионов людей. В России вопросам рационального природопользования и улучшения экологической обстановки придается приоритетное значение. В связи с этим проводимая в нашем институте 4 Международная научная школа академика РАН К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» представляет собой одну из важных ступеней для достижения столь значимых целей как обобщение и анализ полученных знаний по наиболее важным направлениям горных наук, так и по подготовке молодых научных кадров.

Одними из главных ориентиров, которые ставит перед собой школа – принципы преемственности, ценности знаний и опыта старшего поколения ученых. Поскольку именно умение грамотно оценить и использовать знания и мастерство учителей, видных ученых, позволяет правильно сориентироваться в направлениях определения наших дальнейших фундаментальных исследований, а также найти пути решения различных вопросов горной науки и промышленности нашей страны и за ее пределами.

Основная цель проведения этой научной конференции – поиск решений стратегически важных задач для стран, связанных с горнодобывающим сектором и освоением недр, которые видятся в обозримом будущем одними из важнейших слагаемых развития минерально-сырьевого комплекса. Обеспечение потребности в минеральном сырье связано с развитием и углублением фундаментальных исследований, комплексностью в изучении теоретических, технологических, экономических и социальных проблем освоения недр.

Ученые нашего института будут рады поделиться наработками, имеющимися в этой области и, одновременно, изучить опыт своих российских и зарубежных коллег.

Уверен, что конференция пройдет в конструктивном ключе, будет способствовать объединению усилий научного сообщества и горного производства в деле комплексного освоения и сохранения земных недр.

Желаю всем участникам конференции успешной работы, плодотворного поиска решений проблем рационального использования природных ресурсов!

Сборник содержит доклады представителей академических и отраслевых институтов, ВУЗов, горнообогатительных предприятий России, Казахстана, Армении, Украины, Узбекистана, ДНР, ЛНР, США, Китая, Польши, Монголии, Вьетнама и других стран. В рамках программы конференции представлены и обсуждаются результаты новых исследований по таким направлениям как природоподобные технологии для эффективного освоения недр, проблемы геомеханики и разрушения горных пород, совершенствование техники и технологии освоения месторождений полезных ископаемых, газодинамика и рудничная аэрология, управление производством, экономические и социальные проблемы освоения недр, цифровизация и роботизация в горнодобывающем секторе, экологическая и промышленная безопасность горных работ.

Директор ИПКОН РАН  
член-корреспондент РАН

В.Н.Захаров

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

---

---

### СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ И СОХРАНЕНИЯ РЕСУРСОВ ЗЕМНЫХ НЕДР

Академик РАН К.Н. Трубецкой

*Президиум РАН*

В общем развитии цивилизации и богатства стран основополагающее место занимают ресурсы земных недр, от качества освоения которых зависит сохранность окружающей среды для будущих поколений.

Благодаря ресурсам земных недр горное дело является одной из важнейших областей деятельности человека по их освоению, так как они занимают не только основополагающее место в богатстве стран, но и в общем развитии цивилизации.

Человечество ежегодно извлекает из недр Земли многие сотни миллиардов тонн различных руд, горючих ископаемых и строительных материалов. В результате переработки этого сырья выплавляется свыше 800 млн. т различных металлов, рассеивается на полях более 400 млн. т минеральных удобрений и до 4 млн. т различных ядохимикатов. Индустрии добычи твердых полезных ископаемых принадлежит первое место в образовании и накоплении на поверхности планеты твердых отходов, количество которых составляет не менее 65-70%, а в некоторых случаях до 90% от общего объема добычи. В недрах Земли образовалось огромное количество полостей и пустот в виде отработанных шахт и карьеров. В результате изменяется сбалансированное за предшествующие эпохи напряженное состояние массивов, нарушается режим подземных и поверхностных вод, деформируется и сама земная поверхность.

Нарастающий технологический прессинг на природные экосистемы приводит к их быстрому и часто необратимому разрушению, которое по своим масштабам постепенно принимает глобальный характер. При этом парадоксальность ситуации заключается в том, что прогрессирующая деградация природы происходит на фоне быстро растущих расходов человечества на ее охрану; при этом энергетические ресурсы, необходимые для сохранения природы на современном уровне развития, могут быть получены только путем техногенного разрушения фундамента этой природы — литосферы Земли.

Как отмечал академик В.И.Вернадский: «жизнь является... не внешним, случайным явлением на земной поверхности. Она теснейшим образом связана со строением земной коры, входит в ее механизм и в этом механизме исполняет величайшей важности функции, без которых он (человек) не мог бы существовать». Иными словами, в какой бы степени недр не были исчерпаны, общество не может существовать, когда их использование невозможно.

Поэтому использование недр для получения полезных ископаемых является сегодня и в обозримом будущем безальтернативной необходимостью существования человека. От того, как в наше время будет организовано это производство, какие ограничения и допуски будут наложены на его развитие, в широком смысле зависит сохранение или наоборот разрушение подвижного равновесия в природной среде, сложившегося за геологические периоды развития планеты.

Сегодня практически все мировое сообщество построено и функционирует за счет результатов прямого или косвенного разрушения определенных участков литосферы и последующего использования полученного при этом вещества. По последним данным, минеральное сырье дает исходные материалы и энергетическую основу производству 70% всей номенклатуры конечной продукции человеческого общества.

Экономическая система человечества состоит из людей, средств производства и материальных благ. На протяжении последних столетий население росло темпами, далеко превышающими известные ранее истории, и это беспрецедентное увеличение стало возможным только в условиях сопровождающего его еще более быстрого расширения производства материальных благ. Население мира за последние около 60 лет увеличилось примерно на 4,6% в год, а добыча полезных ископаемых на каждого жителя Земли – от 12,6 до 19,6% в год, то есть с удвоением каждые 10 лет.

Следует обратить Ваше внимание, что термины «производство» и «потребление» не совсем точны для описания процессов извлечения на поверхность значительных объемов полезных ископаемых и пустых горных пород. Фактически человек не производит и не уничтожает вещество и энергию, а только переводит их из одного состояния в другое. Человек преобразует сырье в товары, а товары – в ту или иную форму отходов, которые возможно превратить в сырье путем расхода энергии. В связи с этим при развитии цивилизации всегда будет требоваться определенный уровень добычи из недр Земли прежде всего энергетического сырья.

Россия на протяжении второй половины XIX, всего XX, первых десятилетий XXI веков и обозримого будущего была и будет крупнейшей

минерально-сырьевой державой, доля экспорта продукции которой, вне зависимости от социально-политического строя, масштабов страны, в разные периоды составляла не менее 50-75%.

Наше государство обладает конкурентными стратегическими минерально-сырьевыми преимуществами, при сохранении и усилении которых Россия в XXI в. сможет не только удовлетворить наиболее рациональным образом собственные потребности в минеральном сырье, но и занять более высокое и устойчивое геополитическое положение. Даже в кризисных мировых условиях доходы от экспорта важнейших видов минерального сырья и продукции их переработки являются главным источником пополнения федерального бюджета, финансирования инвестиционных программ национального значения, укрепления энергетической безопасности страны.

Вместе с тем, ежегодное извлечение различных горных пород из недр до 15 млрд. т в бывшем СССР в период второй половины XX столетия приводило к образованию от 3,5 до 10,2 млрд.т в год твердых отходов. В результате в отвалах и хвостохранилищах было накоплено уже к 2009 году только в России свыше 100 млрд. т таких отходов, наносящих вред охране недр, рациональному землепользованию и окружающей среде. К этому количеству ежегодно добавляется около 4 млрд. т в год. При этом доля горнодобывающей промышленности составляет 55%, топливно-энергетической и металлургической промышленности около 35%. Доминируют в образовании и накоплении отходов угольная промышленность, черная и цветная металлургия.

В целом по горной и перерабатывающей промышленности количество отходов составляет от 50 до 95% извлекаемой из недр горной массы. В то же время значительная часть отходов горно-обогатительного и металлургического производств может оцениваться в качестве сырья техногенных месторождений для получения металлов, строительных материалов, удобрений, химической продукции и др.

Особо следует подчеркнуть продолжающееся на протяжении многих последних десятилетий снижение качества полезных ископаемых на разрабатываемых и большинстве вновь вовлекаемых в эксплуатацию месторождениях, значительное усложнение горногеологических и экономико-географических условий освоения месторождений, особенно новых, при повышении требований к охране природной среды, что обуславливают устойчивую тенденцию существенного роста эксплуатационных и капитальных затрат в горной промышленности.

Таким образом, современное состояние минерально-сырьевого комплекса России в условиях резкого колебания цен на минеральные ресурсы, высокого уровня инфляции в сочетании с ростом банковских

ставок (до 24- 26%), сокращения до 30-40% уровня использования обрабатывающих отраслей, нехватки доступных кредитных средств даже у крупных горнодобывающих компаний, современной системы налогообложения, близкой к полной изношенности основных средств и применения устаревших технологий привели к нерентабельности освоения существенной части балансовых запасов месторождений. Сохранение этого состояния, а также отсутствие требуемых инвестиций и средств для освоения новых геотехнологий резко снижают уровень использования потенциала горной промышленности и не обеспечивают конкурентоспособность ее продукции (по номенклатуре, качеству и стоимости) на мировом рынке.

Основные направления развития горного дела в РФ в XXI в. стимулируют в первую очередь способы добычи и переработки руд черных, цветных и драгоценных металлов, урана, угля, алмазоносного, горно-строительного и горнохимического сырья, которые являются наиболее надежным плацдармом развертывания крупных инновационных проектов. При этом открытый способ разработки месторождений твердых полезных ископаемых был во 2-й половине XX в. и остается в 1-й половине XXI в. генеральным направлением развития горнодобывающей промышленности России, несмотря на все более усложняющиеся геологические и суровые природно-климатические условия освоения месторождений Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока и других регионов. Так, например, если только глубина карьеров и угольных разрезов в первой половине XX в. не превышала 200-300 м, во второй половине она возросла до 600-700 м, то перспективные карьеры XXI в. ориентированы на глубину 900 м и более.

Эффективность освоения глубокозалегающих месторождений потребовала от горных наук оптимизировать параметры горных работ, техники и технологии, изучить и разрабатывать принципы рационального сочетания различных ресурсосберегающих, малоотходных и ресурсовоспроизводящих технологических процессов, и, прежде всего, предусматривающих широкое применение автоматизированных систем планирования и методов управления добычей полезных ископаемых, особенно при разработке уникальных по масштабам распространения, как например КМА.

Исследованиями ученых и производственников обоснованы и реализованы коренные изменения геотехнологии освоения месторождений КМА с полной утилизацией всех образующихся отходов добычи и переработки в подземном выработанном пространстве с замкнутым оборотным водоснабжением горных предприятий (рис.1) [1].

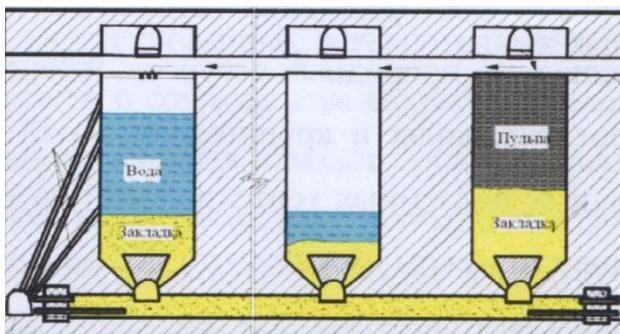


**Рис. 1. Поверхностная часть закладочного комплекса**

При реализации этих геотехнологий не требуется изъятие дополнительных плодородных земель, сокращаются потери полезных ископаемых в целиках и потолочинах, обеспечивается сохранность подработанных территорий и природно-техногенных запасов, оставленных в земных недрах. Эти геотехнологии адаптированы к условиям действующих комбинатов КМАруда, Лебединского, Стойленского, Михайловского.

В промышленном масштабе реализован способ приготовления закладочной смеси (рис.2), с формированием из отходов добычи и переработки руд природно-техногенного массива (рис.3), который становится элементом горнотехнической системы эксплуатации месторождений и служит для повышения устойчивости и несущей способности ограждающих конструкций, сохранения георесурсов для перспективного вовлечения их в промышленную эксплуатацию и гидрогеологического баланса региона за счет полного оборотного водообеспечения горно-обогатительных предприятий.

За «Разработку и крупномасштабное промышленное внедрение ресурсовоспроизводящих экологически сбалансированных геотехнологий комплексного освоения месторождений Курской магнитной аномалии» ученые ИПКОН РАН (акад. РАН К.Н. Трубецкой – руководитель, проф. Ю.П. Галченко, член-корр. РАН Д.Р. Каплунов, проф. М.В. Рыльникова), НИИ по проблемам КМА им. Л.Д. Шевякова (заведующий лабораторией подземных горных работ С.Г. Лейзерович) и производственники канд. техн. наук И.И. Помельников (ОАО «Рудпром»), Е.Б. Зубицкий, В.К. Томаев («Промышленно-металлургический холдинг»), В.В. Сидорчук, В.В. Шоков (ОАО «Комбинат КМА руда») удостоены в 2014 году Премии Правительства Российской Федерации.



**Рис. 2. Формирование консолидированного природно-техногенного массива в недрах Земли**



**Рис. 3. Технологическая схема движения минерально-сырьевых потоков**

Широкий спектр выполненных исследований в конце XX – начале XXI веков, охватывающих проблемы развития горной техники, технологии, геомеханики, экономики освоения недр и геоэкологии, позволяет обоснованно рассмотреть возможность изменения парадигмы освоения ресурсов из недр в том виде, в каком их создала природа.

Уже в ближайшей перспективе человечество должно осваивать месторождения полезных ископаемых с разработанными и заданными параметрами, обеспечивающими минимизацию отходов и загрязнения окружающей среды.

Технологии целенаправленного формирования месторождений целесообразно создавать на основе принципа геотехнологического продолжения образования полезных компонентов искусственными метода-

ми, с использованием природных сил для преобразования залежей к состоянию, максимально приемлемому к последующей разработке. Технологии должны предусматривать создание в массиве условий для пространственного обособления полезных компонентов, изменение физических свойств пород, условий залегания полезных ископаемых и – на этой основе – повышение эффективности традиционных и новых способов освоения месторождений. Применение этих технологий позволит расширить сырьевую базу за счет повышения концентрации полезных компонентов в недрах и вовлечения в разработку бедных месторождений и рудопроявлений; увеличить ценность месторождений за счет попутных компонентов, получаемых в процессах вещественных преобразований руд; снизить глубину горных работ за счет формирования техногенных залежей на геохимических барьерах вблизи поверхности Земли; сократить сроки разработки месторождений; снизить техногенную нагрузку на окружающую среду.

Для создания и практического применения таких технологий требуется глубокая интеграция усилий геологов, геохимиков, геофизиков, экологов и горняков.

В последние годы в ИПКОН РАН разрабатываются научные основы создания принципиально новой технологической базы природоподобных технологий, т.е. фактического включения технологии в цепочку замкнутого и самодостаточного ресурсооборота, который существует в природе. Рассматривая понятие «природоподобные технологии» как обозначение генерального направления модернизации общетехнологической парадигмы, необходимо выделить по признаку наличия или отсутствия у применяемых нами технологий прямых аналогов в живой природе два конкретных направления: во-первых, построение технологий на основе дублирования в техносфере эффективных процессов, наблюдаемых в живой природе (природовоспроизводящие технологии); во-вторых, создание технологических систем за счёт переноса в техносферу эффективной функциональной структуры обращения вещества и энергии в биологических системах (конвергентные технологии) [2,3,4].

### **Список литературы**

1. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Томаев В.К., Помельников И.И. Ресурсовоспроизводящие экологически сбалансированные геотехнологии комплексного освоения месторождений Курской магнитной аномалии //Горный журнал. – 2014. – №8. – С.45-49.
2. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Калабин Г.В. Особенности методологии создания и применения природоподобных горных технологий при освоении минеральных ресурсов Арктики/ФТПРПИ. – 2019. – № 3. – с.53-61.

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

4. Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Галченко Ю.П. Природоподобные и конвергентные технологии при освоении минеральных ресурсов литосферы//Вестник Российской академии наук. – 2020, том 90. – №5. – с.47-53.

## **ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, КАК ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ИМПЕРАТИВА**

**Галченко Ю.П.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

Антагоническое противоречие между биологической сущностью человека и абиологичными способами получения им энергии Солнца для создания пищевой базы и среды своего обитания является определяющим фактором, формирующим образ нашей технократической цивилизации.

В результате была сформирована антогонистическая по отношению к природе технократическая цивилизация, материальным и энергетическим фундаментом которой является минеральное сырьё и энергоносители, извлекаемые из недр Земли, а пищевой основой – биологическое вещество, получаемое за счёт полного уничтожения первичной биоты Земли и замены её искусственной биотой сельскохозяйственного назначения.

Экологические последствия развития этой 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 и 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.

Доминирующий экстенсивный характер процесса обеспечения техносферы минеральными ресурсами свидетельствует о том, что продолжение развития минерально-сырьевого комплекса в рамках действующей техно-

логической парадигмы несёт в себе вполне реальную угрозу разбалансирования всей системы обращения вещества в биосфере планеты.

Представляется вполне очевидным, что в методологическом плане технологические ответы на экологические вызовы следует искать в изучении систем, где эти ответы уже получены, то есть в биологических системах.

Развитие техносферы как основы современной цивилизации определяется простой функциональной триадой знание–умение–результат или наука–технология–продукт). Качественная характеристика элементов этой триады становится понятной при её рассмотрении в обратном порядке: необходимые для нас свойства продукта предопределяют внутреннее содержание технологии, а оно в свою очередь указывает на то, какую именно часть общего знания мы должны использовать при создании данной технологии. Поэтому часто применяемое сегодня словосочетание «природоподобные технологии» надо трактовать не как создание каких-то необычных технологий, а как определение вектора приложения поисковых усилий и как указание на то, что новые пути целенаправленного преобразования технологий мы намерены найти на основе знаний о живой природе.

Можно выделить два подхода к их поиску: разработка природоподобных решений для технологий, имеющих аналоги в живой природе и не имеющих таких аналогов.

В первом случае инновационное развитие определённой группы технологий основано на дублировании уже существующих в живой природе процессов- природовоспроизводящие технологии.

Во вторую группу попадают практически все технологии, благодаря которым создаётся искусственная среда обитания человека на территориях, которые ранее занимала естественная биота Земли. Поэтому здесь целью поиска становится не какая-то отдельная технология, а форма экологически уравновешенного (коэволюционного) взаимодействия антагонистических компонентов в ходе развития единой природно-технической системы.

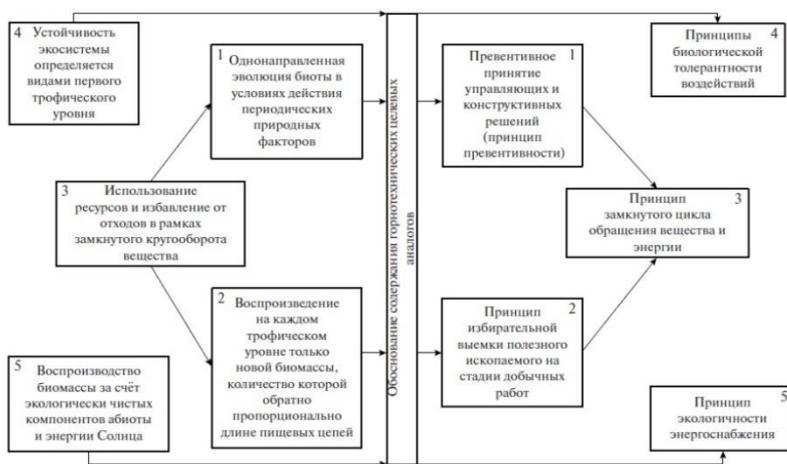
В такой постановке вопроса можно определить второй тип природоподобных технологий – конвергентные, в рамках которых антропогенные процессы взаимодействуют в биоподобной функциональной структуре.

Идея о принципиальной возможности создания конвергентных технологий для разработки месторождений полезных ископаемых была впервые выдвинута в ИПКОН РАН о том, что уровень экологической безопасности техногенных геосистем по отношению к системам биоло-

гическим пропорционален степени единообразия принципов функционирования обеих систем в виде выдвинутой и разработанной гипотезы.

Применение методов гомеостатической трансформации позволяет перейти от анализа принципов функционирования равновесных биологических систем к синтезу функциональной структуры горных технологий, экологические последствия использования которых будут сбалансированы с локальной устойчивостью естественной биоты, воспринимающей техногенную нагрузку. Таким образом можно перенести биологическую информацию в техносферу: геотехнологический гомеостат поэтапно формируется на основе структуры гомеостата биологического с заменой содержательных элементов на геотехнологические целевые аналоги.

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 экосистем (рис. 1).



**Рис. 1. Биотехнологические принципы формирования конвергентной горной технологии освоения месторождения**

В целом модернизация технологической парадигмы развития минерально-сырьевого комплекса в направлении постепенного перехода к конвергентным технологиям позволит разрешить в этой сфере деятельности глобальное антагонистическое противоречие между техно- и биосферой путём его трансформации в цепь локальных противоре-

чий между конкретным добывающим предприятием и реальной экосистемой. Каждое локальное противоречие преодолевается за счёт целенаправленного создания и применения технологических решений, уровень экологического воздействия которых не выходит за рамки диапазона толерантности видов-эдификаторов фитоценоза нарушаемых экосистем.

## **ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТИ ПО ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ ЗОЛОТОНОСНЫХ РУД**

**Каплунов Д.Р.<sup>1</sup>, Рыжов С.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *ИПКОН РАН,*

<sup>2</sup> *ПАО «Селигдар», г. Москва*

Оптимизация параметров производственных процессов разработки месторождений является неотъемлемой составляющей функционирования горнодобывающих предприятий и носит непрерывный характер [1,2]. Часто выявляется несовершенство существующих методов проектирования, которые не позволяют получить требуемое развитие производственной мощности комплексов по добыче и переработке золотоносных руд, то есть установить их оптимальные значения на различных этапах разработки месторождения по глубине и во времени [3]. Это особенно важно при отработке жильных крутопадающих залежей сложного строения.

Месторождения золота в зависимости от особенностей залегания, геологического строения, минерального состава и структуры массива горных пород характеризуются различным распределением содержания ценного компонента на участках рудного тела [4-6]. Степень однородности распределения содержания драгоценного металла в руде влияет на показатели извлечения золота на различных этапах и технологических стадиях освоения месторождения, что, в свою очередь, оказывает определяющее воздействие на экономическую эффективность проекта разработки, которая также зависит от глубины ведения горных работ и однородности распределения содержания золота в руде месторождения, которое определяет содержание ценных компонентов в рудной массе, отправляемой на переработку, на различных этапах освоения месторождения.

Перед началом формирования производственно-финансовой модели золотодобывающего предприятия на основе поблочных геологических данных или фактических опробований руды в процессе выемки запасов

устанавливается характер распределения содержания ценных компонентов и вредных примесей в руде [7,8]. Полученные сведения характеризуют в том числе отклонения содержания ценных компонентов в процентном соотношении от среднего содержания во всем объеме руды разрабатываемого месторождения. Данный массив является неотъемлемой частью производственно-финансовой модели, являясь основой расчета всех финансовых показателей проекта.

В общем виде производственно-финансовая модель представляет собой совокупность таблиц, в которых производится расчет трех основных показателей процесса оптимизации стратегии, режима и календарного плана разработки месторождений твердых полезных ископаемых: денежного потока за время реализации, величины чистой приведенной стоимости и срока окупаемости проекта. Конечным результатом финансов экономической модели, являющимся ориентиром в оценке эффективности проекта, является показатель чистой приведенной стоимости – NPV проекта, рассчитанный на основе анализа денежных потоков за весь срок обработки запасов.

Разработка стратегии освоения месторождения с оценкой оптимального уровня превышения объемов добычи руды над уровнем переработки позволяет варьировать размером товарной продукции от реализации золота на различных этапах отработки запасов, тем самым влиять на совокупный дисконтированный доход от освоения месторождения [9]. Экономический эффект применения указанного метода оптимизации стратегии разработки месторождения будет зависеть от распределения золота в руде по глубине и площади участков месторождения.

Выполненные исследования позволили установить, что чем менее однородно распределение содержания золота в руде, чем больше разброс этих показателей и чем ниже плотность распределения содержания относительно среднего значения, тем больший прирост к показателю чистой приведенной стоимости добавляет превышение объема переработки в начальный период освоения месторождения [10]. В случае относительно выдержанных колебаний в содержании драгоценных металлов по глубине месторождения, также предпочтительно превышение объемов добычи над переработкой со складированием относительно бедных руд во внешних временных рудных складах. При росте содержания золота с глубиной месторождения превышение годовых объемов добычи над переработкой позволяет значимо поднять доходность проекта за счет управления преимущественным развитием горных работ в глубину массива. В случае более высокого содержания золота вблизи поверхности, доходы проекта выше при равенстве объ-

емов добычи и переработки руды, даже в самый начальный период освоения запасов.

Наибольшее преимущество предложенный метод оптимизации приносит проектам освоения месторождения, для которых характерно наличие руд с большим разбросом качества и увеличение содержания ценных компонентов с глубиной. Реализация метода оптимизации производственной мощности для таких месторождений может позволить рентабельно отработать ранее не перспективные месторождения с достижением значительного роста NPV проекта.

### Список литературы

1. Каплунов Д.Р. Развитие теоретической базы проектирования горных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S1. С. 391-406.

2. Трубецкой К.Н. Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых // М.: ИПКОН РАН. – 2014. 196 с.

3. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В. Состояние и перспективы развития открытых горных работ в XXI веке // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S1-1. С. 21-32.

4. Zayernyuk V.M., Mukhomorova I.V., Zabaikin Iu.V., Egorova E.N., Seifullaev B.M. Analysis of the current state and prospects of the gold mining industry in Russia // Espacios. – 2017. – Т. 38. – № 58. P. 24.

5. Вареничев А.А., Комогорцев Б.В., Громова М.П. Сырьевая база золота России // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 8. С. 212-220.

6. Абрамова М.А. Перспективы мирового потребления драгоценных металлов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № S52. С. 8-12.

7. Asad, M.W.A., Qureshi M.A., Jang H. A review of cut-off grade policy models for open pit mining operations // Resources Policy. – 49. – 2016. Pp. 142–152.

8. Howe S., Pan J. Application of Enterprise Optimisation Considering Ultra High Intensity Blasting Strategies // Whittle Consulting Ltd. – 2018, 35 p.

9. Рыжов С.В., Иляхин С.В., Сытенков В.Н., Никитин А.А. Повышение эффективности использования ресурсного потенциала рудных месторождений // Горный журнал. – 2019. №12. С. 25-29.

10. Рыжов С.В., Рыльникова М.В. Обоснование структуры производственной мощности золотодобывающего предприятия на различных этапах развития открытых горных работ / Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – № 1. С. 458-470.

## СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ГЕОМЕХАНИКИ В ШКОЛЕ АКАДЕМИКА РАН К.Н. ТРУБЕЦКОГО

**Иофис М.А.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

Наиболее полно цели и задачи современной геомеханики сформулированы в монографии «Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли», изданной в 1997 году Академией горных наук под редакцией академика К.Н. Трубецкого. В ней изложены и основные пути решения этих задач. Практически одновременно были выполнены анализ и обобщение состояния изученности проблем геомеханического обеспечения горных работ по освоению и сохранению недр Земли. Результаты этой работы, выполненной совместно с Горным институтом Кольского филиала Академии наук, изложены в монографии «Основы механики горных пород», выпущенной издательством «Недра». Эта монография позже была переведена в США на английский язык и выпущена в свет американским издательством Terraspace. Впоследствии было организовано изучение этой монографии в Китае под руководством одного из ее авторов.

Интенсивное развитие горных наук во второй половине 20 века потребовало существенного упорядочения применяемой терминологии. Были пересмотрены понятия о геомеханике, применяемые в различных справочниках и документах различного уровня: от терминологического словаря «Горное дело» до «Большой Российской энциклопедии». В составлении этих документов приняли активное участие сотрудники ИПКОН РАН из школы академика К.Н. Трубецкого.

Геомеханика в своих научных основах, методах и средствах изучения массива горных пород и закономерностей процессов, происходящих в нем при недропользовании, тесно взаимодействует с другими научными дисциплинами и, в первую очередь, с горными науками. Наиболее подробно вопросы взаимосвязи горных наук, и прежде всего, маркшейдерии, в недрах которой зародилась и развивалась геомеханика, рассмотрены в «Маркшейдерской энциклопедии», выпущенной издательством «Горная книга» в 2006 году.

Значительное внимание уделяется преемственности поколений. Бывшие аспиранты школы К.Н. Трубецкого: Н.А. Милетенко, Д.Л. Негурица, Е.Н. Есина, Н.Н. Горбунова и другие защитили диссертации и преподают в Университете Дружбы Народов, Геологоразведочном университете, в университете МИСиС, на курсах повышения квалификации, продолжают вести научно-исследовательские работы в ИПКОН РАН. Они же активно участвуют в подготовке учебников и учебных пособий для ВУЗов.

Большую роль в становлении и развитии геомеханики в школе академика К.Н. Трубецкого сыграли монографии, подготовленные участниками школы (в соавторстве). Среди этих монографий: «Сдвигение и разрушение горных пород», «Сдвигение горных пород при освоении недр Земли», «Управление геомеханическими процессами при разработке месторождений полезных ископаемых».

Участники школы принимают активное участие в работе Международного научного симпозиума «Неделя горняка», руководителем секции которой в течение 20 лет является главный научный сотрудник ИПКОН РАН профессор М.А. Иофис. Он же – постоянный участник работы в экспертных комиссиях по расследованию различных аварий в качестве эксперта Ростехнадзора и Следственного комитета.

Важное место в школе занимают работы по составлению нормативной технической литературы. Настольной книгой инженерно-технических работников производства и проектных организаций является «Сборник руководящих материалов по охране недр при разработке месторождений полезных ископаемых», составленный участниками школы в соавторстве с Ростехнадзором и Министерством угольной промышленности, включая геомеханический мониторинг при освоении недр.

Много внимания в школе уделяется безопасности горных работ. За создание и широкое внедрение в производство способов искусственной дегазации угольных шахт, обеспечивающих высокопроизводительную разработку метаноносных пластов в 1984 году была присуждена премия Совета министров СССР. За разработку и внедрение технологических методов управления геомеханическими процессами при комплексном освоении недр в 2000 году была присуждена премия Правительства Российской Федерации.

В настоящее время исследуются вопросы использования разрушительной силы газо-геомеханических процессов в созидательных целях, управления гидрогеомеханическими процессами в районе влияния на водные объекты, а также многофункционального использования горных выработок и подземного пространства городов.

## **НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОСВОЕНИЮ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Залевская К.Н.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

В настоящее время многие техногенные образования, представленные отходами добычи и обогащения руд, могут быть поставлены на баланс горнодобывающих предприятий и освоены, как месторождения,

только при условии установления геолого-экономической эффективности их разработки. Однако, геологоразведка таких образований традиционными методами не приносит достоверных результатов, на основании которых возможно строить блочные модели, устанавливая кондиции, выделять в теле массива зоны с повышенным содержанием опасного компонента.

При решении проблем вовлечения в эффективную эксплуатацию техногенных образований, представленных лежалыми отходами добычи и переработки руд, актуальным, по-прежнему, остается вопрос применения принципиально новых технологий их эксплуатации для обеспечения, с одной стороны, горных предприятий сырьем заданного качества, с другой стороны, и ликвидации экологически опасных объектов. Приоритетами в поиске оптимальных технических решений для вовлечения в эксплуатацию лежалых хвостов обогащения руд являются эффективная и безопасная добыча и доставка техногенного сырья до обогатительной фабрики, обеспечивающая работоспособность оборудования, в том числе при низких отрицательных температурах; при круглосуточном режиме работы, а также с минимизацией эксплуатационных затрат и утилизацией конечных отходов после повторной переработки техногенного сырья [1].

Разработка обводненных техногенных объектов при контрастном содержании металлов в хвостах обогащения сопряжена со значительными трудностями в выборе технологии их освоения. До сих пор недостаточно обоснованы эффективные способы переработки сырья, отсутствует методика выбора выемочно-погрузочной техники и кондиции. Как правило, старогонные хвостохранилища были созданы без учета возможности будущего освоения, без обоснования оптимальных параметров качества складированного техногенного минерального сырья, для последующей их эффективной добычи и переработки, без проведения дополнительных геолого-оценочных, -разведочных работ и минимизированного воздействия на экосистему региона. Как свидетельствует практика изучения техногенных ресурсов Урала, с течением времени, свойства складированного сырья и структура хвостохранилищ значительно меняется. В результате гравитационного перераспределения техногенного вещества в массиве хвостохранилища формируются крупные обогащенные тяжелыми металлами зоны, пространственное размещение которых в плане контролируется расположением мест сброса пульпы, а в разрезе – изменением вещественного состава техногенного сырья под влиянием уменьшающихся климатических условий, Eh и pH агрессивной среды. Поэтому с учетом разнообразия и специфичности химического состава и особенностей морфологического строения отходов обо-

гащения руд эффективная и безопасная выемка ценного металла возможна при установлении в расслоенной структуре хвостохранилища внутренних зон, обогащенных полезными компонентами.

Как показал опыт геологической оценки толщи хвостохранилища золото-мышьяковистых отходов обогащения Новотроицкого месторождений (г. Пласт), широко применяемые на природных месторождениях технические средства разведки и способы опробования не дают возможности получить достоверные данные о качестве складировемого сырья в техногенном массиве [2-4]. В связи с этим возникают трудности в получении достоверных результатов опробования, и, как следствие, невозможность выполнить блочное моделирование разрабатываемого техногенного объекта. Принципы построения блочных моделей техногенных образований позволяют, с одной стороны, выбрать приоритетный порядок выемки сырья, а, с другой, – своевременно локализовать экологически опасные участки с повышенным содержанием высокотоксичных элементов.

В рамках решения данной проблемы был разработан способ обследования хвостохранилищ [5], расширяющий диапазон исследовательских возможностей при геологическом описании техногенного объекта, гарантирующий безопасность организации геологических работ и достоверность получаемой информации о строении и вещественном составе массива в диапазоне исследовательских задач. В процессе исследования технологических свойств техногенного сырья были определены эффективные параметры, обеспечивающие извлечение золота из отходов обогащения золото-мышьяковистых руд на уровне не менее 75% от исходного содержания благородных металлов в золото-мышьяковистой руде. Показано, что хвосты обогащения золотосодержащих руд относятся к легкоцианируемому минеральному сырью и обеспечивают технологические показатели переработки, сопоставимые с природным сырьем [6].

На основании установленных пространственных закономерностей изменения качества техногенного золотосодержащего сырья, распределения инженерно-геологических свойств отходов обогащения, с учетом устойчивости и несущей способности техногенного массива, результатов блочного моделирования был обоснован приоритетный порядок разработки Новотроицкого хвостохранилища золото-мышьяковистых руд, с последующей рекультивацией нарушенной территории для обеспечения социальных нужд г. Пласт.

### **Список литературы**

1. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Энергоэффективные и безопасные технологии разведки и разработки техногенных образований. Принципы проектирования технологических схем // Горная промышленность, 2018. – № 3 (139). – С. 86.

2. Радченко Д.Н., Залевская К.Н. Увеличение производственной мощности горных предприятий за счет вовлечения в эксплуатацию техногенных образований // X Международная конференция «Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу», 2019. – С. 188-192.

3. Радченко Д.Н., Залевская К.Н. Создание цифровой модели техногенного месторождения с обоснованием технологии его разработки // Материалы 14 международной научной школы молодых ученых и специалистов, 2019. – С. 215-217.

4. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Залевская К.Н., Лавенков В.С. Проблемы и перспективы вовлечения хвостов обогащения золото-мышьяковистых руд в эксплуатацию для решения экологических проблем региона // Сборник статей по материал международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность». – Севастополь: СевГУ, 2019. – С. 1422-1427.

5. Патент России № 2 700 139. Способ геологического исследования хвостохранилищ и устройство для его реализации / Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Федотенко В.С., Струков К.И., Залевская К.Н., 2019.

6. Радченко Д.Н., Хайдаров И.В., Залевская К.Н. Обоснование технологии добычи и переработки техногенного сырья Ново-Троицкого хвостохранилища // Известия Тульского Государственного Университета. Науки о Земле, 2020. – С. 188-192.

## **НОВЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ**

**Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я.**

*ГК «Цифра», г. Москва*

В настоящее время процессы цифровой трансформации горнодобывающих предприятий охватывают все стадии и технологические циклы добычи полезных ископаемых. Интеграция и комплексирование информационных систем горного производства, как одна из ключевых задач цифровой трансформации, открывают путь к созданию сквозных технологий управления горным предприятием на основе единой базы геологических и горно-технических данных. Построение комплексных информационных систем и эффективное применение технологий цифровой трансформации: облачных вычислений, промышленного интернета вещей (IoT), анализа больших данных (Big Data), прогнозной аналитики, искусственного интеллекта (AI) и широкополосной передачи данных (4G–5G) – возможны лишь на базе единой программной цифровой платформы для сбора, хранения, визуализации и анализа данных. При

этом на качественно новом уровне могут быть решены многие задачи обеспечения безопасности горных работ, являющихся приоритетными для горнодобывающих компаний. Основой для построения такой единой цифровой платформы комплексной системы управления производством и промышленной безопасностью открытых горных работ (ОГР) могут стать автоматизированные системы управления горнотранспортными комплексами (АСУ ГТК). Эти системы (класс информационных систем управления) нашли в ходе эволюционного развития процессов цифровой трансформации самое широкое применение в практике открытых горных работ и занимают сейчас центральное место в цифровом ландшафте горного предприятия [1]. Разработка новых методов контроля персонала горных предприятий, состояния горной техники и «окружающей среды» (горно-геологических и горно-технических условий отработки месторождений) при ведении открытых горных работ, основанных на технологиях искусственного интеллекта, анализа изображений и высокоточного позиционирования персонала и техники (контроль бодрствования водителей и операторов горной техники, предотвращение столкновений техники и наездов на персонал, удаленная диагностика состояния горной техники и др. [2,3]) и дальнейшая интеграция этих систем в АСУ ГТК на базе единой цифровой платформы является фактором одновременного повышения производительности и безопасности открытых горных работ. Смысл такой интеграции производственных систем и систем управления промышленной безопасности ОГР заключается в том, что большинство параметров технологических процессов ОГР, участниками которых являются карьерная техника, персонал и «окружающая среда» карьера (разреза), имеют двойственный характер: параметры, влияющие на производительность горных работ, определяют также и уровень их безопасности. Например, скорость карьерных самосвалов, их загрузка, состояние технологических дорог, давление и температура в шинах, качество вождения и показатели состояния водителя – все эти параметры влияют и на эффективность, и на безопасность горных работ.

Трансформация АСУ ГТК в АСУ ОГР и ПБ (рис. 1) позволяет создавать на единой методологической основе многофункциональные системы промышленной безопасности открытых горных работ [4] (МФСБ ОГР), применение которых регламентировано Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности (20 ноября 2017 г.). «Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом»: *п. 545. В целях обеспечения условий безопасной эксплуатации технических устройств, осуществления оперативного*

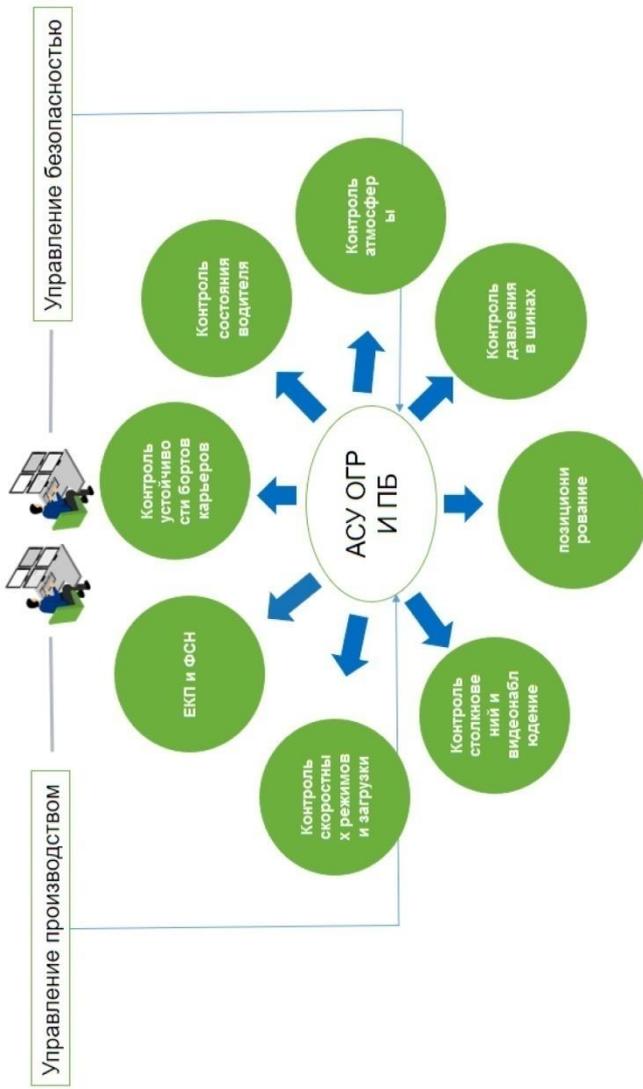


Рис. 1. Комплексная система управления безопасностью ОГР

*управления производственными технологическими процессами на угольном разрезе, недопущения развития и реализации опасных производственных ситуаций на угольном разрезе комплексы технических, технологических, инженерных и информационных систем должны быть объединены в многофункциональную систему безопасности (далее – МФСБ). Состав указанных систем, объединенных в МФСБ, должен быть определен на основании проекта с учетом установленных опасностей конкретного угольного разреза».*

Компанией «ВИСТ Групп» (входит в ГК «Цифра») на базе цифровой платформы V8 АСУ ГТК «КАРЬЕР» и других платформенных решений ГК «Цифра» были выполнены проекты по интеграции в АСУ ГТК «КАРЬЕР» систем и подсистем, контролирующих местоположения и состояние персонала и горной техники, окружающей среды:

- бодрствования водителей большегрузных самосвалов («ОКО»);
- предотвращения столкновений и наезда на персонал («RealTrack»);
- удаленной диагностики состояния горной техники (VG Diagnostics);
- качества технологических дорог в карьере (VG Roads);
- удаленного мониторинга состояния бортов карьера (Reutech);
- производственного контроля и выдачи нарядов (VG Works&Safety);
- контроля работы экскаваторов (VG Scarex)

Базовые функциональные модули АСУ ГТК «КАРЬЕР»: подсистемы контроля загрузки (VG LoadPro), давления и температуры в шинах (VG Tires), контроля зубьев ковша экскаватора (VG Bucket) также применимы для оценки безопасности ОГР, а установленные дополнительно системы контроля пожароопасности горной техники, параметров атмосферы в карьере и другие системы безопасности могут быть в перспективе оперативно интегрированы на базе единой цифровой платформы в МФСБ ОГР.

Концептуальная схема МФСБ ОГР на базе новых цифровых технологий управления промышленной безопасностью ОГР, АСУ ГТК «КАРЬЕР» и единой цифровой платформы ГК «Цифра» представлена на рисунке 2.

Предложенный концептуальный подход позволяет обеспечить гибкость в построении архитектуры комплексных систем АСУ ОГР и ПБ – возможность расширения дополнительными системами безопасности и мониторинга, а также использования единой базы данных для разработки прогнозных моделей опасных ситуаций и применения технологий машинного обучения для повышения точности и глубины прогнозирования инцидентов.

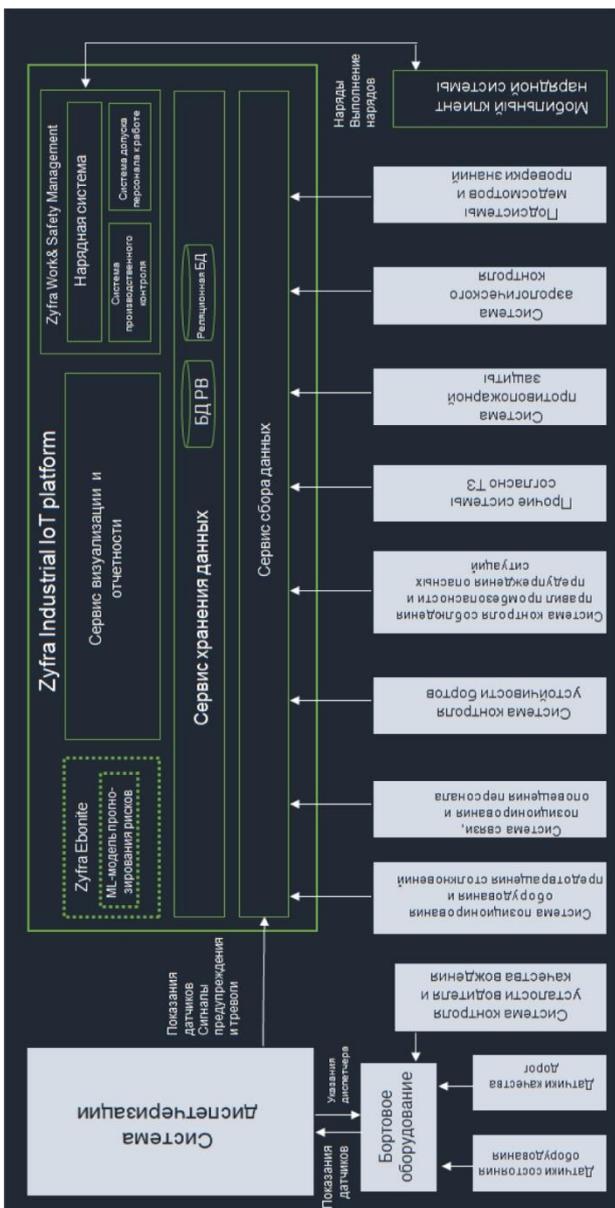


Рис. 2. ИТ архитектура МФСБ ОГР

## Список литературы

1. Клебанов А.Ф. «Автоматизация и роботизация открытых горных работ: опыт цифровой трансформации» Горная промышленность №1/2020, стр. 8-12.
2. Клебанов А.Ф., Сиземов Д.Н., Кадочников М.В. «Комплексный подход к удаленному мониторингу технического состояния и режимов эксплуатации карьерного автосамосвала» Горная Промышленность, №2/2020, стр. 75-82.
3. Клебанов А.Ф., Кадочников М.В., Улитин В.В., Сиземов Д.Н. «Современные системы предотвращения столкновений горной техники и наездов на персонал при ведении открытых горных работ» Горная промышленность, №5/2020 стр.
4. Баскаков В.П., Клебанов А.Ф., Перепелицын А.И., Якимов М.Н. «Многофункциональные системы безопасности для открытых горных работ» ГИАБ (научно-технический журнал), ООО «Горная книга», М., № 57, 2015, стр. 276-279.

## АНАЛИЗ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В РАЙОНЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНОЕ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ) ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

**Федотова Ю.В., Аникин П.А., Соболев А.А.**

*ИГД ДВО РАН (обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН)*

Полиметаллическое месторождение «Южное» расположено в Краснореченском рудном районе, который в металлогеническом отношении является составной частью Дальнегорского рудного пояса. Месторождение является типичным представителем маломощных жильных месторождений, рудные тела которых залегают в высокопрочных скальных породах. Рудоконтролирующей является эшелонированная разрывная структура (разлом Рудный) в породах верхнего структурного яруса, ограниченная глубинными сдвиговыми разломами СЗ и СВ направлений, обычно крутопадающими. Разломы выражены зонами повышенной трещиноватости и брекчирования мощностью 1-10 м. Массив расчленен на блоки размером 20-100 м.

С начала эксплуатации месторождения Южное в качестве основной применялась система разработки с поэтажным магазинированием отбитой руды с отработкой очистных блоков в направлении снизу вверх на уменьшающийся подштрековый целик. На относительно небольших глубинах (170 м от поверхности) имели место сильные горные удары, в

том числе с тяжелыми последствиями. И в 1986 г. решением комиссии по горным ударам от 22 октября 1986 г. месторождение на глубинах ниже горизонта 760 м (170 м от поверхности) было отнесено к опасным по горным ударам. В результате для отработки запасов применяемую систему разработку заменили на более безопасную – поэтажными штреками с выемкой подэтажей по падению в нисходящем порядке, что позволило снизить удароопасность на определенный срок.

Усложняет ситуацию на месторождении тот факт, что залегает оно в геодинамически активном районе Дальнего Востока, в зоне активного взаимодействия Амурской и Охотоморской литосферных плит, которое происходит и в настоящее время.

Оценка напряженного состояния массива месторождения комплексным методом, включая щелевую разгрузку и анализ разрушения контура скважин и выработок в сочетании с тектонофизическими методами реконструкции напряжений позволила установить, что поле напряжений в районе месторождения неоднородно и характеризуется сдвиговым типом, в котором преобладают субгоризонтальные сжимающие напряжения, ориентированные в северо-восточном направлении и превышающие гравитационную составляющую в 1,8 раза [1,2]. Полученные результаты измерений напряжений в массиве месторождения хорошо согласуются с данными GPS-наблюдений, которые фиксируют общее движение тектонических блоков в верхней части земной коры со средней скоростью 3,5-4,0 см/год в юго-восточном направлении [3].

Проведенный анализ параметров зарегистрированных на месторождении геодинамических явлений в период с января 2017 по июнь 2019. показал, что максимальное количество сейсмических событий произошло на глубине 500-600 м. Однако, если рассматривать только сильнейшие события, то они происходили в основном на глубине 700-800 м. И лишь последние по времени – на глубинах около 600 и 400 м. По причине возникновения все события можно разделить на три группы: – вызванные взрывными работами – вызванные горным давлением –и, самая малочисленная группа, в которой источник не идентифицирован в виду недостаточного количества данных. Как интенсивное образование заколов на контуре выработок, так стрельяние и толчки в массиве чаще всего вызваны горным давлением, в меньшей степени взрывными работами.

Если рассматривать распределение случаев интенсивного образования заколов на контуре выработок, то в случаях вызванных горным давлением они происходят в диапазоне глубин 458-477 м. Стреляние – в районе горизонтов четыреста шестьдесят пять и четыреста сорок метров. Не идентифицированные источники – ниже четыреста пятидесяти восьми метров. При этом максимальное количество событий вызванных

горным давлением произошло в июне, сентябре и декабре, взрывными работами – в феврале и июле. В январе за рассматриваемый период не было зарегистрировано ни одного события.

Максимальное количество случаев стреляния горных пород произошло на горизонте четыреста восемьдесят метров, причем вызваны они были горным давлением. На остальных горизонтах количество произошедших событий не превышает одного-трех вне зависимости от причины возникновения. Проведенный анализ показал, что максимальное количество событий вызванных горным давлением зарегистрировано в апреле и мае. В остальные месяцы происходило по одному двум событиям различной природы. Произошедшие толчки в массиве на разных горизонтах вызваны, примерно с одинаковым количеством, как взрывами, так и горным давлением. За исключением горизонта 480м, на котором зарегистрировано максимальное количество событий вызванных горным давлением. Выполненный анализ распределения количества событий по месяцам показывает, что максимум происходил в январе, июне, сентябре и декабре. При этом максимальное количество событий вызванных взрывами регистрировалось в июне и августе, а вызванное горным давлением в январе, июне, июле, сентябре и декабре. Если рассматривать время регистрации событий, то можно увидеть следующие тенденции. Во-первых, они делятся на две группы – одиночные события и серии событий. Во-вторых, максимум серий событий явно выражен (десять часов). В третьих для одиночных событий присутствует явный максимум в четырнадцать часов. За ним идет одиннадцать часов и так далее. В четвертых видны временные промежутки, когда события вообще не регистрировались – пять и восемь часов.

С точки зрения реализации событий наибольший интерес представляет временной период в течение, которого они происходили. При этом максимальное количество событий происходило в течение пяти минут. Еще один максимум соответствует шести часам десяти минутам. Основное количество событий распределено равномерно (по одному разной отметки времени) от трех минут до четырнадцати с половиной часов, во время которых происходили динамические явления.

Результатом наиболее сильных событий являются разрушения выработок. В качестве примера здесь представлены результаты толчка в массиве двадцать седьмого апреля семнадцатого года, когда разрушения были зафиксированы в выработках различного простирания на нескольких горизонтах.

Проведенный анализ показал неоднозначность полученных результатов. К сожалению, работающая на руднике сейсмоакустическая система давно устарела. Кроме возраста оборудования данная система, к

сожалению, фиксирует только дату, время и координаты события. В настоящее время прорабатывается вопрос установки современной комплексной деформационно-сейсмической системы мониторинга, которая позволит не только определять энергетический класс событий и анализировать другие параметры динамических событий, но и осуществлять прогноз данных явлений. Это позволит разрабатывать мероприятия по обеспечению устойчивости выработок и безопасности ведения горных работ.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ №20-55-53028 ГФЕН\_а.*

### **Список литературы**

1. Пиленков Ю.Ю. Об удароопасности Южного полиметаллического месторождения в Приморье // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1995. – № 2. – С. 11-22.
2. Рассказов И.Ю. Геомеханическая оценка условий разработки глубоких горизонтов полиметаллического месторождения «Южное» / И.Ю. Рассказов, Г.А. Курсакин, М.И. Потапчук [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 5. – С. 125-134.
3. Рассказов И.Ю., Саксин Б.Г., Петров В.А., Шевченко Б.Ф. Усиков В.И., Гильманова Г.З. Современное напряженно-деформированное состояние верхних уровней земной коры амурской литосферной плиты // Физика Земли, 2014, № 3, с. 144-153.

# ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР

---

---

## ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ГЕОМЕХАНИКА

Одинцев В.Н.

*ИПКОН РАН, г. Москва*

Природоподобные технологии как технологии, которые «не наносят урон окружающему миру, а существуют с ним в гармонии», вошли в тематику приоритетных исследований по современным проблемам постиндустриального общества, в том числе исследований, связанных с разработкой геотехнологий [1-4]. Понятие «природоподобные технологии» можно понимать в разных смыслах: буквально – имея в виду воспроизводство конкретных природных процессов для достижения определенных технических или экологических целей, или в обобщенном смысле – имея в виду методологические аспекты взаимосвязанности процессов в природе и сведение частей разрозненных знаний в природоподобное целое.

Обобщенный смысл, вообще говоря, отвечает уже другому понятию – «конвергентные природоподобные технологии», которое предполагает сближение разных технологий и соответствующих наук. Изначально понятие «конвергентные технологии» относилось к сближению нанотехнологии, биотехнологии, информационных и когнитивных технологий [1,2]. За счет процесса целенаправленной конвергенции эти технологии становятся взаимодействующими и постепенно должны сформировать базу для природоподобной техносферы, которая станет органической частью природы.

В концепции «природоподобные технологии» пока четко не сформулирована методология исследований и здесь возможны различные трактовки. Эта неопределенность позволяет использовать различные подходы к исследованиям. Однако, можно выделить и методологическое общее, что объединяет разные подходы: приоритет задач по сохранению живой природы, междисциплинарный подход к исследованиям, выявление синергетических эффектов взаимодействия природных и техногенных факторов, управление индустриальной деятельностью в целях создания гармонии техносферы и биосферы. Здесь мы остановимся, главным образом, на взаимодействии природных и техногенных факторов и междисциплинарных исследованиях.

В задачах комплексного освоения недр определяющим объектом является геосреда – часть Земли, которая вовлечена в хозяйственную деятельность людей. Геосреда подвергается техногенному воздействию и изменяется по законам неживой природы, по законам физики. Фундаментальным понятием в физике является энергия – мера различных форм движения и взаимодействия материи, мера перехода движения материи из одних форм в другие. Энергетические изменения лежат в основе геопроцессов, происходящих в геосреде.

Изучая физические изменения геосреды в процессе выемки полезных ископаемых, мы рассматриваем управляемые потоки энергии в геосреду от внешних источников, в частности технологических взрывов, и неуправляемые (или плохо управляемые) потоки от внутренних источников: упругой энергии горных пород, энергии флюидов, потенциальной энергии гравитации, энергии глубинных процессов, происходящих в Земле (геологических, геофизических, геохимических и т.п.)

В природе переходы энергии неизбежно сопровождаются ее диссипацией, т.е. переходом части энергии упорядоченных процессов в энергию неупорядоченных процессов, в конечном счёте – в теплоту. Диссипация энергии в замкнутых равновесных и в открытых неравновесных системах может приводить к качественно разным результатам.

В замкнутой системе вся энергия остается в системе, при этом энтропия всей системы возрастает. Реакция системы на внешнее воздействие в равновесных физических системах определяется принципом Ле-Шателье-Брауна: если на систему, находящуюся в устойчивом равновесном состоянии, воздействовать извне, изменяя какое-либо из условий равновесия (температуру, давление, концентрацию и т.п.), то в системе усилятся процессы, направленные на компенсацию внешнего воздействия.

В случае открытой, неравновесной системы, к которой можно отнести и геосреду, диссипация энергии может приводить к уменьшению энтропии части системы при увеличении энтропии внешней системы (окружающей среды), куда переправляется поток энергии. Уменьшение энтропии связано с уменьшением хаоса и образованием определенного порядка в диссипативной структуре. В геосреде это проявляется в виде локализации деформаций пород, техногенной зональной дезинтеграции пород или периодической структуры магистральных трещин.

Таким образом, при техногенных воздействиях в геосреде изменения могут происходить по двум сценариям. Согласно одному сценарию, геосреда будет реагировать таким образом, чтобы сохранить свое равновесное состояние, согласно другому – геосреда будет стремиться к новому состоянию с измененной структурой. Оба сценария развития

природных систем основываются на законах природы, различие обусловлено особенностями начального состояния, граничными условиями и спецификой внешних факторов. Выявление сценария реакции геосреды на конкретное техногенное воздействие является фундаментальной и одновременно прикладной задачей в области освоения недр. Очевидно, что эти сценарии должны учитываться при разработке природоподобных геотехнологий.

Сценарий с поддержанием равновесия геосреды и биоты рассмотрен в [3], где используется принцип саморегуляции (гомеостаза) биологической системы – тенденции к сохранению системой постоянства своего внутреннего состояния посредством скоординированных реакций, направленных на поддержание динамического равновесия. Здесь остановимся на другом сценарии с необратимым качественным изменением геосреды при образовании техногенной диссипативной структуры.

Переходы к новому энергетическому состоянию геосреды могут сопровождаться динамическим разрушением. К крупномасштабным разрушениям относятся техногенные землетрясения и горные удары с изменением структуры среды порядка сотен метров. К относительно слабому разрушению относятся зональная дезинтеграция пород, толчки в глубине массива пород, стрельяние пород и т.п.

Динамические процессы разрушения – закономерная реакция энергонасыщенной, предельно напряженной геосреды на техногенное воздействие. Следовательно, если исходить из необходимости перехода к природоподобным геотехнологиям, то следует принять физическую неизбежность динамического разрушения геосреды. Главная задача состоит в том, чтобы контролировать разрушение и по возможности управлять им.

Примером управления разрушением геосреды на больших глубинах является двухэтапная проходка выработок. При первой проходке выработки за счет горного давления образуется мощная зона наведенной трещиноватости породы вблизи стенок выработки. При повторной проходке эта зона легко разрушается, при этом возрастает устойчивость выработки.

В условиях предельно равновесного состояния геосреды возможны не только энергетические переходы с изменением структуры геосреды в пределах одного масштаба, но и иерархические переходы на более крупные масштабные уровни с включением новых источников энергии. Общей чертой перехода с одного уровня на другой является неустойчивость изменений на соответствующем масштабной уровне.

Примером энергетического иерархического перехода является внезапный выброс угля и газа. Разрушение угля начинается в масштабе

микрона и проявляется в виде образования микротрещин под влиянием механических напряжений. В микротрещинах растворенный в угле метан переходит в свободное состояние и в газообразном состоянии участвует в дальнейшем разрушении угля в масштабе выработки или даже шахтного поля.

Исследования энергетических переходов в геосреде должны базироваться на методах геомеханики как науки о механических состояниях земной коры и механических процессах, развивающихся в ней вследствие различных естественных физических и техногенных воздействий. Однако концепция природоподобных геотехнологий требует переосмысления некоторых геомеханических понятий в связи с необходимостью развития когнитивного моделирования и междисциплинарных исследований.

Одно из таких понятий – техногенный геомеханический процесс. Это фактически новый математический объект исследования в геомеханике, который представляет последовательную смену геомеханических состояний геосреды. Исследование геопроцесса должно отвечать современным взглядам на многообразие взаимосвязи элементов природно-техногенной геосистемы. Начало исследования связано с составлением когнитивной модели, т.е. выявлением связей и факторов, влияющих на процесс, характера их взаимодействия и изменения во времени. Следующие этапы исследования – составление концептуальной, затем математической модели процесса. С точки зрения моделирования, главное значение имеет именно постановка задачи, вычислительная процедура при современном уровне развития программного обеспечения имеет подчиненное значение.

Например, в геомеханических задачах, решаемых для больших глубин, важную роль играет геодинамика, изучающая природу глубинных сил и процессов, возникающих в результате планетарной эволюции Земли. В частности, в рамках геодинамики выявляются граничные условия нагружения геосреды «на бесконечности».

Нагружение условно можно охарактеризовать либо как «жесткое» (если задаются деформации), либо как «мягкое» (если задаются силы). Как показывают испытания образцов на «жестких» и «мягких» прессах, режим разрушения породы разительно различается – от квазистатического до бурного динамического. Такое же различие в разрушении массива пород имеет место и в шахтных условиях. Это различие должно учитываться в постановке задачи, которая дополнительно может быть осложнена тем, что условия нагружения изменяются под влиянием техногенных факторов.

Расчетной процедурой, в которой можно учесть изменение условий задачи, может быть процедура малых «приращений» [5,6]. В этой процедуре процесс геомеханических изменений определяется совокупностью расчетов малыми шагами по времени. На каждом шаге решается соответствующая задача о состоянии среды с изменившимися к данному шагу условиями в отношении внешней нагрузки и свойств геосреды с учетом истории предыдущих шагов. Количество вычислений, очевидно, увеличивается, но повышается адекватность расчетов. Как показали наши расчеты, на основе этой процедуры выявляются скрытые особенности развития геопроцессов.

Процедуру малых приращений логично связать с инструментальным геомониторингом состояния геосреды, например, с мониторингом деформаций. Постоянное сопоставление прогнозных данных о состоянии геосреды с данными практики позволит оперативно корректировать модель реакции геосреды на техногенное воздействие. В перспективе, с использованием информационных технологий, такая связь может быть реализована в онлайн-режиме, что выведет систему прогноза и контроля геосреды на качественно новый уровень.

Последовательная корректировка знаний о реакции геосреды на воздействие может привести к изменению исходных представлений об эффективности, экологичности и безопасности используемой геотехнологии, и это может потребовать корректировки геотехнологии. Заметим, что отличительной чертой природоподобных технологий должна быть быстрая реакция на изменение условий состояния системы с целью оптимального приспособления к природным закономерностям.

Такому требованию природоподобных технологий вполне отвечает междисциплинарная система прогноза и контроля состояния геосреды, в которой ведущая роль принадлежит геомеханике, а в моделировании используется принцип малых приращений. Кроме того, эта система дает возможность адекватно прогнозировать энергетические изменения в геосреде и, тем самым, прогнозировать возможные виды ее динамического разрушения.

Основные выводы.

1. При разработке природоподобных геотехнологий необходим комплексный подход к анализу геосреды, учитывающий особенности изменений как в живой, так и в неживой природе, гомеостаз и необратимые, динамические изменения.

2. Исследования энергетических изменений в геосреде при техногенных воздействиях должны базироваться на междисциплинарных исследованиях при ведущей роли геомеханики, при этом развитие самой

геомеханики должно идти в направлении максимального включения ее в междисциплинарные исследования.

3. Моделирование геомеханических процессов при анализе природоподобных геотехнологий должно включать разработку когнитивной, концептуальной и математической моделей процессов, при этом в математическом моделировании необходимо использовать принцип малых приращений.

### **Список литературы**

1. Ковальчук М.В., Нарайкин О.С. Природоподобные технологии – новые возможности и новые угрозы // Индекс безопасности. – 2016. – Т. 22.– №3-4(118-119). – С.103-108.

2. Ковальчук М.В., Нарайкин О.С., Яцишина Е.Б. Природоподобные технологии: новые возможности и новые вызовы // Вестник РАН. – 2019. – Т.89.–№5. – С.455-465.

3. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Природоподобные горные технологии – перспектива разрешения глобальных противоречий при освоении минеральных ресурсов литосферы // Вестник РАН. – 2017. –Т. 87.–№7. – С. 655-662.

4. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Еременко В.А. Фундаментальные основы конвергентных горных технологий при комплексном освоении минеральных ресурсов литосферы // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2017. – Т.4. –№3. С. 160-169.

5. Одинцев В.Н. Методологические принципы моделирования техногенного геомеханического процесса // Маркшейдерия и недропользование. – 2018.–№4(96). – С. 34-39.

6. Одинцев В.Н., Милетенко Н.А., Федоров Е.В. Новый методологический подход к решению задач экологической геомеханики и безопасности. В сб.: Научные основы безопасности горных работ. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – М.: ИПКОН РАН, 2018, с. 168-174.

## **ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕЛЕДОСТАВКИ ГОРНОЙ МАССЫ**

**Буктуков Н.С., Волков А.П.**

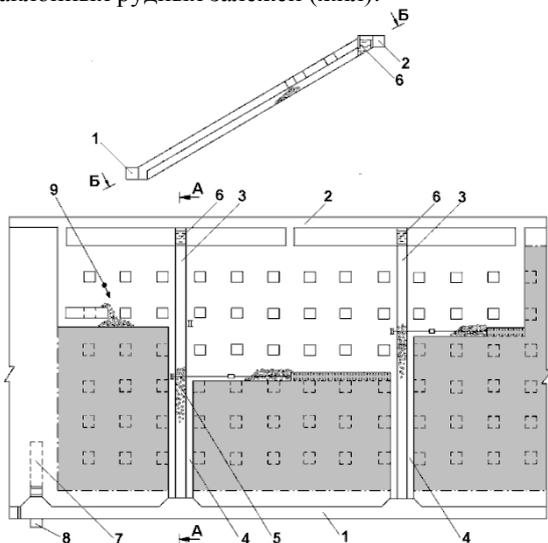
*ИГД им. Д.А. Кунаева, Алматы, Казахстан*

Проблема эффективной доставки отбитой руды при разработке наклонных рудных залежей остается наиболее острой и актуальной, решение которой во многом определяет эффективность разработки месторождений. Доставка отбитой руды самоходными погрузочно-

доставочными машинами малоэффективна, поскольку для обеспечения доступа этих машин на подэтажи и перемещения руды из выемочных камер необходимо проходить каскады спиральных заездов (съездов) большого сечения и большой длины.

Ранее был разработан способ доставки руды с использованием искусственных селевых водо-каменных потоков [1,2].

Ниже показаны преимущества селедоставки горной массы по сравнению с механизированной доставкой (Рисунок 1) при разработке маломощных наклонных рудных залежей (жил).



**Рис. 1. Способ с многозабойной схемой отработки и селедоставкой отбитой руды**

Очистные работы ведут одновременно во всех смежных панелях с некоторым опережением отработки каждой относительно другой. Отбойку руды осуществляют нисходящими слоями толщиной 1,5-2,0 м. При этом отбитую руду при оформлении столбчатых целиков смывают на скреперную дорожку при помощи низконапорных гидромониторов 9. После отбойки слоя руды в камере осуществляют скрепирование руды на доставочную восстающую выработку 3. Далее, по мере накопления на почве доставочной восстающей выработки 3 навала отбитой руды заданного объема, производят наполнение аккумулирующей емкости 6 водой и её выпуск в эту доставочную восстающую выработку. В результате взаимодействия потоков воды с навалом образуется шахтный водо-

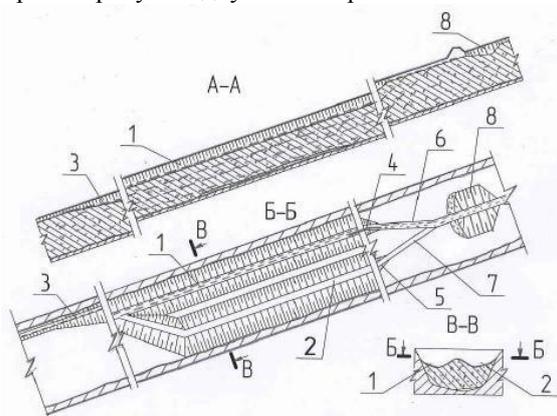
каменный поток, который под действием гравитационных сил по наклонной почве доставочной восстающей выработки 3 перемещается вниз в транспортную выработку 1, где после оттока «отработанной» воды, отбитая руда транспортируется до капитального рудоспуска.

Применение селедоставки руды позволит сократить объемы горно-подготовительных работ в 4-5 раз и повысить интенсивность отработки запасов в 2-3 раза.

На наш взгляд не менее эффективным может стать использование искусственных селевых потоков при разработке труднодоступных, глубокопогребенных, россыпных нагорных месторождений, например, месторождения Кенсуат-Ргайты, расположенного в горах Заилийского Алатау (Республика Казахстан)[3].

На рисунке 2 представлена схема вскрытия глубоко погребенного россыпного нагорного месторождения с расположением разрезных траншей по простираанию массива наносов.

Отличительной особенностью данной схемы вскрытия является то, что основные вскрывающие разрезные траншеи 1 и 2 располагают вдоль массива наносов на длину плотика между отводящей траншеей 3 и подводящими 4, 5 траншеями. При этом в нижней части месторождения основные вскрывающие разрезные траншеи 1, 2 замыкают на отводящую траншею 3, путем прорезки разделительной перемычки между этими траншеями. В верхней части месторождения подводящие траншеи 4 и 5 соединяют с водоотводами 6 и 7, которые в свою очередь замыкают на аккумулирующую емкость для воды 8, образуя таким образом единую транспортную водную магистраль.



**Рис. 2. Схема вскрытия россыпного нагорного месторождения с расположением разрезных траншей по простираанию массива наносов**

Приведенные технологии использования селедоставки горной массы при открытой и подземной разработке позволяет вывести горнодобывающие предприятия в экономически эффективную зону.

### **Список литературы**

1. Авт. свид. 573594 СССР. Способ разработки рудных тел пологого и наклонного залегания / В.Ф. Грибанов, И.В. Еловииков, С.М. Мауленкулов, А.У. Утениязов, М.А. Якупов; опубл. 25.09.1977, Бюл. №35.

2. Дюков В.Л., Волков А.П., Бахмагамбетов Б.Б. Шахтные сели и их отличие от природных селевых потоков //Комплексное использование минерального сырья.- 1987. – №9 – С.3-6

3. Абдуев Н.С. Вскрытие участка межгорной впадины Кенсуат с селе-транспортировкой аллювиальных отложений / Ин-т горн. Дела им. Д.А. Кунаева НЦ КПМС РК (ИГД). – Алматы, 2000. – 7 с.:3 ил. – Библиогр.: 3 назв. – Рус. – Деп. В КазгосИНТИ 28.06.2000, №8824-Ка00.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФЛОТАЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ УПОРНОЙ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕАГЕНТА ДИТИОПИРИЛМЕТАНА**

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

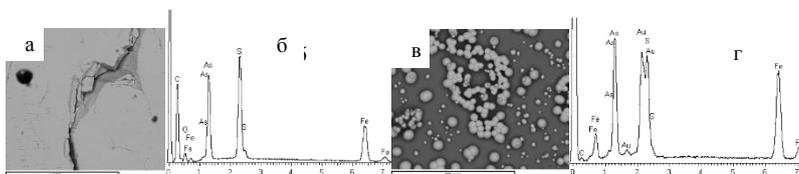
*ИПКОН РАН, г. Москва*

Золотодобывающая промышленность развивается быстрыми темпами, соответственно увеличиваются объемы добычи, при этом происходит постепенное истощение ресурсов. Сохранять темпы производства золота возможно только с освоением труднообогатимых месторождений [1]. Значительную часть запасов коренного золота составляют упорные руды, в которых золото находится в тонковкрапленном состоянии в сульфидах и породообразующих минералах. Эффективным методом извлечения тонковкрапленного золота является флотация, получившая за последние годы широкое применение в переработке руд содержащих золото, серебро и платину.

Наиболее распространенными в промышленности реагентами собирателями при флотации золотосодержащих руд являются ксантогенаты щелочных металлов, которые не селективны при флотационном разделении сульфидных золотосодержащих минералов. Для повышения эффективности флотационного извлечения золота из упорной золотосодержащей руды предложен реагент дитиопирилметан (ДТМ), селективный не только по отношению к цветным металлам, но и к золоту [2].

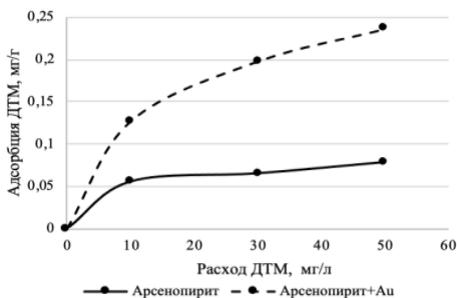
Флотационные исследования ДТМ в качестве дополнительного реагента собирателя проводили на золотосодержащей руде Олимпиадинского месторождения. Поскольку золото в руде ассоциировано, главным образом, с арсенопиритом проведен анализ адсорбционных и флотационных характеристик реагента ДТМ по отношению к золотосодержащему арсенопириту.

Методом сканирующей электронной микроскопии исследована адсорбция ДТМ на аншлифах арсенопирита и арсенопирита с золотом после контакта с 0,1 % раствором ДТМ (рисунок 1) [3]. На поверхности чистого арсенопирита обнаружены округлые выделения реагента (рисунок 1 а). С помощью рентгеновского спектра (рисунок 1б) новообразований обнаружен высокий пик углерода, что свидетельствует об адсорбции реагента ДТМ на арсенопирите. На микрофотографии участка арсенопирита с нанесенным золотом вокруг скоплений золота (рисунок 1 в) обнаружены темные участки реагента, свидетельствующие об адсорбции ДТМ на золоте (рисунок 1 г).



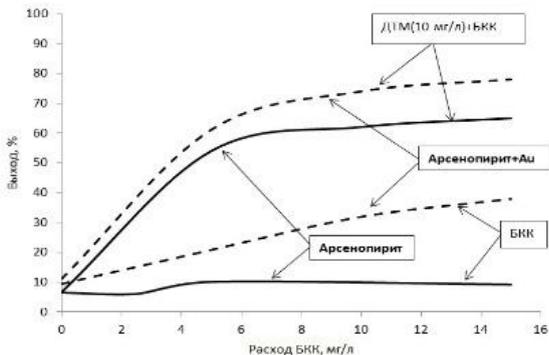
**Рис. 1.** Микрофотографии а – арсенопирита, в – арсенопирита с нанесенным золотом и рентгеновский спектр – б, г участка аншлифа арсенопирита и арсенопирита с нанесенным золотом соответственно

Методом УФ – спектроскопии также исследованы сорбционные свойства реагента ДТМ на арсенопирите и арсенопирите с нанесенным золотом рисунок 2.



**Рис. 2.** Адсорбция ДТМ на чистом арсенопирите (сплошная линия) и арсенопирите с золотом (пунктирная линия)

**Рис. 3. Результаты сравнительной мономинеральной флотации арсенопирита и арсенопирита с золотом с БКК и совместном введении БКК и ДТМ**



С увеличением концентрации ДТМ с 10 до 50 мг/л (рисунок 2) адсорбция на арсенопирите с золотом возрастает более, чем в 2 раза, и более, чем в 1,3 раза превышает адсорбцию реагента на минерале без золота, которая практически не меняется с ростом концентрации реагента.

На мономинеральных фракциях (крупностью  $0,1+0,063$  мм) арсенопирита и арсенопирита с нанесенным золотом проводились сравнительные флотационные испытания с применением в качестве собирателя БКК (0-15 мг/л) и БКК совместно с ДТМ (10 мг/л -const).

Флотационные исследования реагентного режима с применением ДТМ в качестве дополнительного реагента собирателя были опробованы на пробе золотомышьяковистой руды Олимпиадинского месторождения (таблица 1).

**Таблица 1**

**Технологические показатели флотации золотосодержащей руды**

№ опыта	Реагенты, г/т	Продукты	Выход, %	Содержание Au, г/т	Извлечение Au, %
1	БКК	Концентрат	20,97	8,80	73,55
		Хвосты	79,03	0,84	26,45
		Исходное	100,0	2,51	100,0
2	БКК+ДТМ	Концентрат	7,13	28,35	82,85
		Хвосты	92,87	0,45	17,15
		Исходное	100,0	2,44	100,0

Совместное применение реагентов ДТМ и БКК обеспечивает как значительное повышение качества концентрата по золоту на 19,5 г/т, так и увеличение извлечения на 9,3 % (с 73,55 до 82,85 %).

Современными физико-химическими методами исследований впервые установлен механизм адсорбции дитиопирилметана на природном и золотосодержащем арсенопирите. Флотационные испытания подтвердили высокую эффективность применения ДТМ в комплексе с бутиловым ксантогенатом.

### Список литературы

1. Заернюк В.Л., Черникова Л.И., Забайкин Ю.В. Тенденции, проблемы и перспективы развития золотодобывающей отрасли России // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2017. – Т.10. № 9. – С.972-986.

2. 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.

3. Иванова Т.А., Чантурия В.А., Зимбовский И.Г. Новые способы экспериментальной оценки селективности реагентов-собирателей для флотации золота и платины из тонковкрапленных руд благородных металлов. Обогащение руд. 2013, № 5, с. 127-137.

## ОБОБЩЕННАЯ КРИВАЯ ИЗМЕНЕНИЯ СТЕПЕНИ МЕТАМОРФИЗМА УГЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ УГЛЕФИКАЦИИ

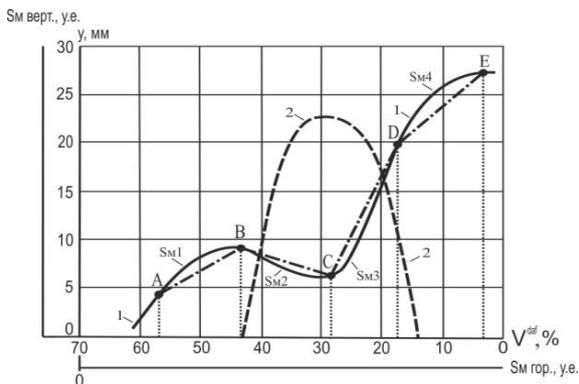
Киселев Н.Н.<sup>1</sup>, Радченко А.Г.<sup>1</sup>, Радченко А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> РАНИМИ, г. Донецк

<sup>2</sup> ДонНАСА, г. Макеевка

В настоящее время имеется обширное количество литературы по изменению свойств углей в ряду метаморфизма. В тоже самое время эти данные во многих случаях трудно сравнивать и сопоставлять, так как ряд метаморфизма углей в одних случаях представлен шкалой  $C^{daf}$ , % – процентное содержание углерода, а в других случаях дается шкала  $V^{daf}$ , % – весовой выход летучих веществ. По ряду свойств углей имеются противоречивые данные. В работах [1, 2] указывается на взаимосвязь выбросов угля и газа со степенью метаморфизма углей, приведены формулы для расчета величин значений комплексного показателя степени метаморфизма углей – М. Способам [1, 2] присущи следующие недостатки: а) при увеличении степени метаморфизма углей показатели М уменьшаются по абсолютной величине, что противоречит физическому смыслу роста степени углефикации; б) при применении способов возможны ошибки, приводящие к авариям; в) способы не обеспечивают необходимый уровень безопасного ведения горных работ. Анализ недостатков способов [1, 2] подробно изложен в работах [3,4].

Поэтому, целью настоящей работы является установление объективного характера изменения комплексного показателя степени метаморфизма углей в ряду углефикации. В способах [1, 2] показатель М является функцией только двух параметров:  $V^{daf}$ , % и  $y$  – толщины пластического слоя, мм. Для установления объективной картины изменения комплексного показателя степени метаморфизма углей в ряду углефикации нами был применен системный подход и анализировались 38 показателей свойств и состояний органической массы углей – (ОМУ) по следующим разделам: 1) молекулярная и над молекулярная организация углей – (НМО); 2) структурно–химические свойства ОМУ; 3) физико–механические свойства ОМУ; 4) газо–кинетические свойства ОМУ. На основании выполненного анализа изменения 38 показателей ОМУ в ряду метаморфизма нами предложен обобщенный график, характеризующий изменения комплексного показателя степени метаморфизма углей в процессе их углефикации –  $S_{M \cdot общ.}$ , см. рис. 1.



**Рис. 1. График обобщенной кривой изменения показателя степени метаморфизма углей в процессе их углефикации –  $S_{M \cdot общ.}$**

где на рис. 1: 1 – кривая изменения  $S_{M \cdot общ.}$ ; 2 – кривая изменения толщины пластического слоя –  $y$ , мм для средне восстановленных углей Донбасса.

На рис. 1 дана кривая изменения показателя  $S_{M \cdot общ.}$ : А-В-С-Д-Е, которая состоит из четырех характерных криволинейных участков–дуг:  $S_{M1}$ ,  $S_{M2}$ ,  $S_{M3}$ ,  $S_{M4}$ . Эти участки характеризуют основные скачки углефикации ОМУ и могут быть с целью дальнейшего проведения математического моделирования в первом приближении аппроксимированы четырьмя прямыми линиями: АВ, ВС, СД и ДЕ.

Анализ молекулярной и надмолекулярной организация углей включает следующие показатели: 1)  $d_{002}$ ,  $\text{Å}$  – межплоскостное расстояние между слоями НМО; 2)  $L_c$ ,  $\text{Å}$  – размер упорядоченной упаковки НМО; 3)  $L_{av}$ ,  $\text{Å}$  – среднестатистический диаметр углеродного слоя НМО; 4) коэффициент молекулярной упаковки –  $K_{\text{pack}}$ ; 5) энергия межмолекулярных взаимодействий –  $E_{\text{ммв}}$ , кДж/моль; 6) параметр растворимости Гильдебранда для витренитов –  $\delta$ ,  $(\text{Дж/см}^3)^{1/2}$ ; 7)  $d$  – диаметр молекулярных пор, мкм.

Анализ структурно–химических свойств ОМУ включал следующие показатели: 8) содержание углерода –  $C^{\text{daf}}$ , %; 9) весовой выход летучих веществ –  $V^{\text{daf}}$ , %; 10) толщина пластического слоя –  $y$ , мм; 11) содержание высших углеводородов в угле –  $V.U.$ , %; 12) коксуюемость углей; 13) спекаемость углей.

Анализ физико-механических свойств ОМУ включал следующие показатели: 14) механическая прочность углей по копру-Пкоп., г/см (по Н.М. Двужильной); 15) разрушаемость –  $R$ , ед. (по Д.Д. Русчеву); 16) логарифм удельного электрического сопротивления –  $\lg \rho$ , ед.; 17) удельное электрическое сопротивление углей –  $\rho$ , Ом·м.; 18) вязкость углей –  $\eta$ ; 19) отражательная способность –  $R_o$ ; 20) удельный вес- $\gamma$ , г/см<sup>3</sup>; 21) суммарная пористость –  $\Pi_{\text{общ.}}$ ; 22) скорость распространения упругих волн- $v$ , м/с; 23) удельная теплота сгорания –  $Q_s^{\text{daf}}$ , ккал/кг; 24) теплопроводность –  $\lambda$ , ккал/(м·ч·С°); 25) температуропроводность –  $A$ ,  $\text{а} \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/ч; 26) диэлектрическая проницаемость –  $\epsilon$ , ед.; 27) концентрация парамагнитных центров –  $N$ , спин / г $\times 10^{-19}$ ; 28) микротвердость –  $M_{\text{тв.}}$ , кг/мм<sup>2</sup>; 29) коэффициент сжимаемости углей –  $\chi \cdot 10^{12}$ , см<sup>2</sup>/дин; 30) модуль упругости углей –  $E$ , кг/см<sup>2</sup>; 31) коэффициент Пуассона-  $\mu$ .  
Анализ газо-кинетических свойств ОМУ включал следующие показатели: 32) энергия активации диффузии метана –  $E_{\text{акт.}}$ , кДж/моль; 33) природная газоносность углей –  $X_{\text{пр.}}$ , м<sup>3</sup>/ т.с.б.м.; 34) показатель степени нарушенности углей –  $\Delta J$ , мг/г; 35) скорость газоотдачи углей –  $\Delta P$ ; 36) давление газа в пласте –  $P$ , атм.; 37) сорбционная способность; 38) сорбционная набухаемость.

**Выводы.** Приведенный график обобщенной кривой изменения показателя степени метаморфизма углей Донбасса в процессе их углефикации –  $S_{\text{м общ}}$  построен с учетом изменения 38 показателей ОМУ и тесно взаимосвязан с известными и объективно существующими скачками углефикации, с фундаментальными свойствами углей: спекаемостью, коксуюемостью и т. д.

## Список литературы

1. СОУ 10.1.00174088.011 – 2005. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям / Киев, Минуглепром Украины. 2005. – 225 с.
2. СОУ – П 10.1. 00174088.029:2011. Правила віднесення вугільних пластів до категорій викидонебезпеки. Міненерговугілля України, Київ, 2011.– 22 с.
3. Киселев Н.Н. Прогрессивные способы регионального прогноза выбросоопасности угольных пластов [Текст] / Н. Н. Киселев, А. Г. Радченко, А.А. Рубинский, А.А. Радченко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Випуск 11/ Під заг. ред. А.В. Анциферова. – Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2012.– С.176-186.
4. Патент на корисну модель № 75981. Спосіб визначення категорії викидонебезпечності вугільних пластів. Номер заявки: U 2012 04854, МПК (2012.01), E 21F 5/00. В.О. Канін, М. М. Кисельов, В.П. Коптіков, О.Г. Радченко, О.О. Радченко. Дата публікації: 25.12.2012, Бюл. №24.

## **ФАКТОРЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РЕСУРСОПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИНЦИПОВ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Шумилова Л.В., Хатькова А.Н.**

*ЗабГУ, г. Чита*

Инициатором идеи безотходного производства и термина «безотходная технология» выступила комиссия по охране природных вод СССР (российские ученые Н.Н. Семенов и И.В. Петрянов–Соколов, 1972 г.). Эта передовая научно-инженерная идея в XX веке стала мобильно развиваться и воплощаться в зарубежных странах. Активно разрабатывалась нормативная база и свод требований к промышленным производствам: США – требования очистки сточных вод в соответствии с Наилучшими доступными технологиями (Best Available Technologies, 70-е годы); Европа – требования очистки отходящих газов с помощью Наилучших доступных методов, использование которых не влечет за собой избыточных расходов (Best Available Technique Not Entailing Excessive Costs, BATNEEC, 80-е годы); Европа, США, страны Юго-Восточной Азии – требования к Наилучшим практическим методам (Best Practical Means, 80-90-е годы) и природоохранные решения (Best Practical Environmental Options, 80-90-е годы); Европейский Союз – требования к Наилучшим доступным технологиям (Best Available Technologies, 90-е годы); Европейский Союз – Директива ЕС «О комплексном предотвращении и контроле загрязнения окружающей среды» (1996г.), Директива 2010/75/ЕС

и Совета Европейского Союза «О промышленных выбросах (о комплексном предотвращении загрязнения и контроле над ним)» (Integrated pollution prevention and control, 2010г); Европейский Союз, США, страны Юго-Восточной Азии, Россия и др. (Международная Организация по Стандартизации, International Organization for Standardization, ISO, конец XX в. и начало XXI в.) – разработка нормативно-правовой базы Наилучших доступных технологий для ключевых отраслей промышленности (например, ISO 14001:2015).

Несмотря на то, что идеологами технологических процессов замкнутого цикла, рационального и комплексного использования недр, являлись советские ученые (М.И. Агошков, Н.В. Мельников, К.Н. Трубецкой, В.А. Чантурия и др.), Россия в последних рядах приступила к разработке нормативно-правовой базы Наилучших доступных технологий (2014г).

В современной интерпретации термины «безотходная технология» и «малоотходная технология» – это так называемая «Наилучшая доступная технология» (НДТ, «чистая технология», «зелёная технология») – это технологические процессы и способы проектирования, строительства, управления, обслуживания, эксплуатации и прекращения эксплуатации промышленных установок, основанные на последних достижениях науки и техники, доступные для практического применения с учетом экономических, а также социальных факторов и, направленные на снижение негативных воздействий технологических отходов на окружающую среду, жизнь и здоровье людей.

В соответствии с Постановлением Правительства от 23.12.2014 г. №1458 (ред. 28.12.2016 г), НДТ также считаются технологии, успешно прошедшие исследования и апробацию, отвечающие критериям НДТ, и, позволяющие одновременно уменьшить деградацию природной среды и повысить уровень техносферной безопасности предприятий горного кластера. Цель государственного регулирования природопользования на основе НДТ в Российской Федерации (экологизированная экономика) – создание условий для развития промышленности (бизнеса), повышения конкурентоспособности при одновременном снижении уровня негативного воздействия на окружающую среду (Государственный доклад об экологическом развитии, 2016 г.).

Коэффициент экологической напряжённости окружающей среды определяется как отношение фактического количества выбросов на предприятии к их предельно допустимому количеству и характеризуется пространственно-временными категориями, зависящими от производственной мощности предприятия и применяемой технологии. По коэффициенту экологической напряжённости окружающей среды раз-

личают следующие четыре группы предприятий: 1) с крайне обострившейся критической экологической ситуацией –  $K_{э.н.} \geq 10$ ; 2) с напряжённой экологической ситуацией –  $K_{э.н.} = 2 - 10$ ; 3) с небольшой экологической напряжённостью  $1 > K_{э.н.} < 2$ ; 4) с нормальной экологической обстановкой –  $K_{э.н.} = 1$  (внедрённые НДТ). «Зелёная окраска» горного промышленного предприятия тем интенсивнее, чем полнее соблюдаются принципы НДТ – принципы «зелёного» производства (рисунок).



**Рис. Принципы Наилучших доступных технологий**

Безотходные технологии предполагают установление полного контроля движения природного вещества. В настоящее время, в связи с несистемным подходом, движение материальных ресурсов контролируется только на конкретном обособленном предприятии (бизнес единица). Контроль перемещения природного вещества, перешедшего в готовую продукцию, осуществляется в ограниченных пределах. Движение же сырья, которое сегодня не используется и называется «отходами» (забалансовые руды, техногенное сырьё хвостохранилищ и шламохранилищ и т.п.), за пределами производства в меньшей своей части редко

контролируется, а в большей – вообще не контролируется (даже отсутствует кадастр техногенных отходов России).

Авторами выполнено дополнение горно-экологической концепции – разработана стратегия технического метаболизма интегрированных территориальных промышленных систем с материальными потоками, вовлечёнными в замкнутые циклы на основе принципов НДТ и оценки жизненного цикла природного вещества. Инновационные принципы организации работы предприятий горного кластера, реализующих НДТ, включают: рациональность и комплексность в процессе их разведки, разработки и переработки; цикличность системы, в которой используются отходы одного производства в качестве исходного сырья в других отраслях промышленности (технический метаболизм); экологическая безопасность (уменьшение до или ниже регламентированного уровня или полная ликвидация загрязнения атмо-, гидро-, лито- и биосферы выбросами и сбросами, захоронение неминуемых отходов).

Таким образом, для обеспечения устойчивого развития России, следует учесть все факторы интенсификации ресурсопользования на основе внедрения Наилучших доступных технологий, усилить государственное регулирование в обращении с горными отходами и государственно-частное партнерство, государственный протекционизм в сфере налогообложения горных предприятий, работающих в депрессивных, удаленных, слабо освоенных и геополитически значимых регионах России, внедрить зеленые финансовые инструменты: зеленые инвестиции, зелёные займы и т.д.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ АНТИГОРИТА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МАГНЕЗИАЛЬНО- СИЛИКАТНОГО РЕАГЕНТА**

**Иванова Т.К.<sup>1,2</sup>, Ивашевская С.Н.<sup>3</sup>, Цветов Н.С.<sup>1</sup>,  
Ильина В.П.<sup>3</sup>, Кременецкая И.П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *ИХТРЭМС КНЦ РАН, г. Апатиты*

<sup>2</sup> *Лаборатория ПТТБА ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты*

<sup>3</sup> *ИГ КарНЦ РАН, Петрозаводск*

Серпентины являются вторичным сырьем, попутно добываемым при разработке месторождений медно-никелевых руд, магнезита, оливинита и др. Предложен способ их утилизации в технологии, предусматривающей взаимодействие термоактивированных серпентиновых минералов с растворами металлов, в результате которого происходит

снижение их геохимической подвижности за счет образования малорастворимых соединений.

При термической обработке серпентиновых минералов образуется активная метастабильная фаза, которая вступает в реакцию взаимодействия с кислотными растворами. Магнезиальный компонент нейтрализует раствор, при этом в щелочной среде образуются силикаты металлов и другие соединения. Активность серпентина, проявление которой оценивается по способности к нейтрализации растворов кислот, является показателем степени трансформации исходных серпентиновых минералов в метасерпентин. Наименьшая степень активации наблюдается для антигорита [1].

В работе [2] рассмотрены вяжущие свойства антигорита из серпентинизированных ультрамафитов участка Пентинсуо, месторождение талькового камня Озерки (район г. Костомукша, Карелия). В продолжение исследований изучен процесс термолита фракционированного антигорита, который может быть использован в качестве фильтрующего сорбционно активного материала. Химический состав антигорита приведен в таблице 1.

**Таблица 1**

**Химический состав серпентинитов**

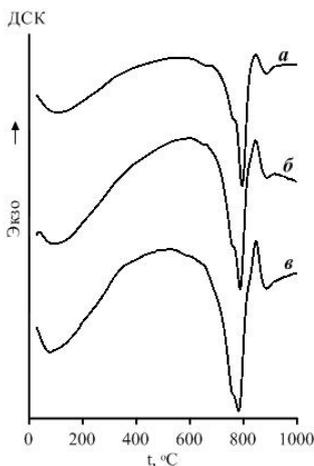
Образец	MgO	SiO <sub>2</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
A-PC-12	35,4	35,4	3,8	6,8	1	2,7	3,8	0,3	2,5	12,3	104

Измельченный антигорит отсеивали на ситах с размером ячеек 50, 160, 315, 613, 1000 мкм не прибегая к специальной очистки от пылевой фракции.

Термоактивацию в муфельной лабораторной печи, а также определение активности проводили по методике, описанной в работе [3].

Дифференциально-термический анализ выполнен на приборе STA409 PC Luxx NETZSCH (Germany) в среде атмосферы, скорость нагрева 10°C·мин<sup>-1</sup>.

На кривых ДТА антигорита разной фракции присутствуют два ярко выраженных эффекта: первый – эндотермический эффект при температуре 780 °С, второй – экзотермический при 845 °С (рисунок). Температуры начала и конца, а также положение максимумов эндо- и экзотермических эффектов практически не зависят от размера частиц антигорита. В то же время как форма, так и площадь этих двух эффектов отличаются для разных образцов. На кривых ДТА по мере увеличения крупности частиц антигорита наблюдается раздвоение эндотермического эффекта и уменьшение высоты экзотермического эффекта. Авторы работ [4,5] объясняют раз-



**Рис. Результаты термического анализа образцов антигорита, фракции 0,63-0,31 (а), 0,16-0,31 (б), 0,05-0,16 мм (в)**

двоение эндозффекта наличием в структуре серпентина двух типов ОН-групп, расположенных на наружной и внутренней поверхности октаэдрическогообруситового слоя. При истирании происходит деформация кристаллической решетке минерала, увеличение степени дефектности структуры и уменьшение размеров микроблоков, что при записи кривых ДТА для измельченного образца отображается сглаживанием формы эндозффекта по сравнению с неизмельченным материалом. Наличие в структуре дефектов и увеличение удельной поверхности антигорита способствует более легкому и полному протеканию процесса образования форстерита.

Показатели активности обожжённого антигорита в зависимости от его дисперсности и продолжительности взаимодействия с кислым раствором представлено в таблице 2. По мере уменьшения размера частиц материала и увеличения длительности опыта показатель активности закономерно увеличивается. Однако, в отличие от данных, полученных в работе [4], где равновесная активность не зависит от размера частиц полученных образцов сунгулита, в случае антигорита не наблюдается выравнивания значений щелочности даже после 30 суток взаимодействия. Через 10 суток взаимодействия показатели активности становятся близкими между собой для частиц размером  $>1$  мм 1-0,63мм, 0,16-0,315 мм и 0,315-0,613мм, а также 0,16-0,05 мм и  $<0,05$  мм. Для частиц размером 0,16-0,05 мм и  $<0,05$  мм через 30 суток происходит полное исчерпание щелочного потенциала реагента, при этом показатель щелочности составил величину 10 мг-экв/г. Даже при максимальной продолжительности контакта метаантигорита с кислым раствором щелочность в случае мелкодисперсных частиц почти в 1,5 раза превышает этот показатель для частиц размером более 0,615 мм. Полученные результаты показали, что скорость нейтрализации растворов фракционированным реагентом уменьшается с увеличением размера частиц, что можно объяснить увеличением внутридиффузионного сопротивления при взаимодействии твердой фазы с растворами.

Таблица 2

## Щелочность (мг-экв/г) образцов фракционированного антигорита

Продолжительность взаимодействия, сутки	Размер ячеек сит, мм					
	<0,05	0,05-0,16	0,16-0,315	0,315-0,613	0,613-1	>1
1	8,1	6,4	4,8	3,7	2,4	1,9
3	9,8	7,0	7,5	5,2	4,0	3,5
7	12,4	11,2	8,4	8,3	6,0	6,4
10	15,2	14,9	11,5	9,7	7,6	7,2
20	16,3	15,5	12,6	12,4	8,5	8,7
30	16,7	16,0	13,7	14,1	10,0	10,0

## Список литературы

1. Кременецкая И.П., Беляевский А.Т., Васильева Т.Н., Корытная О.П., Макарова Т.И. Аморфизация серпентиновых минералов в технологии получения магнезиально-силикатного реагента для иммобилизации тяжелых металлов // Химия в интересах устойчивого развития. 2010. Т. 18. № 1. С. 41-49.
2. Ilyina V.P., Kremenetskaya I.P., Gurevich B.I., Klimovskaya E.E., Ivashevskaya S.N. The study of serpentinized ultramafics from the Karelian-Kola Region and the production of a Mg-rich-silicate reagent on their basis for the removal of heavy metals from solutions // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2018: Conference proceedings. STEF 92 Technology Ltd., 51 «Alexander Malinov» Blvd., 1712 Sofia, Bulgaria, Energy and Clean Technologies Issue: 4,2. 2 July – 8 July, 2018. Albena, Bulgaria/ 2018. – Vol. 18, Is. 13. – P. 207-213.
3. Кременецкая И.П., Корытная О.П., Васильева Т.Н. Реагент для иммобилизации тяжелых металлов из серпентинсодержащих вскрышных пород // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2008. № 4 (4). С. 33-40.
4. Кременецкая И.П., Корытная О.П., Васильева Т.Н., Бубнова Т.П. Особенности получения и применения фракционированного магнезиально-силикатного реагента // Журнал прикладной химии. 2012. Т. 85. № 10. С. 1553-1561.
5. Хуснутдинов В.А., Валеев Н.Н., Нажарова Л.Н. и др. Кинетика дегидратации серпентина // Деп. ВИНТИ. 1997. 13с.

ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
В СЕЗОННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Апальков В.В.

НИТУ «МИСиС», г. Москва

В данной статье рассмотрены процессы нагрева бетонных строительных конструкций в зимнее время. Вытеснение воздуха из пор бетона вследствие проникания туда влаги под действием сил влагопровод-

ности и термовлагодпроводности, а также вытеснение воздуха из-за его температурного расширения – явления взаимозависимые. Абсолютная величина градиентов  $\nabla p^I$  и  $\nabla p^II$  соответственно пропорциональна величине градиентов  $\nabla U$  и  $\nabla t$ , которые, как известно, однозначно изменяются с интенсивностью нагрева.

Мигрирующие в бетоне между поверхностными и глубинными слоями жидкость в воздух соединяют между собой норы и пустоты, создавая направленную капиллярность, и разрушают еще не окрепшие связи в местах контакта возникающих кристаллических сростков. Очевидно, на развитие деструктивных процессов наиболее ощутимое влияние оказывает изменение воздуховыделения бетоном под влиянием градиента  $\nabla p^III$  вследствие резких изменений (уменьшений) парциального давления воздуха в паровоздушной среде [4].

В процессе тепловой обработки изделий горизонтальной формовки в традиционных пропарочных камерах, непосредственный контакт с греющей средой имеет только верхняя поверхность изделия; боковые и нижняя поверхности защищены металлическими стенками формы. В большинстве случаев длина и ширина известняковых бетонов и бетонов в несколько раз больше их толщины, поэтому эти изделия с точки зрения внутреннего теплопереноса можно рассматривать как неограниченные пластины с одномерным температурным полем.

Глубину проникания тепла со стороны светопрозрачного покрытия обозначим через  $R'_1$ , а глубину проникания тепла со стороны днища через  $R'_2$ . Следовательно, можно сказать, что количество тепла полученное изделием на протяжении стадий нагрева и изотермического выравнивания температур со стороны верхней поверхности  $Q_0$  и со стороны поверхности у днища  $Q_d$  относятся как  $R'_1/R'_2$ . В уравнение температурного поля, и в производные уравнения для расчета нагрева с постоянной скоростью входит величина  $R$  – расчетная толщина прогрева. При несимметричном нагреве глубина проникания тепла  $R = \chi S$ , где  $S$  – толщина изделия в направлении теплового потока;  $\chi$  – коэффициент несимметричности нагрева. Коэффициент  $\chi$  можно определить, располагая кривыми динамики изменения температурного поля.

Коэффициент  $\chi$ , как для расчета коэффициента несимметричности нагрева со стороны верхней поверхности  $\chi'_1$ , и со стороны днища формы  $\chi'_2$  определяем из формул

$$\chi'_1 = R'_1/R_1 + R_2; \quad \chi'_2 = R'_2/R_1 + R_2, \quad (1)$$

Двухсторонний прогрев способствует интенсификации твердения и увеличению набора прочности в течение 1 суток. В этом случае, с учетом сжимающих напряжений в изделии, за счет температурных гради-

ентов, составим уравнение тепловых процессов, которые описывают граничные условия температур на верхней и нижней поверхности изделия. Чаще всего под скоростью нагрева при традиционных способах обработки бетона, в камерах твердения понимают скорость изменения температуры паровоздушной среды в течение 1 часа. Скорость подъема температуры окружающей паровоздушной среды не характеризует динамику изменения температуры нагреваемого изделия, так как закономерности внешнего тепло-массообмена сложны и зависят от многочисленных факторов, которые учесть практически трудно. Наиболее целесообразно скорость изменения температуры паровоздушной среды  $b$  представить как линейную функцию в следующем виде

$$R = R_0 - ab \quad (2)$$

где  $R_0$  – глубина проникновения тепла в начальный момент времени прогрева изделия;  $b$  – скорость изменения температуры под прозрачным покрытием.

При двустороннем тепловом воздействии на изделие  $R = S - R'_1 - R'_2$ , в этом случае уравнение затвердевания изделия при несимметричном прогреве:

$$\begin{aligned} \frac{dR}{dt} &= \varphi_1(t)(\chi_1^1 + C_1 R_1^1) \quad S_1(0) = 0, \\ \frac{dR}{dt} &= \varphi_2(t)(\chi_2^1 + C_2 R_2^1) \quad S_2(0) = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\varphi_1(t)$  и  $\varphi_2(t)$  – безразмерные функции скорости изменения температуры верхнего и нижнего слоя;  $C_1$  и  $C_2$  – постоянные коэффициенты для данных видов бетонов и условий тепловой обработки для верхнего и нижнего слоя;  $S_1$  и  $S_2$  – величины изменения толщин верхней и нижней поверхностей в направлении теплового потока.

### Выводы

Исследована кинетика прогрева бетона через открытую верхнюю поверхность. Установлено, что при нагреве со стороны верхней поверхности поступает тепла в 1,5 раза больше, чем со стороны нижней закрытой поверхности. Пористый бетон прогревается почти в 3 раза быстрее, несмотря на то, что теплообмен через нижнюю закрытую поверхность играет незначительную роль.

Установлены аналитические зависимости нагрева бетона солнечной энергией, подчиняющиеся закону Фурье: количество тепла, проходящее через единицу площади, нормальной к направлению потока в единицу времени, пропорциональна градиенту температуры  $\nabla t$ :  $q = \lambda \nabla t \text{ мДж/м}^2 \cdot \text{ч}$  или  $q_m = -\lambda_m \nabla \theta \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч}$ .

## Список литературы

1. Bathen, K. H. Laboratory test of immiscible solar pond concepts for hawil / K. H. Bathen. – GtmMiami : Int. Conf. Alternative Energy Courses Pros. Miami Beach Fla 12-14 des. –1983. – 539 p. – Direct text.
2. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ содержащихся в выбросах предприятий : ОНД – 86. : утв. Председателем Госкомгидромет СССР 4.08.1986: введ. в действие с 01.01.1987. – Ленинград: Госкомгидромет, 1987. –67 с. – Текст: непосредственный.
3. Подгорнов, Н.И. Использование солнечной энергии при изготовлении бетонных изделий / Н.И. Подгорнов. – Москва: Стройиздат,1989. – С. 99-101. – Текст: непосредственный.
4. Букаев, Е.З. Перспективность применений серы, нефтепромышленности для получения строительных материалов. Е.З. Букаев, А.К. Серикбаева. – Текст : непосредственный // Развитие науки и техники в освоении недр Казахстана : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию академика Ш. Есенова. – Актау, 2017. – С. 274-278.

## **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛУННОГО ГРУНТА – АНАЛОГА ДЛЯ БРОСКОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ПОСАДОЧНЫХ АППАРАТОВ**

**Гришакина Е.А., Агапкин И.А., Маковчук В.Ю.,  
Уварова А.В., Слюта Е.Н.**

*ГЕОХИ РАН, г. Москва*

Все аналоги и модели лунного грунта изготавливаются, как правило, с целью имитации одного-двух основных свойств, необходимых для исследования, моделирования и проведения экспериментов. Практически невозможно создать на основе земных горных пород полный аналог лунного реголита, соответствующий всем основным свойствам – физико-механическим, теплофизическим, электромагнитным, химическому и минеральному составу [1]. В зависимости от задач исследований и требуемых объемов грунта-аналога применяемые компоненты и технологии его изготовления могут существенно различаться. Так для широко-масштабных натуральных экспериментов, например, для бросковых испытаний и отработки посадки космических аппаратов миссии «Луна», для создания лунодромов с целью испытания самоходных или иных транспортных средств для передвижения по лунной поверхности, для проектирования и испытания элементов лунной инфраструктуры, для разработки и создания технологических комплексов по добыче и обогащению необходимых ресурсов, и т.д., требуются объемы грунта-аналога, измеряемые десятками и сотнями тонн.

При выборе компонентов грунта-аналога для широкомасштабных натуральных экспериментов учитывалось несколько основных требований: а) модель лунного грунта должна имитировать только основные физико-механические свойства; б) составляющие грунта-аналога должны обладать относительно низкой стоимостью и легкой промышленной доступностью в больших объемах; в) изготовление грунта-аналога и его укладка должна проводиться с помощью доступных промышленных методов и инструментов.

В соответствии с исходными требованиями были отобраны следующие компоненты: «Песок шлаковый 0.1-5 мм», «Щебеночно-песчаная смесь 0.1-10 мм», «Шлак гранулированный», «Зола-уноса Черепетской ГРЭС (№1)», «Зола-уноса Черепетской ГРЭС (№2)», «Зола-уноса Рязанской ГРЭС», «Кварцевый песок 0.5-1.0 мм». Товарные названия компонентов даны без изменений.

В качестве испытываемых свойств компонентов определялись физические и механические характеристики. После тестирования всех исходных образцов на вышеперечисленные свойства производилось их смешивание в следующих пропорциях, взятых по массе: шлак – 33%, зола – 40%, кварцевый песок – 27%. Такое сочетание компонентов позволило получить лунный грунт-аналог с наиболее приближенными к лунному реголиту физико-механическими свойствами (Табл. 16 в [1]). Для полной апробации были выбраны модели двух типов: lunar soil imitator №1 (LSI1) – «Песок шлаковый 0.1-5 мм», «Зола-уноса Рязанской ГРЭС», «Кварцевый песок 0.5-1.0 мм»; lunar soil imitator №2 (LSI2) – «Щебеночно-песчаная смесь 0.1-10 мм», «Зола-уноса Черепетской ГРЭС (№1)», «Кварцевый песок 0.5-1.0 мм» (Табл. 1, 2, 3).

**Таблица 1**

**Физические свойства аналогов лунного грунта LSI1 и LSI2**

Образец	Сложение	Влажность, %	Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность частиц, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %	Кэф. пористости, д.е.	Уплотняемость, д.е.
LSI1	рыхлое	0	1.50	1.50	2.56	41.30	0.70	1.14
	плотное		1.93	1.93		24.72	0.33	
LSI2	рыхлое	0	1.35	1.35	2.35	42.34	0.73	0.98
	плотное		1.71	1.71		27.02	0.37	

Таблица 2

## Деформационные свойства аналогов лунного грунта LSI1 и LSI2

Образец	Сложение	Вертикальное давление P, МПа	Относит. деформация $\epsilon$ , д.е.	Коэф. пористости $e$ , д.е.	Коэф. фиц. сжимаемости $m$ , 1/Мпа	Одометрический модуль деф. $E_{oed}$ , МПа	Компрессионный модуль деф., $E_k$ , МПа	Статический модуль упругости $E$ , МПа
LSI1	рыхлое	0	0.000	0.668				
		0.025	0.085	0.491	7.109	0.1	0.1	5.3
		0.05	0.099	0.463	1.094	0.9	0.8	12.5
		0.1	0.109	0.443	0.416	2.4	2.1	18.7
		0.3	0.127	0.405	0.190	5.3	4.7	42.7
	0.5	0.136	0.385	0.095	10.5	9.3	99.6	
	плотное	0	0.000	0.383				
		0.025	0.002	0.379	0.126	7.9	5.9	15.7
		0.05	0.003	0.378	0.047	21.1	15.7	23.5
		0.1	0.006	0.375	0.071	14.1	10.4	47.0
0.3		0.012	0.366	0.041	24.1	17.9	75.2	
0.5	0.016	0.361	0.028	36.2	26.9	224.9		
LSI2	рыхлое	0	0.000	0.878				
		0.025	0.112	0.668	8.392	0.1	0.1	8.3
		0.05	0.121	0.651	0.708	1.4	1.3	13.8
		0.1	0.132	0.630	0.419	2.4	2.1	20.7
		0.3	0.153	0.590	0.199	5.0	4.5	47.3
	0.5	0.163	0.571	0.094	10.6	9.5	165.6	
	плотное	0	0.000	0.528				
		0.025	0.013	0.508	0.786	1.3	0.9	10.6
		0.05	0.015	0.505	0.157	6.4	4.7	14.2
		0.1	0.019	0.498	0.122	8.2	6.1	21.3
0.3		0.029	0.483	0.076	13.1	9.7	42.5	
0.5	0.036	0.474	0.048	20.8	15.5	135.6		

Таблица 3

## Прочностные свойства аналогов лунного грунта LSI1 и LSI2

Образец	Сложение	Плотность грунта, $g/cm^3$	Коэффициент трения, $tg \varphi$	Угол внутреннего трения $\varphi$	Сцепление $C$ , МПа
LSI1	рыхлое	1.52	0.39	21	0.000
	плотное	1.91	1.04	46	0.011
LSI2	рыхлое	1.38	0.36	20	0.000
	плотное	1.67	0.69	35	0.034

Оба грунта-аналога достаточно близко соответствуют оригинальному лунному грунту, погрешности в полученных показателях можно считать допустимыми при выборе лунного грунта-аналога для бросковых испытаний посадочных аппаратов.

### Список литературы

[1] Slyuta E.N. (2014) Physical and mechanical properties of the lunar soil (A review). *Solar System Research*. V. 48, № 5. P. 330–353.

## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАРСИАНСКОГО ГРУНТА-АНАЛОГА ДЛЯ БРОСКОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ПОСАДОЧНОГО АППАРАТА «ЭКЗОМАРС-2020»

Уварова А.В.<sup>1</sup>, Гришакина Е.А.<sup>1</sup>, Маковчук В.Ю.<sup>1</sup>,  
Агапкин И.А.<sup>1</sup>, Дмитровский А.А.<sup>1</sup>, Слюта Е.Н.<sup>1</sup>,  
Никитин М.С.<sup>2</sup>, Сенцова Е.А.<sup>2</sup>, Вознесенский Е.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГЕОХИ РАН,  
<sup>2</sup> МГУ, г. Москва

Основной целью исследования являлась разработка грунта-аналога поверхности Марса в обеспечение отработки посадки «ЭкзоМарс-2020». В ходе работы предстояло разработать модель грунта-аналога с указанием интервалов физико-механических свойств и провести моделирование смеси.

Инженерно-геологическая модель грунта-аналога определяется, главным образом, её физико-механическими свойствами и структурными характеристиками грунта (Иванов и др., 2020). Гранулометрический состав варьируется от пылеватых фракций до гравийных. Удельное сцепление марсианского грунта преимущественно ограничено первым десятком килопаскалей, за исключением крупных камней со сцеплением на три порядка выше. Угол внутреннего трения находится в пределах от 15 до 40° (для камней — до 60°).

Исходя из требований к инженерно-геологической модели были подобраны следующие составы грунтов-аналогов с применением метода предельно кривых для выбора гранулометрического состава и учётом доступных по стоимости исходных материалов, необходимых по массе в размере нескольких тонн (табл. 1) (Королев, 2016; Grishakina, 2018).

Таблица 1

## Компонентный состав марсианских грунтов-аналогов, %

	Кварцевый песок дробленый фр. 0.5-1.2 мм (допуск. 0.5-1.0 мм) ГОСТ Р 51641-2000	Кварцевый песок окатанный фр. 0.19-0.23 мм (допуск. 0.1-0.3 мм) ГОСТ Р 51641-2000	Зола- уноса ГОСТ 25818-91	Золошлак ГОСТ 25592-91
Грунт 1	33	28	7	32
Грунт 2	25	15	30	30
Грунт 3	40	40	10	10
Грунт 4	-	50	20	30

Ситовым методом по ГОСТ 12536-2014 был определён гранулометрический состав компонентов и грунтов-аналогов, а также физические свойства по ГОСТ 5180-2015, включая влажность, плотность (в рыхлом и плотном сложении) и плотность частиц (табл. 2).

Таблица 2

## Физические свойства грунтов-аналогов

Образец	Влаж- ность пробы, (%)	Плот- ность частиц грунта, (г/см <sup>3</sup> )	Плотность		Коэф. пористости, (д.е.)	
			в макс. плот- ном состоя- нии	в макс. рыхлом состоя- нии	в макс. плот- ном состоя- нии	в макс. рыхлом состоя- нии
			$\rho_d \max$	$\rho_d \min$	$e \max$	$e \min$
Грунт 1	0.5	2.54	1.69	1.44	0.50	0.76
Грунт 2	0.4	2.48	1.55	1.30	0.60	0.91
Грунт 3	0.2	2.61	1.85	1.59	0.41	0.64
Грунт 4	0.5	2.50	1.57	1.32	0.59	0.89

По результатам лабораторных испытаний, проведённых согласно методикам, описанным в ГОСТ 25100-2011 и ГОСТ 12248-2010, был рекомендован наиболее подходящий по инженерно-геологическим характеристикам грунт-аналог 2 поверхности Марса для проведения широкомасштабных натурных испытаний посадочных устройств, в том числе для марсохода миссии «ЭкзоМарс-2020» (табл. 3).

Таблица 3

## Физико-механические свойства грунтов-аналогов

Образец	Модуль общей деформации (в диапазоне нагрузок 0.1-0.2 МПа), МПа	Статический модуль упругости, МПа	Предел несущей способности грунта, МПа	Динамический модуль деформации, МПа	Динамический модуль упругости, МПа	Модуль сдвига, МПа	Удельное сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град	Коэффициент трения, д.е.
	$E_{общ}$	$E_y$	$R$	$E_d$	$E_{Дy}$	$G_{50}$	$c$	$\varphi$	$tg\varphi$
Грунт 1	12.7	-	0.385	77.6	115.2	1.7	0.011	24	0.445
Грунт 2	5.6	57.3	0.332	52.5	248.9	1.5	0.007	25	0.458
Грунт 3	18.7	-	0.384	68.6	117.6	1.2	0.036	28	0.525
Грунт 4	10.6	67.5	0.451	57.2	148.5	1.3	0.031	25	0.472

## Список литературы

- ГОСТ Р 51641-2000. Материалы фильтрующие зернистые. Общие технические условия. – Введен 2001-07-01. – М.: Госстандарт России, 2001.
- ГОСТ 25818-91. Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. – Введен 1991-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 12 с.
- ГОСТ 25592-91. Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия (с Изменением №1). – Введен 1991-07-01. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2002.
- ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М., 2015. 18 с.
- ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М., 2016. 20 с.
- ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М., 2013. 63 с.
- ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М., 2011. 78 с.
- Иванов М.А., Слюта Е.Н., Гришакина Е.А., Дмитровский А.А. Геолого-морфологический анализ потенциального района посадки КА «Экзо-Марс» *Oxia Planum* // *Астрономический вестник*. 2020. Т. 54. №1. С. 3-17. DOI: 10.1134/S0320930X20010053
- Королёв В.А. Моделирование гранулометрического состава лунных грунтов // *Инженерная геология*. 2016. № 5. С. 40-50.
- Grishakina E.A., Dmitrovskii A.A., Ivanov M.A., Sorokin E.M., Makovchuk V.Y., Uvarova A.V., Voznesensky E.A., Nikitin M.S., Sentsova E.A.,

and Slyuta E.N. Martian soil simulant for large-scale field experimental research // The Ninth Moscow Solar System Symposium. IKI RAS, Moscow, 2018. P. 240-242.

**ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ РУД  
ПОСРЕДСТВОМ МОНИТОРИНГА СОДЕРЖАНИЙ МЕДИ  
И СЕРЕБРА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОНВЕЙЕРАХ  
ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК И РУДНИКОВ  
ТОО «КОРПОРАЦИЯ КАЗАХМЫС»**

**Нигматулин А.М.<sup>1</sup>, Абдрахманова З.Т.<sup>1</sup>, Кан А.Н.<sup>1</sup>, Юн Р.В.<sup>1</sup>,  
Ефименко С.А.<sup>1</sup>, Бялова Г.Г.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ТОО «Казакхмыс Холдинг»,

<sup>2</sup> КарГТУ, г. Караганда, Казахстан

ТОО «Корпорация Казахмыс» является крупнейшим производителем катодной меди в Казахстане. Шахты и карьеры ПО «Жезказганцветмет», ПО «Балхашцветмет» и ПО «Карагандацветмет» разрабатывают месторождения медьсодержащих полиметаллических руд очень сложного вещественного состава: Жезказган, Жаман – Айбат, Желандинская группа, Коунрад, Саякская группа, Шатырколь, Нурказган, Абыз, Акбастау, Кусмурын. Самая богатая часть запасов медных руд уже отработана, поэтому содержания меди в руде падают из года в год. Экономические потери от такого тренда содержаний меди компенсируются попутной добычей серебра.

В этих условиях ранг одной из наиболее актуальных производственных задач приобретает задача оперативного управления качеством добываемых медьсодержащих руд и попутной добычи серебра. Для эффективного решения этой задачи необходимы технические средства online мониторинга содержаний меди и серебра в добываемых рудах.

На стадии горного передела таким средством являются портативные энергодисперсионные рентгенофлуоресцентные (EDXRF) анализаторы вещественного состава руд РПП–12Т, позволяющие вести рентгенофлуоресцентное опробование (РФО) руд на 34 элемента, включая медь и серебро. Это единственные спектрометры, позволяющие вести РФО забоев высотой до 7 м. Спектрометр РПП–12Т при экспозиции единичного измерения 10 с позволяет определять содержания серебра от 1,0 ppm.

Имеющегося парка спектрометров РПП–12Т не достаточно, чтобы охватить РФО все забои, находящиеся в добыче. Требуется инструмент ведения online мониторинга содержаний меди и серебра в рудах, посту-

пающих на переработку на обогатительные фабрики ТОО «Корпорация Казахмыс»: Жезказганские №1 и №2, Балхашскую, Карагайлинскую и Нурказганскую. Такое средство online мониторинга должно решать и задачу объективного распределения меди и серебра в добытых рудах между шахтами и карьерами по итогам месяца. Сразу следует указать на два неблагоприятных обстоятельства: большая крупность кусков руды на ленточном конвейере (класс – 300мм) и низкие содержания серебра (Жезказган – 15 ppm, Коунрад и Нурказган – 2–3 ppm). Задача такой сложности ещё нигде не решалась.

Эффективным средством такого online мониторинга являются EDXRF рудоконтролирующие станции (РКС) РЛП–21Т (ТОО «Аспап Гео», Алма–Ата, Казахстан). На Жезказганской обогатительной фабрике №2 (ЖОФ–2) с 2014 года работала EDXRF РКС РЛП–3–02 (ООО «Геотех, С–Пб, Россия), которая себя хорошо зарекомендовала при РФО руд на медь (по серебру на низких содержаниях она работала нестабильно, поэтому не рекомендовалась к использованию в качестве элемента управления процессом добычи меди и серебра).

РКС РЛП–21Т проектировалась именно под решение задачи РФО руд с максимально низкими (от 1+ ppm) содержаниями серебра. Всего в ТОО «Корпорация Казахмыс» были введены в эксплуатацию 8 РКС РЛП–21Т: на ленточных конвейерах №1Т (25 октября 2016г) и №2Т (25 января 2017г) ЖОФ–2, конвейерах №1А (25 января 2017г) и №1 (в августе 2019г) ЖОФ–1, на конвейерах №2 и №2А (4 мая 2018г) Балхашской ОФ (БОФ), магистральном конвейере №1 (14 июня 2018г) Нурказганского подземного рудника (НПР), на конвейере №4 (27 июля 2018г) Карагайлинской ОФ,

Список элементов online мониторинга руд: медь, свинец, цинк, серебро, кадмий, железо (ЖОФ – 1, 2, БОФ, КОФ), медь, свинец, цинк, серебро, молибден, железо (НПР).

Процедура проведения измерений: единичные измерения, каждое длительностью 1 сек, выполняется одно за другим, без пропусков; содержания меди, свинца, цинка и железа рассчитываются, как средняя величина из 20 единичных измерений; содержания серебра, кадмия и молибдена рассчитываются, как средняя величина из 40 единичных измерений.

Самая сложная аналитическая задача была решена на БОФ, куда одновременно поставляются руды, как с гетерогенных объектов – руды месторождений, так и фактически гомогенные объекты – отвальные шлаки Балхашского медеплавильного завода (БМЗ). Руды представлены всей палитрой содержаний меди: богатые (Шатырколь), средние (Саяк–1, Тастау, Нурказган), бедные (Коньрат) и убогие (Акжал). Отвальный

шлак БМЗ имеет очень сложную для рентгенофлуоресцентного метода элементную матрицу содержаний: Cu – до 1,15%, Zn – до 6,0%, Pb – до 0,70%, Fe – до 53,0%.

Для сокращения времени остановки конвейера для выполнения процедуры проверки работоспособности РКС, в комплект РКС РЛП–21Т введена искусственная контрольная проба, которая одевается на окна рентгеновской трубки и SDD детектора на торцевой части корпуса РКС РЛП–21Т и удерживается магнитами. Содержание элементов в контрольной пробе: Cu – 1,38%, Ag – 12,0 ppm, Zn – 0,05%, Pb – 0,20%, Cd – 1,8 ppm, Fe – 4,65%. Процедура проверки занимает не более 10 минут.

Учет переменного зазора «руда – РКС» в РКС РЛП – 21Т производится двумя способами: с помощью ультразвукового датчика расстояния – MaxBotix MB7067 (основной способ); с помощью интенсивности рассеянного излучения элементов, слагающих руду на ленте конвейера.

Факторы, влияющие на точность РФО руд с помощью РКС РЛП–21Т: переменная крупность руды (от 1– 2 до 300 мм); грязь и пыль на поверхности руды (энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный метод являет мало глубинным (пленочным) методом, поэтому пыль и грязь на поверхности кусков руды могут существенно исказить результаты online мониторинга); переменная плотность руды (на переработку на ОФ поступает преимущественно сульфидная руда, но есть и окисленная руда); переменный зазор «руда – РКС РЛП–21Т»; неравномерность заполнения ленты конвейера рудой; «гуляние» ленты конвейера относительно оси конвейера; одновременное поступление руды на ОФ с разных месторождений; поступление на ОФ отвального шлака, являющегося гомогенным объектом, тогда как руды месторождений являются гетерогенными объектами; присутствие в материале конвейерной ленты цинка в количествах от 2 до 4 %; низкие содержания серебра и кадмия в рудах Карагандинского и Балхашского регионов.

Акцентируем внимание на том, что с момента введения в эксплуатацию, зафиксированные РКС содержания серебра составили:

- на БОФ: максимальные: 11,5 ppm (Тастау) и 12,3 ppm (отвальный шлак); минимальные – 1,9 ppm (Коунрад);
- на КОФ: 19,6 ppm (максимальное) и 6,5 ppm (минимальное);
- на НПР: 7,4 ppm (максимальное) и 1,1 ppm (минимальное); молибдена: 0,1105% (максимальное) и 0,0011% (минимальное).

Это гораздо ниже уровня содержаний серебра в рудах, поступающих на ЖОФ–1 и ЖОФ–2. Таким образом, впервые в мировой практике EDXRF РКС смогла взять столь низкие содержания серебра на рудах крупностью –300мм.

Для создания online отчетов о работе РКС созданы специальные программы (РКС «Клиент» (ЖОФ–1, ЖОФ–2), РКС «БОФ» (БОФ), РКС «КОФ» и РКС «НПР»). Специалисты ТОО «Корпорация Казахмыс», имеющие доступ к этим программам, могут в любой момент посмотреть текущую ситуацию с отгрузкой руды, меди и серебра на ЖОФ–1,2, БОФ, КОФ, НПР и принять (в случае необходимости) действия по корректировке процесса отгрузки руды.

Таким образом, поставленная очень сложная аналитическая задача было успешно решена. Горняки получили: текущую (в online режиме) информацию по отгрузке руды и металлов на фабрики и могут оперативно вносить корректировки в процесс отгрузки руды; инструмент, гарантирующий объективное распределение сливного металла между шахтами и карьерами как в разрезе смен и суток, так и в разрезе месяца.

# ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ И РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

---

---

## ОСОБЕННОСТИ СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ ИМ. КИРОВА АО «СУЭК-КУЗБАСС»

Кулибаба С.Б.

*ИПКОН РАН, г. Москва*

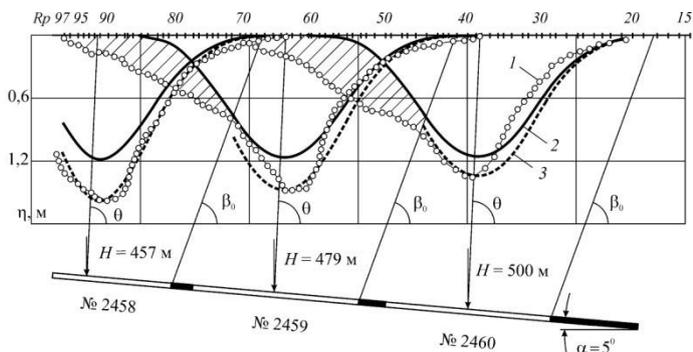
В основе проекта мер охраны объектов, расположенных на подрабатываемых территориях, лежит прогноз деформаций земной поверхности, поэтому повышение точности последнего является актуальной научно-технической задачей. Современные расчеты параметров процесса сдвижения земной поверхности проводятся по методике, регламентированной действующим в РФ нормативно-методическим документом [1], разработанным почти четверть века назад. Учитывая постоянное изменение условий подземной разработки угольных пластов существующие методы прогноза теряют точность, необходимую для принятия эффективных инженерных решений, и требуют модернизации.

Сопоставляя расчетные параметры с результатами инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности, проводимых на шахте им. Кирова (АО «СУЭК-Кузбасс»), можно выделить некоторые особенности. На рис. 1 показаны графики оседаний земной поверхности ( $\eta$ ) в районе поселка Байкаим (г. Ленинск-Кузнецкий) над выемочными участками лав 2458, 2459 и 2460 пласта Болдыревский. При сравнении графиков мульды сдвижения, рассчитанного по методике [1] (кривые 2 на рис. 1), с фактическими, полученными в результате маркшейдерских инструментальных наблюдений (кривые 1), можно видеть некоторые отличия в их конфигурации.

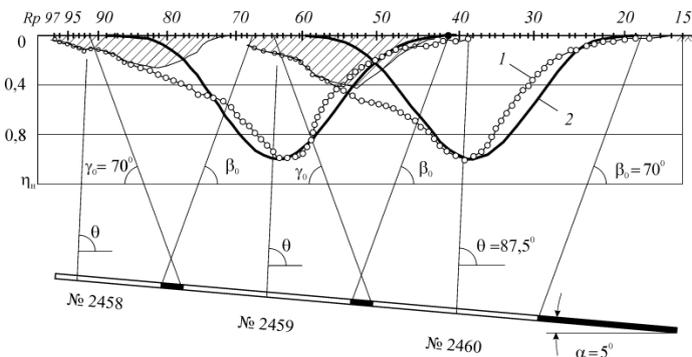
Во-первых, очевидно, что расчет дает заниженные значения оседаний относительно фактических, что особенно заметно в центральных частях мульды сдвижения. Сопоставление условий работы указанных лав показывает, что все их характеристики практически совпадают, за исключением средней глубины отработки пласта, которая на соседних выемочных участках разнится на 20–40 м (4–8 % от средней глубины). Это позволяет сделать вывод о том, что методика расчета максимальных оседаний [1] в рассматриваемых условиях требует корректировки в части учета параметра глубины разработки  $H$ .

Во-вторых, обращает на себя внимание то, что в краевых частях мульды сдвижения над каждым из междулавных целиков, оставляемых

рядом с ранее отработанным участком пласта, образуется микромульда сдвижения (заштрихованные области на рис. 1), которые отчетливо видны на графиках нормированных оседаний земной поверхности (рис. 2). Причина этого явления – активизация процесса сдвижения земной поверхности над соседней ранее отработанной очистной выработкой [2]. Дополнительные сдвигения этих участков происходят вследствие уплотнения в зоне опорного давления массива зависающих над старыми очистными работами породных слоев, и в действующей методике прогноза не учитываются.



**Рис. 1. Кривые оседания земной поверхности над лавами 2458, 2459 и 2460: 1 – фактические; 2 – рассчитанные по методике [1], 3 – рассчитанные предлагаемым способом**



**Рис. 2. Нормированные оседания земной поверхности: 1 – фактические; 2 – рассчитанные по методике [1]**

И, наконец, на графиках нормированных оседаний земной поверхности (см. рис. 2) наблюдается заметное расхождение конфигурации расчетной и фактической мульды сдвижения над целиком со стороны нетронутой части пласта – прогнозируемые контуры полумульд на этих участках имеют более пологую форму, чем фактические. Это говорит о том, что функции типовых кривых, принятые для условий Кузбасса [1], некорректно отображают распределение нормированных оседаний в мульде сдвижения.

Проведенными исследованиями установлено, что причиной погрешности прогнозирования максимального оседания может быть некорректный учет средней глубины подработки  $H$ , м, учитываемой параметрами степени подработанности земной поверхности  $N_1$  и  $N_2$ . Анализ показал, что при определении этих коэффициентов в рассматриваемых условиях следует использовать приведенную глубину подработки  $H'$ , м:

$$H' = H + \exp(0,3 + 0,01H) - 331, \text{ м.} \quad (1)$$

На рис. 1 видно, что графики оседаний, рассчитанные для каждой из трех лав предлагаемым способом (кривые 3), значительно точнее описывают фактические оседания земной поверхности, чем графики, полученные по методике [1].

В работе [2] была установлена зависимость между оседаниями земной поверхности в микромульде сдвижения над междулавным целиком и отношением глубины залегания целика к его размеру. Однако, как показало сопоставление расчетных значений с фактическими, последние значительно превышают прогноз в рассматриваемых условиях [3], что говорит о необходимости дальнейшего изучения процесса образования микромульд.

Таким образом, в результате проведенных исследований определены особенности параметров сдвижения земной поверхности в условиях шахты им. Кирова АО «СУЭК-КУЗБАСС», свидетельствующие о необходимости модернизации существующей методики их прогноза, а также установлена формула приведенной средней глубины подработки для повышения точности расчета максимального оседания.

### Список литературы

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – С.-Петербург, ВНИМИ, 1998. – 291 с.
2. Иофис, М. А. Геомеханические основы методики расчета предохранительных целиков под вертикальные шахтные стволы / Иофис М. А., Канунов Д. В. // Маркшейдерский вестник. – 2001. – № 1-2. – С. 32-34.

3. Кулибаба С. Б., Бузмакова С. А. Оседание земной поверхности над междувальными целиками / Труды РАНМИ.: сб. научн. трудов. – Донецк, 2019. – № 8 (23) (часть 1). – С. 242-248.

## **ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ И МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПРОСТЕЙШИХ ВВ ДЛЯ СЕВЕРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ РОССИИ**

**Викторов С.Д., Франтов А.Е.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

Актуальность выполняемых работ. Анализ исследований минерально-сырьевой базы России демонстрирует устойчивые тренды истощения запасов с благоприятными условиями добычи, перехода открытых и подземных работ на большие глубины, разработки месторождений в сложных природных и климатических условиях. В связи с этим требуется выявление закономерностей влияния природных, климатических, инфраструктурных условий (значительная изолированность, низкая энергообеспеченность, высокий уровень затрат на строительство, отсутствие дорожной сети и др.) на выбор приоритетных технических и технологических решений по разрушению горных пород с учетом техногенной нагрузки на природную среду в северных и арктических районах России.

Цели исследования – обоснование инновационных составов простейших ВВ для северных и арктических районов России, приближение технологических процессов изготовления рассматриваемых ВВ к месту извлечения полезных ископаемых, возвращение в производственный оборот на основе рециклинга горючих материалов (изношенных резинотехнических изделий, отработанных нефтепродуктов, использованной тары и др.) в качестве компонентов простейших ВВ.

### **1. Особенности рецептуры простейших ВВ**

В Российской Федерации простейшие гранулированные ВВ объединены под общим названием «гранулиты», для которых разработана широкая номенклатура двух-, трех- и многокомпонентных смесей, изготавливаемых в заводских условиях и на местах ведения взрывных работ. Компонентный состав, изготавливаемых в заводских условиях гранулитов, характеризует использование аммиачной селитры марки А, ЖВГ или пористой; нефтепродукта в виде масла индустриального марки И-40А или марки 45. В качестве добавок используется пудра алюминиевая марок ПП-1 или ПП-2.

Гранулиты «Игданит», «Игданит-П», А3, А6 отличает от гранулитов заводского изготовления использование более широкого ассортимента нефтепродуктов – дизельного топлива, масла веретенного, индустриального, нефтепродуктов отработанных групп МИО, ММО. В качестве энергетических добавок применяются порошки алюминиевые ПА-0, ПА-1, ПА-2, ПА-3, ПА-4; алюминий вторичный АПВ, крупка алюминиевая первичная АКП, а также силикоалюминий дисперсный (порошки марок САС-1-50, САС-1-300 или САС -1-400).

Гранулиты УП1, Д-5 включают применение в качестве добавок угольного порошка, а в составе гранулита УП2 марок 1 и 2, кроме этого, – вспененного полистирола. Гранулит НП характеризует использование в качестве нефтепродукта приборного, поглотительного или солярового масла. В гранулите РД используется механическая смесь гранулированной и порошкообразной селитры с нефтепродуктом. В гранулите «АСП» применяются в качестве добавок алюминиевые порошки ПА-1, ПА-2, ПАП-1, ПАП-2; порошок ферросилиция (марки ФС-90); и антистатическая присадка АСП.

Особенностью гранулитов ЭТ является использование эмульсии, на основе эмульгаторов, содержащих мыльный клей, ПТ или ПТ-П, а также использование в качестве нефтепродукта, кроме показанных выше, мягчителя резины. В качестве добавки в гранулите ЭТ-А используется порошок алюминия (ПА-0, ПА-1, ПА-2, ПА-3, ПА-4; крупка алюминиевая первичная АКП, силикоалюминий марок САС-1-50, САС-1-300 или САС -1-400. В гранулите ЭТ-У используется порошок угля, а в гранулите ЭТ-П применяются гранулы пенополистирола (полистирол бисерный, а также полистирол марок ПСБ и ПСБ-С).

Гранулит-Э, ЭМ являются аналогами гранулита и представляет собой механическую смесь аммиачной селитры (АС) с водомасляной эмульсией (ВМЭ). Гранулит МП характеризуется использованием добавок порошка алюминиевого и ПАВ.

Гранулит ИВД-5 характеризуется созданием временной пористости путем подогрева гранул АС и вдавливания в образовавшиеся микротрещины дизельного топлива под давлением сжатого воздуха. После остывания и закрытия микротрещин дизельное топливо остается в гранулах.

Составы простейших ВВ зарубежных стран содержат в качестве добавок: порошок алюминия, древесную муку (*алюмон, динамон*), порошок алюминия (*солетрол М*), порошок угля или лигнита, натрий карбометилцеллюлоза (*нитрол В*), муку древесную (*аммонекс*), уголь, графит, алюминий (*нафтенинты Г-1, Д-2, А-4*). В простейших ВВ – *андомент, метамит, аловиты, алюмексы, приллит*, -применяется алюминий или ферросилиций и др. добавки. Компании ЕТИ и DYNО NOBEL LТEE

предлагают простейшие гранулированные взрывчатые вещества – *Nilitefr*, *Fragpaksd*, *Nilitewr*, *Waterblock*, которые отличает использование пористой селитры, в том числе разного гранулометрического состава. В составах *Nilite frm-5*, *Nilitefrm-10* для увеличения мощности используется алюминий (5-10%). Для взрывания в предварительно осушенных скважинах в рецептуру вводят желатинизирующие добавки. Взрывчатые вещества *Lo-ritemd 20* и *Lo-ritemd 40* обладают пониженной мощностью и скоростью детонации при плотности 0,93-1,0 г/см<sup>3</sup>, а взрывчатое вещество *Lite-rite II* обладает пониженной плотностью заряжения ( $\rho=0,52$  г/см<sup>3</sup>).

## **2. Выбор критериев эффективности простейших взрывчатых веществ для северных и арктических условий России**

На основе анализа рецептуры простейших взрывчатых веществ отечественного и зарубежного производства с учетом ключевых параметров были сформулированы критерии, в создании простейших ВВ для рассматриваемых условий:

1. Критерий эффективности взрывания – осуществление возможности управления энергией, работой и действием взрыва при решении технологических задач в сложных горнотехнических условиях при освоении минеральных ресурсов северных и арктических районов России.

2. Критерий безопасности в обращении – соответствие основных (чувствительность к механическим и тепловым воздействиям, электрическим зарядам, химическая и физическая стабильность) характеристик простейших взрывчатых веществ ВВ условиям применения в северных и арктических районах России.

3. Критерий надежности работы – устойчивое состояние детонации зарядов в условиях ведения взрывных работ в северных и арктических районах России, обеспечиваемое восприимчивостью к детонации, детонационной и инициирующей способностью простейших взрывчатых веществ.

4. Критерий экологического воздействия – минимизация нагрузки на природную среду (атмосферу, воду и почву) северных районов России.

5. Критерий экономической эффективности – получение положительного экономического эффекта за счет более низкой себестоимости разрушения, дробления и перемещения горных пород при применении простейших взрывчатых веществ в северных и арктических районах России.

Поиск новых рецептурных решений в составах простейших ВВ, технологии их изготовления и применения должен проводиться с учетом условий применения простейших ВВ в северных и арктических услови-

ях, влияния на взрывную эффективность характеристик компонентов, применяемых в рецептуре простейших ВВ (в том числе на основе рециклинга материалов), разработки надежных, эффективных и экономичных средств инициирования простейших ВВ для северных и арктических условий, механизации производственных процессов при приготовлении и зарядании простейших ВВ в северных и арктических условиях.

### 3. Подходы к оценке простейших ВВ для северных и арктических районов России

Сравнение отечественных и зарубежных рецептур простейших ВВ производится с использованием подходов, изложенных в [1]. С учетом проведенного анализа рецептур простейших ВВ отечественного и зарубежного изготовления определяются показатели, оказывающие наибольшее влияние на эффективность применения и характеристики в различных горнотехнических, природных и климатических условиях использования. Оценка интегральной характеристики простейших ВВ отечественного и зарубежного изготовления производится с учетом влияния (ранга) и веса (доли) выделяемых параметров в техпроцессе взрывных работ (табл.1). Отражается в описании назначение показателя (П) и дается технологический комментарий показателя, условий применения или процесса. На основе экспертной оценки определяется весовой параметр показателя.

Таблица 1

Простейшие ВВ отечественного и зарубежного производства

№ №	Показатели	Назначение	Технологический комментарий		Доля (Р) показателя, %
			Преимущества	Недостатки	
1	П <sub>1</sub>				Р <sub>1</sub>
2	П <sub>2</sub>				Р <sub>2</sub>
3	П <sub>3</sub>				Р <sub>3</sub>

Разделение показателей производится в соответствии с положениями работы [2] на четыре ранга (R):

- оказывающие доминирующее влияние -определяющие параметры техпроцесса взрывных работ (ранг 4);
- оказывающие основное влияние – определяющие основные параметры техпроцесса (ранг 3);
- оказывающие влияние – определяют отдельные параметры техпроцесса и основные показатели технологии (ранг 2);
- оказывающие слабое влияние – определяют вспомогательные показатели техпроцесса (ранг 1).

Итоговая оценка простейших ВВ производится с учетом весовых параметров показателя и его ранга (табл.2). Определяются оценки отдельных показателей, затем в графе «Итого» суммируются оценки всех показателей и определяется общая оценка простейшего ВВ. С использованием представленного подхода проводится оценка простейших ВВ отечественного и зарубежного производства, в том числе для северных и арктических районов России. По данной методике лучшим является простейшее ВВ, имеющее более высокую сумму оценок показателей.

**Таблица 2**

**Сравнительная оценка простейших ВВ**

Характеристики оценки	Показатель			Итого
	П <sub>1</sub>	П <sub>2</sub>	П <sub>3</sub>	
Доля показателя от 100%	Р <sub>1</sub>	Р <sub>2</sub>	Р <sub>3</sub>	
Ранг показателя	Р <sub>4</sub>	Р <sub>2</sub>	Р <sub>3</sub>	
Оценка показателя	O <sub>1</sub> =P <sub>1</sub> R <sub>4</sub>	O <sub>1</sub> =P <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	O <sub>1</sub> =P <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	

### Список литературы

1. Типы шкал для характеристики и оценки [Электронный ресурс] [http://systematy.ru/articles/42\\_tipyi\\_shkal\\_dlya\\_harakteristiki\\_i\\_otsenki\\_alternativ](http://systematy.ru/articles/42_tipyi_shkal_dlya_harakteristiki_i_otsenki_alternativ) (дата обращения 27.03.2020).
2. Закалинский В.М., Франтов А.Е. О принципе преемственности технологических решений в области взрывных работ // Взрывное дело. Выпуск № 105/62. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2011. – С. 83-92.

## **КОНЦЕПЦИЯ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВЫБРОСООПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ НАПРЯЖЕННЫХ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД ВБЛИЗИ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК<sup>1</sup>**

**Трофимов В.А., Шиповский И.Е.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

### **Введение**

Для решения актуальной в угольной отрасли задачи – прогноза аварийно-опасных явлений в выработках с учетом геодинамической актив-

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-00912.

ности угольного пласта, целесообразно представление такого угольного пласта в виде некоторой энергонасыщенной среды, способной при определенных условиях разрушаться и выделять в массив значительное количество кинетической энергии. Основываясь на результатах компьютерных расчетов для той или иной схемы проведения буровзрывных работ можно выявить момент и место зарождения выброса и оценить последствия заполнения пространства выработки измельченными углепородными массами и метаном. Получаемые результаты при различных параметрах энергонасыщенности могут быть применены к изучению закономерностей возникновения и протекания явлений выброса. При этом опробованы возможности метода сглаженных частиц [1-5] в составе комбинированного вычислительного подхода для компьютерного расчета напряженно-деформированного состояния углеродсодержащего массива горной породы с учетом возможности возникновения выброса. Основной задачей было получение адекватных результатов последствий проведения выработки буровзрывным методом в горном массиве вблизи выбросоопасного угольного пласта.

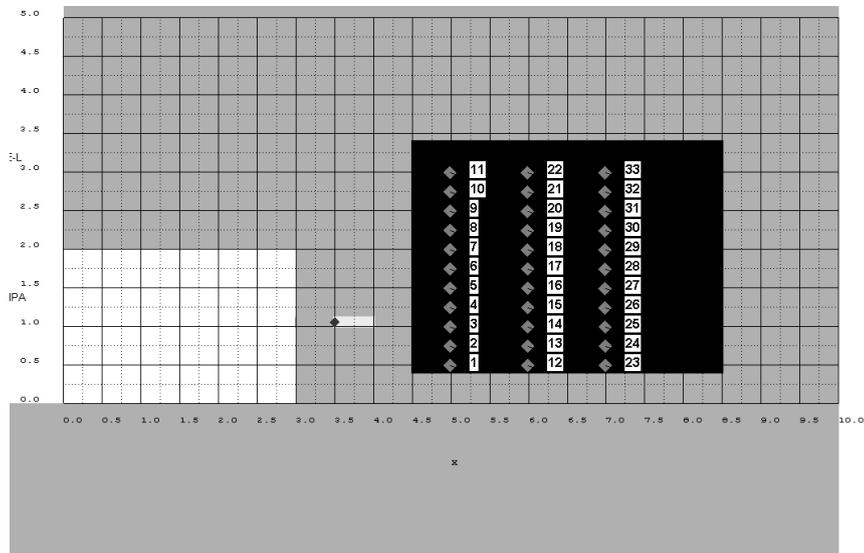
Для описания состояния пласта использовался модельный материал плотностью  $1400 \text{ кг/м}^3$  с возможностью задания в нем начального стационарного состояния энергонасыщенности с последующим переходом в динамическое. Это начальное состояние позволяет осуществить подобный переход с использованием расчетного комплекса ANSYS – AUTODYN, путем моделирования подрыва шпурового заряда в выработке. Действие волн сжатия после взрыва инициировало к моменту времени 0.005 с активацию энергонасыщенного пласта, что приводит в итоге к интенсивному выбросу материала пласта с образованием полостей. Структура и конфигурация расчетной области формируются исходя из физической постановки задачи и возможного влияния внешних факторов на исследуемый процесс.

Начальная геометрия задачи представлена на рисунке 1.

На рисунке показана расчетная область, представляющая массив горной породы с выработкой, проводимой взрывным способом. Светло серым цветом обозначен шпуровой заряд. В плоской постановке это фактически ряд близкорасположенных зарядов, помещенных в срединной плоскости выработки. Темной точкой на каждом из них выделено место детонации заряда. Цифрами в рамках указаны места размещения датчиков для замера параметров геосреды.

Моделирование напряженно-деформируемого состояния геосреды осуществляется путем численного решения системы уравнений механики сплошной среды, которая включает уравнения неразрывности, движения и энергии. Замыкают систему уравнений определяющие соотно-

шения, которые конкретизируют поведение среды, задавая связи между тензорами напряжений и деформаций. Учет изменения прочности нагруженной среды с течением времени, осуществляется путем введения функции накопления повреждений.



**Рис. 1. Начальная геометрия задачи**

Применение данных соотношений позволяет рассматривать задачи о развитии деформации и разрушения за счет деградации прочности с течением времени при неизменной внешней нагрузке.

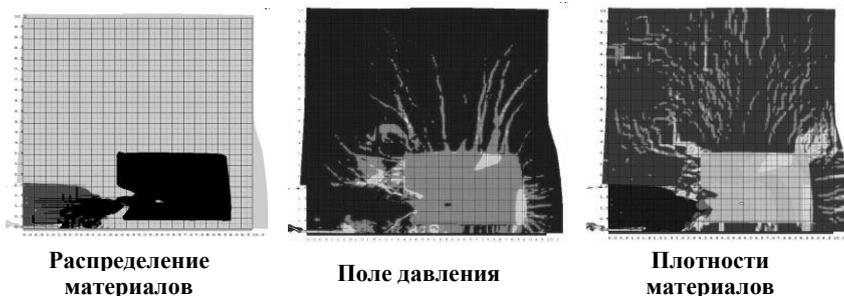
После включения в систему уравнений сохраняющих определяющих соотношений количество переменных становится равно количеству уравнений, система становится замкнутой и может быть решена.

В данной работе для решения поставленной краевой задачи применяется хорошо зарекомендовавший себя в исследовании проблем геомеханики лагранжевыи метод сглаженных частиц [1].

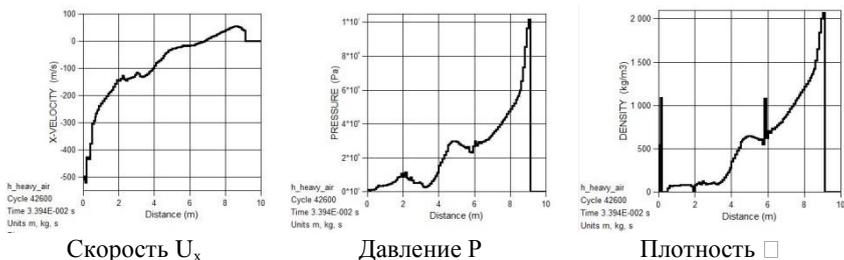
### **Результаты расчетов. Описание результатов**

В работе используется вычислительный подход на основе комбинированного применения эйлерова решателя совместно с лагранжевым представлением массива горной породы. Такая расчетная схема показала свою перспективность. Тестовые расчеты в сравнении с экспериментальными данными и расчетами другими методами показали, что применение

предлагаемого расчетного подхода в решении динамических задач геомеханики дает вполне приемлемые результаты, и рассчитанные параметры имеют порядки величин близкие к значениям наблюдаемым на практике.



**Рис. 2. Рассчитанное состояние массива с выработкой после выброса**



**Рис. 3. Рассчитанные графики изменения параметров вдоль характерной горизонтальной прямой линии, расположенной на уровне закладки заряда ВВ в момент времени 0.034 с**

### **Выводы и перспективы развития направления**

Используемая модель динамического разрушения наглядно воспроизводит деформации породы и улавливает ее разрыхление и сдвигание путем ослабления взаимосвязей между частицами материала и формирования новых свободных поверхностей. Растягивающие напряжения и напряжения сдвига за счет возникшей фрагментации ведут к снижению прочностных параметров напряженно-деформированного состояния, т.е. к накоплению повреждений в массиве горной породы. Полученные путем изложенного подхода моделирования результаты достаточно близко качественно коррелируют с эмпирическими наблюдениями и способствует более качественному изучению и лучшему пониманию физических процессов, происходящих при деформировании и разрушении пород при техногенных воздействиях.

Исследование показало, предложенный подход при моделировании поведения горного массива с выработкой открывает возможность описания внезапных выбросов. Дальнейшие исследования необходимы, чтобы перейти от качественных результатов к получению количественных характеристик для различных вариантов параметров схем проведения выработок, систематизированная обработка которых позволит получить основу для инженерных методик.

Полученные результаты являются базовыми для разработки перспективных направлений методологических и научных исследований.

### **Список литературы**

1. Шиповский И.Е. Расчет хрупкого разрушения горной породы с использованием бессеточного метода //Науковий вісник НГУ. – НГУ. – Дніпропетровськ. – Вип. 1(145). – 2013. – С. 76 -82.

2. Минеев С.П., Шиповский И.Е. Компьютерное моделирование состояния выбросоопасного угольного пласта и вмещающих пород вблизи проводимой взрывным методом выработки //Материалы XXIV междунар. науч. школы им. акад. С.А. Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». – Симферополь: Таврический нац.ун-т. – 2014. – С.141-150.

2. Минеев С.П., Шиповский И.Е. Моделирование поведения массива при взрывном проведении выработки вблизи выбросоопасного пласта // Матеріали міжнар. конф. «Форум гірників». – Днепропетровск: Національний гірничий університет. – 2014. – Т.2.- С. 81-90.

4. Минеев С.П., Шиповский И.Е. и др. Моделирование поведения выбросоопасного массива при взрывных работах в проводимой выработке// Геотехнічна механіка, Міжвід. зб. наук. Праць/ Ін-т геотехнічної механіки НАН України. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип.201(5). – №123. – С. 26-39.

5. Шиповский И.Е., Минеев С.П., Пилип В.А., Янжула А.С. Развитие концепции энергонасыщенного материала для моделирования выбросоопасности углеродного массива // Материалы XXVI междунар. науч. школы им. акад. С.А. Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». – Симферополь: Крымский федеральный ун-т. – 2016. – С. 143-146.

## **ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНОЙ ПОЛОСТИ НА КИНЕМАТИКУ ДВИЖЕНИЯ ГРУНТА ПРИ ВЗРЫВЕ НА ВЫБРОС**

**Шубин И.Л., Жариков И.Ф.**

*Davey Bickford Enaex, г. Сочи  
ИПКОН РАН, г. Москва*

Применение взрывов на выброс при вскрытии месторождений полезных ископаемых позволяет существенно сократить время на подго-

товительный цикл работ и сэкономить при этом значительные материальные средства. Весьма перспективным представляется использование взрывов на сброс для бестранспортного перемещения пород в выработанное пространство. В связи с этим большое значение приобретают исследования методов повышения эффективности взрывов на выброс и сброс. Теоретические и экспериментальные исследования позволили установить, что при действии зарядов с воздушными полостями качественно изменяется механизм передачи энергии взрыва окружающей среде вследствие изменения внутренней газодинамики расширяющихся в полости продуктов взрыва. Схематично процесс выброса можно разбить на три стадии.

Первая стадия – от момента детонации заряда ВВ до выхода волны сжатия на свободную поверхность. На данной стадии движения окружающей среды осесимметрично, как в неограниченной среде. Большие напряжения, возникающие при этом в твердых телах, вызывают разрушение материала. С этой точки зрения, представляется существенным выявление роли волны сжатия. Хотя время действия волны сжатия мало, работа, которую она совершает, оказывается значительной.

Вторая стадия включает в себя образование и развитие купола до момента нарушения сплошности, т.е. до его развала. На этой стадии основные затраты энергии идут на ускорение среды в направлении свободной поверхности. Изменение размеров купола требует затраты энергии на преодоление сил сцепления и трения. На второй стадии выброса основная доля энергии подводится к среде от газообразных продуктов взрыва. Следовательно, на этой стадии должны проявиться эффекты, связанные с газодинамическими процессами, протекающими в полости.

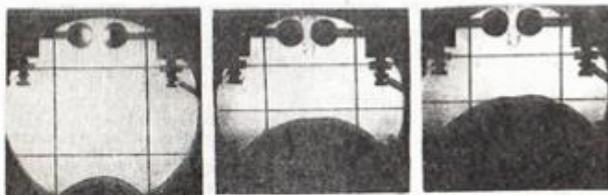
Третья стадия – баллистический разлет образовавшихся кусков грунта в поле силы тяжести. Дальность разлета определяется запасом кинетической энергии, углом разлета, а также сопротивлением воздуха.

Кинетическая энергия движения грунта определяется скоростью поднятия купола, а угол разлета – его радиусом. Основным параметром моделирования на второй стадии выброса являются: энергия газов  $\varepsilon$ , давление  $P$ , показатель адиабаты  $\gamma$  и глубина заложения заряда  $H$ .

Результаты исследований показывают, что волна сжатия изменяет свою форму: при этом однократное динамическое воздействие на стенки полости при взрыве обычного заряда заменяется многократным воздействием при взрыве заряда с воздушной полостью. Такой характер воздействия должен проявляться и на второй стадии ускорения поднимающегося купола, когда образуется воронка выброса. Исследования проводились на сферических объемах из песка плотностью  $\rho = 1,6 \text{ г/см}^3$  и влажностью 12%. Такая влажность песка позволяла сохранить форму

как самой полусферы, так и внутренних стенок полости. Параметры полости принимались в пределах  $R_n / r_{зар} = 1 \div 6$ . Полость создавалась в песке, после чего в ней размещали заряд  $C_0 = 0,4 \text{ з}$ ; полусфера переворачивалась и устанавливалась на массивную стальную плиту. Так как деформация плиты ничтожна по сравнению деформацией песка, то можно считать, что взрыв в полусферическом объеме на массивной плите эквивалентен взрыву в сферическом объеме заряда  $C_1 = 2C_0$ . Фиксирование движения свободной поверхности осуществлялось теньвым методом с помощью скоростной киносъемки.

Последовательное фиксирование положения свободной поверхности позволяет оценить скорость подъема. Типичные кинограммы процесса разлета сферического объема приведены на рис. 1.



**Рис. 1. Кинограмма разлета сферического объема песка при взрывах зарядов с воздушными полостями**

Момент инициирования заряда определяется по пробою воздушно-го промежутка между электродами. Результаты обработки кинограмм в виде зависимости скорости подъема от времени для сосредоточенного заряда и заряда с воздушной полостью показали, что качественно процесс разлета сферического объема песка для сосредоточенного заряда и заряда с воздушной полостью различен. Начальные скорости разлета больше у сосредоточенного заряда, однако скорость быстро уменьшается, в то время как у заряда с воздушной полостью скорость поддерживается примерно на одном уровне, благодаря чему с некоторого момента скорость разлета от заряда с воздушной полостью превосходит по абсолютной величине скорость при сосредоточенном взрыве.

Аналогичный характер движения грунта зафиксирован и при опытных крупномасштабных взрывах. Большой радиус купола определяет более равномерный подъем грунта и большие размеры видимой воронки в случае действия взрыва с воздушной полостью. Однако конечные размеры воронки определяются количеством грунта, выброшенного за пределы воронки. При этом существует определенный критический телесный угол  $\alpha_{кр}$ , в котором находящийся грунт возвращается обратно в

воронку. Такое явление обратного навала хорошо известно из практики и сопровождается все взрывы на выброс при использовании сосредоточенных взрывов. Характерной особенностью зарядов с воздушными полостями является почти полное отсутствие навала на дне выемки. Ввиду того, что изменение формы волны сжатия не может влиять на обратное движение грунта, можно предположить, что именно отраженные от стенок полости воздушные ударные волны вторично выбрасывают грунт за пределы воронок.

Предположив, что радиус поднимающегося купола равен радиусу воронки, а давление в полости мало, т.е. имеется инерционный баллистический разлет. Элемент среды, находящийся на радиусе с углом  $\alpha_{кр}$ , к вертикальной оси  $z$ , должен упасть на край воронки выброса. Можно показать, что выражение для определения угла  $\alpha_{кр}$  следующее:

$$\frac{v^2}{2g} \sin 2\alpha_{кр} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2Rg}{v^2 \cos^2 \alpha_{кр}}} \right] = R(1 - \sin \alpha_{кр}),$$

где  $v$  – начальная скорость движения свободной поверхности;  $R$  – радиус воронки.

Полагая, что угол  $\alpha_{кр}$  мал, и заменяя тригонометрические функции, получаем:

$$\alpha_{кр} = \frac{R}{R + \frac{v^2}{g} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2Rg}{v^2}} \right]}.$$

В реальных условиях скорость подъема – порядка  $10^2$  м/с, и произведение  $Rg$  – того же порядка, поэтому величиной  $\frac{2Rg}{v^2}$  можно пренебречь, тогда:

$$\alpha_{кр} = \frac{Rg}{2v^2}.$$

Для реальных взрывов величина  $\frac{\alpha_{кр}}{\pi}$  примерно равна 1-1,5%. Учитывая большой объем выброшенного грунта, можно утверждать, что количество возвращаемого грунта все-таки значительно.

Таким образом, исследование процесса разлета сферического объема показало, что на второй и на третьей стадиях процесса выброса условия взрывания в полости играют существенную роль. Это позволяет повысить эффективность ведения взрывных работ при вскрытии месторождений полезных ископаемых и взрывах на сброс.

# **К ВОПРОСУ СИСТЕМАТИЗАЦИИ СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ НА РАЗЛИЧНЫХ МАСШТАБНЫХ УРОВНЯХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ДЕЙСТВИЕМ ВЗРЫВА**

**Ефремовцев Н.Н.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

С целью развития методологии научного подхода к решению задач совершенствования средств и способов разрушения горных пород взрывом проводятся исследования возможностей управления работой взрыва на разных масштабных уровнях, разрабатывается система классификаций, которые представляют собой упорядоченные матрицы способов регулирования взрывчатыми характеристиками ПВВ и воздействия на массив средств разрушения горных пород [1-3]. Дальнейшее развитие методологии научного обоснования методов управления действием взрыва связано с концепцией учета синергетических воздействий [4].

С 2002гавтором проводятся исследования влияния магнитно-импульсного, акустического и СВЧ воздействий на кристаллическую структуру аммиачной селитры с применением рентгенографического метода, оптической и электронной, инфракрасной, ультразвуковой и рамановской микроскопии. Получены результаты исследования кинетики термического разложения АС и смесей на ее основе, а также испытаний влияния различных видов физических и физико-химических воздействия на взрывчатые характеристики модифицированных ПВВ на полигонах ИПХФ РАН (с использованием метода подводного взрыва), завода Эластики ООО «Взрывстрой». Анализ полученных результатов позволил провести систематизацию синергетических эффектов комбинированных воздействий на различных масштабных уровнях для повышения эффективности управления действием взрыва. Разработаны аналитические зависимости расчета повышающего и понижающего синергетического эффекта комбинированных воздействий.

Изучение результатов комбинированных физико-химических воздействий на кристаллическую структуру компонентов ПВВ и физико-механические свойства горных пород показало необходимость корректировки зависимостей для расчета критических напряжений, полученных Гриффитсом и Олованом для случая плоского деформированного состояния и с учетом пластической деформации критического напряжения:

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma \cdot E_{\text{Ynp}} \cdot K_p}{\pi \cdot L \cdot (1 - V^2)}}, \sigma_k = K_{c3} \sqrt{\frac{2 \cdot E \cdot K_p \cdot (\gamma + \gamma_p)}{\pi \cdot L}}$$

где  $E_{\text{Ynp}}$  – модуль Юнга, Па;  $L$  – критическая длина трещины;  $V$  – коэффициент Пуассона;  $K_p$  и  $K_{c3}$  и – коэффициенты, учитывающие адсорбционное понижение прочности (эффект Ребиндера) при воздействии поверхностно-активных веществ и – синергетические эффекты комбинированных воздействий физических полей на кристаллическую структуру, доли ед.;  $\gamma_p$  – работа пластической деформации, Дж/м<sup>2</sup>;  $\gamma$  – удельная энергия образования новой поверхности, Дж/м<sup>2</sup>

Предлагается систематизировать способы управления взрывом и синергетические эффекты комбинированных воздействий с учетом принципов мезомеханики на разных масштабных уровнях: нано и субмикронном, (I Класс), микроуровне («мезоуровне», II Класс) и макроуровне строения детонационной системы (ДС), как в пределах заряда и оболочки, так и ДС в пределах взрываемого блока массива среды включая горные выработки (III Класс). Классификация систематизирует типы, процессы и результаты физико-химического воздействий (ФХВ) и их комбинаций на компоненты средств разрушения горных пород и разрушаемые среды. К ФХВ относятся: механическое, электромагнитное, акустическое, СВЧ, гидравлическое (в том числе с применением ПАВ), химическое, термическое, радиационное.

Основными результатами комбинированных воздействий на различных масштабных уровнях являются расширение возможностей управления полнотой и устойчивостью детонации, кинетикой выделения энергии в зависимости от целей использования энергии детонационной системы, гранулометрическим составом разрушаемой горной массы, параметрами сейсмического действия взрыва, ударной воздушной волны, содержанием пыли и ядовитых газов. Способы управления на макроуровне [1-3] должны обеспечивать повышение коэффициента полезного действия взрыва, как результат синергетического взаимодействия тангенсальных и радиальных напряжений, особенности распространения которых в массиве, кинетика и локализация фрагментации зависят от скорости выделения энергии применяемых взрывчатых веществ [5] и физико-механических свойств анизотропного и трещиноватого массива горных пород.

### Список литературы

1. Ефремовцев Н.Н., Казаков Н.Н. К вопросу формирования классификации методов управления кинетикой выделения и передачи энергии массива

ву с целью его разрушения с необходимой степенью дробления // – 2012. – №12. Отдельные статьи (специальный выпуск). Вопросы научного обоснования совершенствования средств управления интенсивностью разрушения горных пород взрывом. – С. 27-32.

2. Ефремовцев Н.Н. Вопросы совершенствования способов и средств управления действием взрыва на основе научных классификаций. Сборник трудов 2-й международной научной школы академика К.Н. Трубецкого. Проблемы и перспективы комплексного освоения земных недр. Москва, 2016. – С 137-141.

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

4. Викторов С.Д., Закалинский В.М., Шиповский И.Е., Мингазов Р.Я. Концепция синергетического взаимодействия процессов взрывного разрушения и геомеханики при разработке месторождений полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический 1. бюллетень. – 2019. – № 3. – С. 113–124.

5. Ефремовцев Н.Н., Трофимов В.А., Шиповский И.Е. Локализация деформаций в волновом поле, наведенном взрывом удлиненного заряда. Горный информационно-аналитический бюллетень. Издательство «Горная книга». – №8. – 2020. – С.73-85.

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПРОВАЛООПАСНЫХ ЗОН ПОДРАБОТАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ДОНБАССА**

**Хохлов Б.В., Дрибан В.А.**

*РАНИМИ, г. Донецк, ДНР*

Добыча угля в Донбассе ведется более 200 лет и верхние горизонты практически отработаны уже давно. В то же время сейчас имеется большое количество частных и не легальных шахт (копанок), которые забирают оставшиеся «чердаки» и целики у бывших наклонных вскрывающих выработок и практически вся поверхность региона оказалась подработанной в разные периоды на малых глубинах (20-100 м). В Донбассе регионе имеется более 10 тыс. старых горных выработок имеющих выход на земную поверхность, только на территории города Донецка их около тысячи [1] и ликвидировались они в разные годы зачастую без закладки и извлечения крепи. Небольшая глубина и довольно крепкие вмещающие породы в сочетании с тем, что верхний массив был сдренирован от воды глубокими шахтами способствовали сохранению пустот в нем.

На современном этапе массовая остановка шахтных водоотливов вызвала кардинальное перераспределение гидродинамического режима подземных вод, обводнение массива горных пород, вплоть до самоизлива шахтных вод на земную поверхность, что явилось причиной активизации геомеханических процессов, развития процесса самоликвидации сохранившихся горных выработок и пустот в горном массиве и, соответственно, к провалам на земной поверхности.

Следует добавить, что в условиях центрального Донбасса, при разработке пластов угля с углами падения  $\alpha > 45^\circ$ , образуются ленточные провалы земной поверхности по линии выходов пластов на поверхность (или под наносы) по несколько сотен ежегодно (рисунки 1 и 2). Отметим, что обозначенная проблема стоит практически перед всеми странами, ведущими интенсивную добычу полезных ископаемых. Так, например, в США насчитывается свыше 70 тыс. заброшенных выработок мелкого заложения, которые, как и в Донбассе, определяют целый ряд экологических проблем.



**Рис. 1. Проседание над пластом  $m_2$  ш. Кондратьевка**



**Рис. 2. Проседание над пластом  $m_5$  ш. Кондратьевка г. Горловка**

РАНИМИ комплексно решает вопросы прогноза развития гидро-геологической ситуации в техногенных горизонтах и на поверхности, и в частности прогноза провалообразования, для обеспечения безопасной жизнедеятельности техногенно-нагруженных территорий Донбасса и обоснованной оценки земель. В настоящее время определены основные влияющие факторы, способствующие активизации процесса сдвижения над старыми выработками и разработана «Методика построения и обследования зон, опасных по провалам» [2].

Вопросы прогнозирования возможных опасных деформаций и провалообразования в РАНИМИ успешно решаются по каждой конкретной площадке (горному отводу, шахтному полю), для этого:

- проводится анализ планов горных работ по отработанным и действующим горизонтам и пластам, горно-геологических и горно-технических условий отработки угольных пластов на горных отводах ликвидируемых шахт;
- на горном отводе шахты определяются все выработки, имеющие выход на земную поверхность и участки близкого к поверхности расположения горных выработок;
- проводится обследование выработок, имеющих выход на земную поверхность и участков близкого к поверхности расположения горных выработок с оценкой их состояния и актуальными фотоматериалами;
- по разработанной методике построения и обследования зон, опасных по провалам устанавливаются границы провалоопасных зон, производится их описание и картирование на плане поверхности горного отвода (площадки), определяются их площади;
- разрабатываются рекомендации по составу, протяженности и периодичности мониторинга провалоопасных зон;
- для систематизации мониторинга и составления полной картины проблемных участков производится визуализация провалоопасных зон в геоинформационной системе *GoogleEarth*;

Решение указанных крупных задач позволяет обеспечить безопасную жизнедеятельность техногенно-нагруженных территорий Донбасса и дать обоснованную оценку земель.

Подчеркнем, что ключевым вопросом, имеющим важное народно-хозяйственное значение, является именно выделение провалоопасных и зон интенсивного деформирования земной поверхности при активизации сдвижения породной толщи.

### **Список литературы**

1. 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.

2. Хохлов, Б.В. Методика построения и обследования зон, опасных по провалам / Б.В. Хохлов, В. А. Дрибан, С.В. Голдин, А.М. Терлецкий, М.Д. Рожко // Труды РАНИМИ: сб. науч. тр. – Донецк, 2019. – № 6 (22). – С. 142-157.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДВЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ УСТРОЙСТВ С ПОРОДНЫМ МАССИВОМ**

**Кубрин С.С., Закоршменный И.М., Блохин Д.И.,  
Закоршменный А.И.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

В работе проводится математическое моделирование изменения напряженно – деформированного состояния системы «анкерная крепь – породный массив» при движении ходовых тележек с подвешенным к ним грузом (дизелевоз, специализированные контейнеры, вагонетки для перевозки людей и т.д.). В модельных расчетах рассматривается изменение напряженно-деформированного состояния массива горных пород в месте проведения горной выработки на различных этапах ее сооружения, оснащения и эксплуатации от нетронутого массива до эксплуатации монорельсовой дороги с учетом нагрузки от перевозимого груза. По результатам моделирования планируется получить картину изменения напряженно – деформированного состояния массива и характер его возможного разрушения от передачи значительной нагрузки на анкера. Моделирование осуществляется с использованием средств программного комплекса PLAXIS [1]. Конструкция выработки и геомеханические свойства породного массива задаются исходя из данных, полученных на шахте им. В.Д. Ялевского АО «СУЭК – Кузбасс», и описываются ниже.

Рассматривается прямоугольная горная выработка. Высота выработки – 4,0 м; ширина – 5,2 м. Выработка пройдена по угольному пласту по всей толще. Выше и ниже – алевролиты. Крепление монорельса осуществляется с помощью анкеров в кровле выработки. Анкера крепи имеют диаметр 20 мм и длину 2100 мм. Ампула – 1000 мм. Шаг вдоль выработки – 900 мм. Анкера подвеса имеют диаметр 20 мм и длину 3750 мм. Ампула – 1000 мм. Шаг вдоль выработки – 2000 мм. Анкера устанавливаются без натяжения.

Принимается модель трещиноватого массива горных пород (*JointedRock*) для алевролитов и модель Мора – Кулона (*Mohr – Coulomb*) для угля [1, 2]. В расчетах принимается следующая последовательность моделирования напряженно – деформированного состояния массива и взаимодействующих с ним конструкций:

**Этап 1.** Формируется начальное напряженное состояние нетронутого массива, вызванное силами тяжести (с дополнительным приложением нагрузок, моделирующих пригруз от вышележащих пород).

**Этап 2.** Проводится выработка (без крепления).

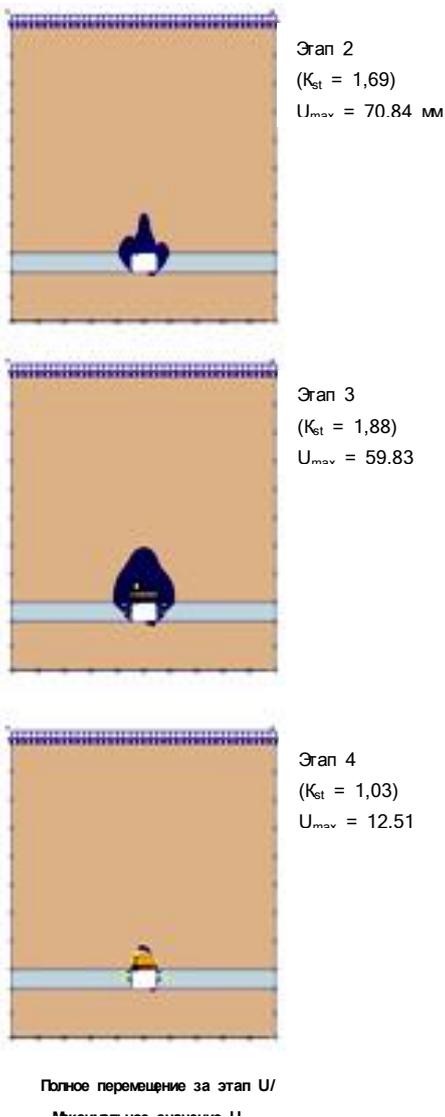
**Этап 3.** Устанавливаются анкеры крепи и монорельсовой дороги.

**Этап 4.** К анкерам монорельсовой дороги прикладывается нагрузка.

После каждого этапа изменения напряженно-деформированного состояния производится проверка общей и местной устойчивости основания с определением коэффициента устойчивости  $K_{st}$  [3]. Теоретические основы используемого подхода изложены в работе [4].

Механизмы потери устойчивости и коэффициенты запаса устойчивости определяются в ходе процедуры снижения прочностных характеристик после всех этапов (кроме начального этапа – нетронутый массив) и приводятся на рис. 1. Результаты для 1 – го этапа моделирования не приводятся, так как на этом этапе напряжения линейно нарастают с глубиной и интереса не представляют.

Общий характер изменения напряжений при установке анкеров меняется не очень значительно. В кровле и почве образуются приблизительно треугольные области снижения напряжений.



**Рис. 1. Механизмы потери устойчивости и коэффициенты запаса устойчивости  $K_{st}$**

Представляет интерес изменения механизмов разрушения массива. При отсутствии анкеров наблюдается в основном выпучивание боковых частей выработки. После их установки выпучивание перемещается в низ боковых частей выработки, где анкера отсутствуют. Передача вертикальных нагрузок от анкеров подвесных монорельсовых дорог приводит к смене механизма разрушения: он приобретает характер вывала кровли.

Устойчивость при установке анкеров повышается не очень значительно: коэффициент  $K_{st}$  возрастает с 1,69 до 1,88. Приложение максимальной нагрузки снижает запас устойчивости практически до предела:  $K_{st} = 1,03$ .

Деформирование оснований анкеров показывает нелинейность. При максимальной приложенной погонной нагрузке 500 кН/м на каждый ряд направленные вниз перемещения анкеров составляют 38,6 мм (ближе к боковой части выработки) и 44,0 мм (ближе к центру выработки). Предельную нагрузку (несущую способность) можно оценить как  $1,03 \times 500 = 515$  кН/м.

Приведенные значения значительно превосходят нагрузки на крепления монорельсового пути в реальных условиях, что свидетельствует о значительном запасе прочности указанной конструкции при ее выполнении в полном соответствии с установленными проектными и технологическими условиями.

В результате проведенных исследований можно считать установленным, что математическое моделирование взаимодействия анкерной крепи подвесной монорельсовой дороги с массивом горных пород, выполненное на основе нелинейных упругопластических моделей геоматериалов дает качественно верную картину процесса.

Представляется целесообразным в дальнейшем продолжить исследования, сопоставляя результаты математического моделирования и натурального эксперимента.

### Список литературы

1. Руководство пользователя Plaxis 2D: Пер. с англ. – СПб.: НИП-Информатика, 2004. – 424 с.
2. Labuz J. F., Zang A. Mohr – Coulomb failure criterion // Rock mechanics and rock engineering. – 2012. – Vol. 45. – №. 6. – Pp. 975 – 979.
3. СП 248.1325800.2016 «Сооружения подземные. Правила проектирования».
4. Brinkgreve, R.B.J., Bakker H.L. Non-linear finite element analysis of safety factors // Proc. 7th Int. Conf. on Comp. Methods and Advances in Geomechanics, Cairns, Australia, 1991, Pp. 1117 – 1122.

# **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

**Кочанов А.Н.<sup>1</sup>, Кургузова Е.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *ИПКОН РАН,*

<sup>2</sup> *НИУ МГСУ, г. Москва*

Разрушение материалов – проблема, решению которой посвящены многочисленные исследования, имеющие как прикладную, так и фундаментальную направленность и связанную с установлением закономерностей развития трещин на разных масштабных уровнях. При кажущейся простоте разрушения его механизм весьма сложен и охватывает область, начиная от атомного масштаба и до визуальных проявлений. В рамках современных представлений разрушение материалов является неравновесным пространственно-временным процессом накопления повреждаемости, обусловленного образованием и развитием разномасштабных по размерам (от десятков нанометров и более) пор и трещин, природа которого заключается в микроскопической неоднородности материалов и их структурных особенностях.

Для изучения элементов структуры и ее эволюции в условиях динамического воздействия, а также оценки прочностных характеристик горных пород были проведены экспериментальные исследования с применением современных методов физического эксперимента: оптической, лазерной сканирующей конфокальной и растровой электронной микроскопии, компьютерной рентгеновской микротомографии, ультразвукового контроля, прямых испытаний на прочность, нано- и микроиндентирования, контроля эмиссии субмикронных частиц с помощью лазерных счетчиков. Применение данных методов и соответствующих методик для исследования структурных и физических свойств горных пород при изучении процесса разрушения отличается научной новизной, а результаты данных исследований представлены в работах [1-7]. В настоящем докладе эти основные результаты анализируются с позиций микромеханики разрушения.

Важным элементом структуры материала являются микротрещины, которые могут изначально присутствовать в горной породе с момента ее образования, и, в зависимости от типа горной породы, имеют свой характерный размер. Существующие или возникающие на ранних этапах деформирования горных пород дефекты в виде микротрещин приводят к иницированию и определяют дальнейшее развитие процесса разру-

шения. Для изучения образования микротрещин в горных породах выполнены экспериментальные исследования, в ходе проведения которых осуществлялось динамическое воздействие на образцы. Анализ изображений образцов, полученных с помощью электронной микроскопии после динамического воздействия, позволил оценить минимальную и максимальную величину раскрытия микротрещин в диапазоне от 0,1 до 10,0 мкм [1,2]. Для оценки объемного распределения микротрещин в образце выполнены исследования с применением метода рентгеновской компьютерной микротомографии, который успешно применяется в настоящее время для получения трехмерных изображений внутренней структуры материалов с субмикронным и нанометровым разрешением. С помощью этого метода выполнены исследования структурных характеристик гранита, который предварительно подвергался динамическому воздействию с образованием системы микротрещин. Исследование структуры образцов методом рентгеновской микротомографии проводилось на томографе SkyScan 1272. В результате сканирования было установлено наличие микропор диаметром от 1,0 до 5,0 мкм и микротрещин с шириной от 5 до 10 мкм [2,3].

При проведении ультразвуковых измерений в качестве информативного параметра была принята скорость продольных волн. Ультразвуковые измерения осуществлялись непосредственно до и после взрыва на разном расстоянии от заряда. Оценка прочностных свойств образцов после взрыва осуществлялась методом раскалывания, который предусматривал определение предела прочности при одноосном растяжении в любом заданном сечении образца [4,5]. Для оценки начальной структурной поврежденности образцов до взрывного воздействия использовался ультразвуковой метод с определением скорости продольных волн. Практически все образцы горных пород, за редким исключением, характеризовались различными значениями по скорости продольных волн в локальных объемах. Учитывая этот факт, можно оценить начальную неоднородность и поврежденность образцов показателем, который вводится как квадрат отношения измеренной скорости  $C_p$  в данной области образца к максимальной скорости  $C_{pmax}$  для данного типа горной породы:  $\psi_0 = (C_p/C_{pmax})^2$ . Для кварцевого песчаника  $C_{pmax} = 5200$  м/с. Значения показателя начальной поврежденности в локальных объемах образца песчаника изменялись в диапазоне  $\psi_0 = 0,2-1,0$ .

Для оценки механических свойств (твердости, модуля Юнга) и структурной неоднородности образцов применялся метод микро- и наноиндентирования, позволяющий на разных масштабных уровнях определять значения твердости и модуля упругости, а также построить карты их распределения по поверхности образцов [6]. Степень неодно-

родности породы по твердости или упругости, как и по любому другому ее свойству, оценивалась коэффициентом вариации  $K_{\text{вар}}$ . Это важный показатель в плане информации о возможном механизме процесса разрушения горных пород как структурно-неоднородной среды. Выпленно также определение вязкости разрушения для различных пород: песчаника, мрамора, змеевика. Следует отметить, что, зная характеристики вязкости  $K_{1c}$  и предела прочности на сжатие  $\sigma_c$ , можно получить константу материала с размерностью длины:  $d = \text{const} = K_{1c}^2 / \sigma_c^2$ , отражающую структурно-временной подход к процессу разрушения, согласно которому этот процесс на конкретном масштабном уровне происходит дискретно, по элементарным ячейкам с размерами сторон, кратными  $d$ .

Развитие трещин с последующей дезинтеграцией материала, как правило, всегда сопровождается образованием отдельных частиц, количество и распределение которых по размерам зависят от микроструктуры, степени неоднородности, напряженно-деформированного состояния твердых тел, и поэтому содержит важную информацию об условиях и характере протекании этого процесса. Для изучения закономерностей образования субмикронных частиц размером менее 10 мкм в условиях динамического и квазистатического разрушения образцов горных пород разработаны экспериментальные методики, в основе которых положена идентификация частиц с помощью лазерной спектроскопии в воздушной среде [7].

### Список литературы

1. Викторов С.Д., Кочанов А.Н. Развитие микротрещин при динамическом разрушении горных пород // Изв. РАН. Сер. Физ. 2015. Т.79. №6. – С. 829–831.
2. Кочанов А.Н. Анализ структуры микро- макротрещин при динамическом разрушении горных пород // Фундам. и прикл. вопросы горных наук. 2015. № 2. – С. 317–321.
3. Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Пачежерцев А.А. Изучение микроструктурных характеристик на поверхности и в объеме гранита экспериментальными методами // Изв. РАН. Сер. Физ. 2018. Т.82. №7. – С. 878–880.
4. Александров В.Е., Кочанов А.Н., Левин Б.В. О взаимосвязи акустических и прочностных свойств пород в зоне предразрушающего действия взрыва // ФТПРПИ. 1987. №4. – С. 45–48.
5. Викторов С.Д., Кочанов А.Н. Изучение процессов свободной разгрузки образцов горных пород после взрывного нагружения // ФТПРПИ. 2004. – №2. – С. 52–57.
6. 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.

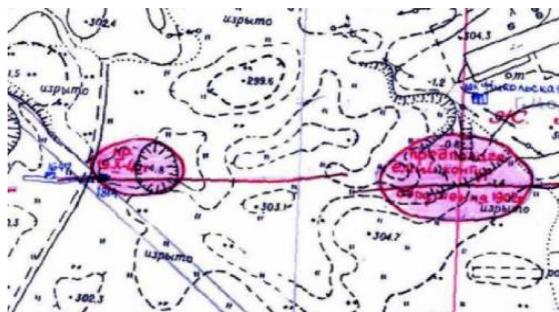
7. Александров П.А., Викторов С.Д., Калечиц В.И., Кочанов А.Н. Результаты экспериментальных исследований образования субмикронных частиц при разрушении твердых тел // Изв. РАН. Сер. Физ. – 2016. – Т.80. – №11. – С. 1496-1499.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КАРТ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОВАЛООБРАЗОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПРОВАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА**

**Кирков А.Е.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

В настоящее время, благодаря развитию вычислительной техники, широкое распространение в горнодобывающей отрасли получили различные виды геоинформационных систем. В большинстве своем – это специализированные прикладные программные комплексы, которые позволяют практически полностью управлять горным производством. Но возможности ГИС-систем по обработке информации, имеющей географическую привязку, полноценно не в полной мере используются в развитии горного производства [1, 2]. Речь идет о документировании и анализе событий, происходящих в массиве горных пород и на земной поверхности при техногенном воздействии на недра земли и земную поверхность. Развитие указанного направления и решение задачи определения опасных зон провалообразования на застроенной территории по результатам многолетних наблюдений развитием деформационных процессов в районе освоения крупного золоторудного Кочкарского месторождения подземным способом. Вся информация маркшейдерской службой горнодобывающего предприятия по процессам провалообразования накапливалась на планшетах путем съемок и последующего картирования вышедших на земную поверхность провалов. Пример документации по провалам представлен на рис. 1.



**Рис.1. Пример документирования провалов, вышедших на земную поверхность**

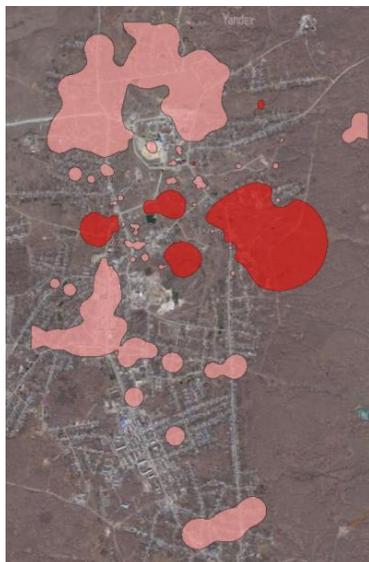
Территория золотодобычи в районе разрабатываемого месторождения отображается на отдельных планшетах, не систематизированных в единую базу. поэтому первая задача собрать все участки и сшить их в единую карту. Эта задача решена с применением стандартных средств ГИС. После сшивки планшетов и их привязки и трансформированию была выполнена векторизация всех провалов на изучаемой территории. Средствами ГИС для каждого провала была определена их площадь и рассчитано соотношение нарушенных площадей к общей площади горного отвода. Данные о распределении площадей провалов позволяют выполнить оценку глубины, на которой тот или иной провал образовался (рис. 2). С учетом полученных результатов была высказана идея о том, что соотношение площадей провалов и ненарушенных областей горного отвода позволяют оценить интенсивность процесса провалообразования на исследуемой территории.

№	Площадь провала	Площадь отвода	Соотношение
1	100	1000	0.1
2	200	2000	0.1
3	300	3000	0.1
4	400	4000	0.1
5	500	5000	0.1
6	600	6000	0.1
7	700	7000	0.1
8	800	8000	0.1
9	900	9000	0.1
10	1000	10000	0.1
11	1100	11000	0.1
12	1200	12000	0.1
13	1300	13000	0.1
14	1400	14000	0.1
15	1500	15000	0.1
16	1600	16000	0.1
17	1700	17000	0.1
18	1800	18000	0.1
19	1900	19000	0.1
20	2000	20000	0.1

**Рис. 2. Результат оценки глубины, с которой начался процесс провалообразования**

Для проверки этой гипотезы вся исследуемая подработанная в разные периоды времени территория разбивалась на квадраты, площадь которых в 2 раза превышает минимальную площадь провала. На следующем этапе было выполнено пересечение всех провалов с сетью квадратов и для каждого квадрата рассчитывался процент площади, занятого провалом, если в него попадает квадрат. Далее все данные о процентном соотношении нарушенной поверхности относятся к центру квадрата и выполняется фильтрация точек, имеющих не нулевое значение нарушенности. На заключительном этапе выполнялось интерполирование значений степени нарушенности и выделены области с различной интенсивностью провалообразования (рис. 3). Анализ полученных результатов показал:

- глубины, с которых выходят провалы, не превышают 70 метров. С точки зрения геологического строения исследуемой площади – все провалы расположены в зоне интенсивно выветрелых горных пород.
- на глубинах до 70 метров горные работы велись на первоначальных этапах освоения Кочкарского месторождения. Данные о провалообразовании в этом случае можно использовать для поиска старых, не погашенных горных выработок.



**Рис 3. Районирование по интенсивности провалообразования**

– по результатам картирования и оценки интенсивности провалообразования на изучаемой площади выделено два типа областей: 1 – области с большим количеством небольших провалов, вышедших с глубин до 20 метров (светлые области), 2 – области с выходом больших по площади провалов, либо с повторным образованием ранее погашенных провалов (темные области).

Таким образом с применением штатного инструментария геоинформационных систем общего назначения была решена важная и актуальная задача изучения нарушенных горными работами территории для обеспечения безопасности эксплуатации жилых зданий и сооружений. Выделены геологические условия, способствующие возникновению провалов, определены технологические факторы, провоцирующие процесс провалообразования.

Апробирована усовершенствованная методика оценки интенсивности провалообразования на основе расчета величины интенсивности провалообразования, базирующейся на соотношении нарушенных и не нарушенных площадей исследуемой территории. Выявлены наиболее опасные области исследуемой площади, получены исходные данные для разработки мероприятий по поиску непогашенных пустот и разработке системы комплексного мониторинга за процессом развития провалообразования.

### **Список литературы**

1. Борзаковский Б. А., Гринберг А. Я., Толмачев Б. Н. Опыт ликвидации провала на земной поверхности над затопленным калийным рудником. – М: Горный журнал №2 2012 г. – с. 65-68
2. Казанин О. И., Мустафин М. Г., Мешков А. А. Анализ причин провалов земной поверхности при отработке угольного пласта Байкаимский на шахте «Красноярская» ОАО «СУЭК-Кузбасс». Горный информационно-аналитический бюллетень – М: МГГУ, №4, 2013. – с. 257-261.

## УЧЁТ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

Касымканова Х.М.<sup>1</sup>, Джангулова Г.К.<sup>1</sup>, Женибек Е.<sup>1</sup>,  
Милетенко Н.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> КазНУ им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup> ИПКОН РАН, г. Москва

Предлагаемые к настоящему времени методы расчёт карьерных откосов в большинстве случаев не учитывают в явной форме временной фактор. Это обстоятельство является существенным их недостатком, так как горный массив ведет себя как упругопластическое тело, деформации которого развиваются во времени. Продолжительность обнажения поверхности на различных отметках карьерного откоса по мере углубления горных работ будет неодинаковой. На участках, соответствующих верхней части карьера время существования породных обнажений равно сроку полной отработки открытой разработки, в нижней – сроку отработки последнего горизонта карьера. Из изложенного возникает вполне обоснованный вопрос о возможности учёта различных проявлений реологических свойств пород в зависимости от фактора времени. Несомненно, что из-за того, что различные части борта служат разное время с глубиной будет изменяться и коэффициент запаса устойчивости.

Известно, что механическая прочность горных пород зависит от скорости их нагружения. Чем выше последняя, тем больше прочность пород, поэтому известная формула для определения коэффициента запаса устойчивости преобразится как

$$\eta(t) = \frac{tg \varphi \sum_1^n N_i \cdot + C(t)L}{\sum_1^n T_i}, \quad (1)$$

где  $N_i$  – нормальная сила на  $i$ -той площадке,  $T_i$  – касательная сила на  $i$ -той площадке;  $n$  – число рассматриваемых площадок по длине поверхности скольжения  $L$ .

Из выражения (1) следует, что чем меньше стоит борт во времени, тем больше сцепление пород и коэффициент запаса устойчивости, т.е. вначале и к концу отработки карьера устойчивость борта будет различной.

Использование равенства (1) при определении устойчивости при-бортовых массивов затрудняется сложностью и трудностью нахождения численного значения сцепления в зависимости от времени образования породного обнажения. Кроме того, в вышеприведенных формулах угол

внутреннего трения предполагается неизменным, т.е. предельное состояние пород описывается прямой линией, тогда как на самом деле огибающая кругов Мора имеет криволинейный характер.

В работе [1] предложено при подготовке исходных характеристик породного массива, слагающего борт, использовать математическое ожидание получаемое из кривых распределения исходных величин. При этом рациональный уровень риска устанавливается исходя из взаимодействия оценки экономических и психологических последствий риска. Для оценки влияния времени на устойчивость карьерных откосов в работе [2] предложено использовать законы термодинамики и рассматривать борт как термодинамическую изолированную систему, в которой по мере стояния происходит приращение удельной энтропии борта. При критическом уровне энтропии борт в карьере может обрушиться.

Существенным недостатком при определении устойчивости карьерных откосов является то, что подставляемые в расчёты прочностные свойства горных пород, найденные в лаборатории в определенных временных условиях, в большинстве случаев не соответствуют времени протекания геомеханических процессов в прибортовом массиве, т.е. не выполняются условия подобия по фактору времени.

Ранее было получено [4]

$$\tau_i = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\alpha = C + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi = \frac{k \cdot T (\ln \dot{\epsilon} - \ln \dot{\epsilon}_0 + U_0 / k \cdot T) \cdot \sin 2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)}{\gamma}, \quad (2)$$

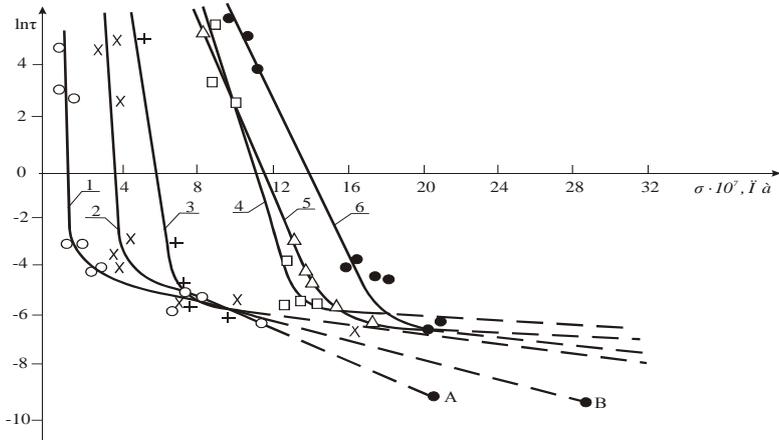
где  $\dot{\epsilon}_0$  – максимальная относительная скорость деформирования при  $U_{\text{эф}} = 0$ ;  $U_0$  – начальная энергия активации разрушения;  $\gamma$  – коэффициент структуры твердого тела;  $k$  – константа Больцмана;  $T$  – абсолютная температура испытываемого материала,  $\dot{\epsilon}_0$  - относительная скорость деформирования пород.

Анализируя формулы (1) и (2), можно сделать вывод том, что функция прочности зависит от временного и температурного факторов, а именно от скорости протекания деформационных процессов в прибортовом массиве, так как численное значение сцепления породы  $C$  зависит от относительной скорости деформирования и температуры пород.

Прочность на одноосное сжатие с учетом временного фактора равна [8].

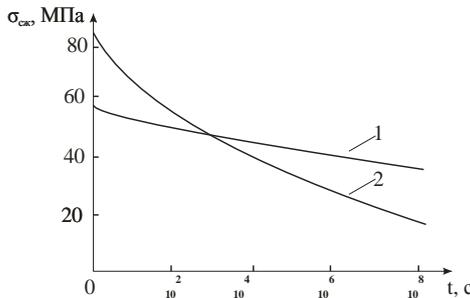
$$\sigma_{\text{сж}}(t) = \frac{k \cdot T (\ln t_0 - \ln t + U_0 / k \cdot T)}{\gamma}. \quad (3)$$

Численные значения параметров, входящих в (49) были определены по рекомендациям, приведенным в [8].



**Рис. 1.** Изменение долговечности от величины внешней нагрузки для известняка-ракушечника – 1, каменного угля – 2, алевролита – 3, доломита – 4, известняка силурийского – 5, песчаника – 6

Из рисунка 1 видно при возрастании  $\ln t$  возможно пересечение графиков  $\ln t(\sigma_{сж})$  с различной прочностью при стандартных испытаниях. Расчеты  $\sigma_{сж}$  по формуле (3) действительно показывают, что при достижении некоторого временного интервала прочность  $\sigma_{сж}(t)$  для породы с прочностью при стандартных испытаниях  $\sigma_{сж} = 100,0$  МПа становится меньше, чем для породы с  $\sigma_{сж} = 44,8$  МПа рисунок 2.



**Рис. 2.** Зависимость  $\sigma_{сж}(t)$  для пород 1 –  $\sigma_{сж} = 44,8$  и 2 –  $\sigma_{сж} = 100$  МПа

Физику данного явления можно объяснить следующим образом. В слабых породах под действием нагрузки первоначально происходят уплотнительные процессы (захлопывание микротрещин, пор и др.). Причем, чем продолжительнее действует нагрузка, тем прочнее становится испытываемый материал. В прочных породах преобладают разуплотняющиеся процессы (образование микротрещин, их объединение в более крупные трещины).

При наличии в контактном слое заполнителя по прочности более слабого, чем породы массива, образование плоскостей ослабления в первую очередь будут происходить по менее прочным элементам, поэтому в расчетах по определению устойчивых параметров откосов и бортов карьеров необходимо принимать механические свойства этих заполнителей. Это заключение фактически использовалось в расчетах устойчивости бортов карьеров с учетом фактора воды, а также в других случаях активного участия заполнителя природных нарушений в техногенных геомеханических процессах, что приводило к адекватным объяснениям последствий этих процессов [9-10].

Таким образом, учет напряженного состояния пород в прибортовом массиве совместно с временным фактором дает более объективную информацию о формировании возможной призмы обрушения в различные периоды эксплуатации карьера на стадии проектирования. Такой подход позволяет еще на стадии проектирования смоделировать геомеханические процессы и возможные негативные их проявления в виде оползней и определить параметры устойчивости карьерных откосов с учетом срока его службы.

### Список литературы

1. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства. – М. Стройиздат, 1977.
2. Падуков Б.А. Методы прогноза устойчивости бортов карьеров // В кн.: Физические процессы горного производства, вып.7.Л. – ЛГИ, 1979. – С. 49-53.
3. Окатов Р.П., Низаметдинов Ф.К., Цай Б.Н., Бондаренко Т.Т. Учет временного и температурного факторов при построении критериев прочности горных пород // ФТПРПИ., 2003, № 2. – С. 38-42.
4. Цай Б.Н., Бондаренко Т.Т., Малахов А.А., Аманбаев Б.Ж. Учет реологических свойств горных пород при оценке устойчивости горных выработок // Труды международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана» (23-24 декабря 2005 г.). – Караганда, 2005. – С.121-123.
5. Цай Б., Бондаренко Т.Т. Устойчивость бортов карьеров с учетом временного и масштабного факторов // Статья депонирована в КазгосИНТИ, 28.10.2003, № 8942. – КаОЗ. – 20 с.

6. Нурпеисова М.Б, Касымканова Х.М., Кыргызбаева Г.М. и др. Методические рекомендации по оценке устойчивости бортов карьера Акжал. – Алматы: КазНТУ, 2002. – 27 с.

7. Кучерявый Ф.И., Михалок А.В., Демченко Л.А. Энергия активации и энергоемкость разрушения горных пород //Изв. вузов. Горный журнал. – 1980. – № 5. – С. 57-63

8. Цай Б.Н.Обоснование геометрических параметров устойчивости породных обнажений с учетом временного фактора на горнодобывающих предприятиях: дис. ....докт. тех. наук. – Караганда, 2005.- 256 с.

9. Одинцев В.Н., Никифоров К.И. Определение устойчивости откоса уступа на основе моделирования В сб.: Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. К 35-летию ИПКОН РАН: 9 Международная молодежная научная школа. Редакционный совет: К.Н. Трубецкой, В.Н. Захаров и др.– М.:ИПКОН РАН, 2012. С. 135-137.

10. Никифоров К.И., Одинцев В.Н. Моделирование влияния атмосферных осадков на устойчивость трещиноватого уступа // Маркшейдерский вестник. – 2012. – № 6 (92). – С. 47-49.

11. Miletenko N.A., Odintsev V.N., Fedorov E.V. Snowmelt Water Break-through into Coal Mine in Sub-Arctic Region. В сборнике: Mine Water: Technological and Ecological Challenges. Proceedings of International Mine Water Association Conference. – Perm:International Mine Water Association, 2019, Pp. 591-596.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ ПУТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ И ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОСНОВНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ**

**Соболев А.А.**

*ИГД ДВО РАН, г. Хабаровск*

Минимизация человеческого участия в процессах горных работ, является основным мировым трендом модернизации горного производства, а автоматизация и роботизация горных предприятий, быстро развивающимся и перспективным направлением [1].

В нашей стране, работы по разработке и созданию технологий для автоматизации горного производства достаточно активно ведутся [2-4], однако уровень их коммерциализации и внедрения в производство остается относительно невысоким. В этой связи, остается все еще не решенным ряд производственных задач, таких как: сохранение здоровья сотрудников и повышение безопасности на горных работах; увеличение продуктивности и эффективности производства; снижение производственных затрат; экономически эффективная отработка геологически

сложных, в том числе глубокозалегающих месторождений; отработка месторождений, удаленных от инфраструктурных объектов и на труднодоступных территориях; подбор, обучение и доставка на объект высоко квалифицированного персонала. Создание и внедрение новых технологий, базирующихся на максимальной компьютеризации и минимизации использования человека на производственных процессах, в рабочем пространстве карьера, заменяя его искусственным интеллектом, является одним из перспективных направлений, способных решать данные задачи.

Обзор мировых практик [5-10] показал, что работы в этом направлении весьма успешно ведутся, начиная с 2008 года. Так за 10 лет с момента внедрения системы автономно работающих самосвалов компанией Komatsu поставлено свыше 100 единиц техники в Австралию, Южную и Северную Америки (таблица), а объем перевозок еще на конец 2017 года превысил 1,5 млрд тонн руды и пустых пород [6].

**Таблица**

**Мировой опыт промышленного внедрения систем автономных карьерных самосвалов**

Страна	Название компании	Название месторождения	Полезное ископаемое	Используемая техника и ее грузоподъемность	Год внедрения
Чили	CODELCO's Gabriela Mistral	Gaby	Медь	Komatsu 930E, 320 тонн	2010
Мексика	BHP-Billiton	Navajo coal	Уголь	Caterpillar 793F, 250 тонн	2012
Австралия	Stanwell	Meandu mine	Уголь	Hitachi EH5000, 347 тонн	2014
	Fortescue Metals Group	Solomon mine	Железная руда	Caterpillar 789D, 180 тонн (56 единиц)	2013
	Thiess	Christmas Creek	Железная руда	Komatsu 930E and Caterpillar 789D (65 единиц )	2019
	Rio Tinto	West Angelas, Yandicoogina, Hope Downs 4, Nammuldi	Железная руда	Komatsu 930E и Caterpillar 789D, 180-320 тонн (80 единиц)	2008
США	Barrick Gold Corp	Arturo mine	Золото	Komatsu 930-E, 320 тонн (5 единиц)	2018-2019
Канада	Suncor Energy Inc.	Suncor sand oil mine	Сланцевая нефть	Komatsu 980E-4AT, 400 тонн (9 единиц)	2019

Несмотря на то, что освоение данной технологии на предприятиях большинства крупных горнодобывающих компаний мира осуществляется последние 10 лет, значительное (в несколько раз) увеличение числа внедрений произошло именно за последние 2 года с серьезными планами на продолжение и расширение данного направления модернизации в ближайшем будущем.

Например, компания Fortescue Metals Group на железорудном карьере Salomon в Западной Австралии, приступившая непосредственно к использованию самоуправляемого автотранспорта еще в 2013 г за последние 2 года значительно интенсифицировала данное направление и внедрила свыше 50 карьерных самосвалов Caterpillar 789D грузоподъемностью 180 тонн.

В прошлом году компания Suncor по добыче сланцевой нефти в Канаде совместно с компанией SMS equipment приступили к тестированию самых крупных в мире по грузоподъемности, 400 тонных беспилотных карьерных самосвалов – Komatsu 980E-4AT [6]. В настоящее время успешно функционируют 9 самосвалов, с планами по расширению данного направления до 150 единиц техники в течении 6 лет. Результатом расширения проекта беспилотных самосвалов ожидается сокращение 500 рабочих мест и набор 100 новых сотрудников с одновременным значительным увеличением производительности транспортировки.

Широкое внедрение технологии свидетельствует о том, что она не только готова к промышленному внедрению, но и доказала свою эффективность и надежность.

Система транспортировки горной массы с использованием автономных самосвалов, подтвердила способность обеспечить бесперебойную работу карьеров 24 часа 7 дней в неделю. За счет снижения числа рабочих, находящихся непосредственно в зонах повышенной опасности повысилась безопасность производства, полностью устранены инциденты, связанные с усталостью водителей, травмами, ушибами, растяжениями, негативным воздействием шума и пыли. В результате эксплуатации на предприятиях было отмечено повышение коэффициента технического использования самосвала с 80 до 90% на первых годах службы автомобиля, отмечается снижение: расхода топлива на 5%, износа шин на 7%, эксплуатационных расходов до 30% [11]. Все это ведёт к увеличению производительности труда.

Академик Трубецкой в описании работы «Интеллектуального карьера» [12] прогнозирует возможность пересмотра параметров системы разработки и СНИПов, в частности, увеличение максимально-

го угла откоса бортов карьера; снижение ширины автомобильных дорог и увеличение углов их наклона. Данные изменения будут способствовать росту темпов углубления и глубин карьеров, а, как следствие, более интенсивной и полной отработке запасов месторождений.

### Список литературы

1. Uhlemann E. Active safety vehicles evolving toward automated driving [Connected Vehicles]. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 10, no. 4, pp. 20-23, Dec. 2015.
2. Секисов Г.В. Рациональный способ разработки маломощных крутопадающих рудных месторождений. /Секисов Г.В., Соболев А.А.// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. №11 С. 38-45.
3. Пат. 2375576 Российская федерация, МПК Е 21 С 41/26, В 03 В 7/00. Способ освоения месторождений твердых полезных ископаемых [Текст] / Секисов Г. В., Соболев А. А., Якимов А. А.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН. – 2008117958/03 ; заявл. 04.05.2008 ; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 34. – 7 с.: ил.
4. Bellamy D. Assessing the impact of driverless haul trucks in Australian surface mining / Bellamy D., Pravica L. // *Resources Policy*. – 2011. – Т. 36. – №. 2. – С. 149-158.
5. Carter, Russell A. Location, location, location. *Engineering and Mining Journal*; Jacksonville Том 209, Изд. 1, (Jan/Feb 2008): P. 44-47.
6. Dan Healing. Suncor is building a fleet of 150 driverless trucks that will cut 400 jobs over the next six years *The Canadian Press*. January 30, 2018
7. Fagnant, D. J., & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 167-181.
8. Annual report 2017. /RioTinto// Brisbane City QLD 4000. 2018. 258P.
9. Parreira J. An interactive simulation model to compare an autonomous haulage truck system with a manually-operated system : дис. – University of British Columbia, 2013.
10. Komatsu View Magazine. 2010 №3 Special Edition. Published by Komatsu Ltd. Construction & Mining Equipment Marketing Division 2-3-6, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-8414, Japan.
11. Grad, Paul S. Running with robotics. *Engineering and Mining Journal*; Jacksonville 211, Issue. 1, (Jan/Feb 2010): 34-36.
12. Трубецкой, К. Н., et al. «Научно-технические вопросы изменения организации управления открытыми горными работами с применением роботизированной карьерной техникой» *Горная Промышленность* 5 (135) (2017) С. 27-30.

# **НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

**Осокин А.А.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

В современных условиях ведения горных работ при добыче полезных ископаемых с увеличением глубин отработки месторождений все большую роль играет необходимость постановки горных выработок в предельное положение с одновременным снижением вероятности возникновения аварийных ситуаций, таких как оползней, сходов бортов карьера, горных ударов и пр. Вместе с тем, на устойчивость горных выработок серьезное негативное влияние также оказывает сейсмическое воздействие при проведении массовых взрывов [1, 2], вызывающее формирование и развитие нарушений в массиве, и в этой связи безопасность ведения горных работ приобретает особую актуальность.

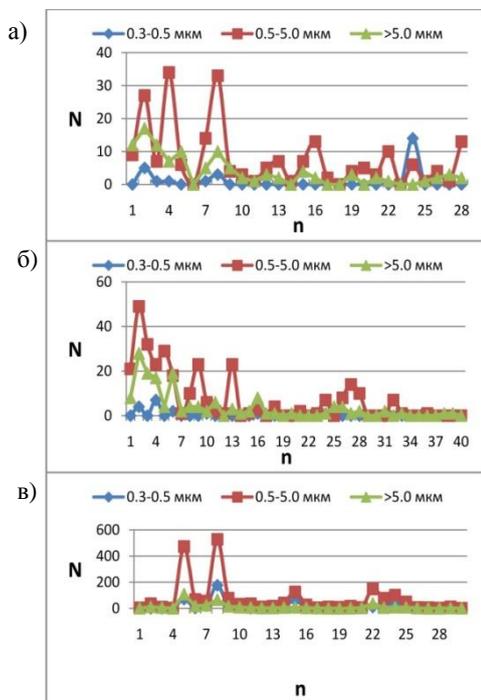
На практике, в частности для снижения негативного воздействия сейсмических волн при массовых взрывах на карьерах широко используют технологию предварительного щелеобразования, цель которой заключается в формировании искусственной плоскости разлома, исполняющей роль фильтра вибраций, создаваемых взрывом. Также уменьшают количество взрывчатого вещества, взрываемого одновременно при массовых взрывах, используя схемы инициирования с короткозамедленным взрыванием. При взрывании образуются различные типы волн – продольные, поперечные и вертикальные, распространяющиеся с определенными скоростями, значения которых характерны для каждой среды и типа пород. При контроле сейсмического воздействия основными параметрами являются амплитуды пиковых значений смещения, скорости колебаний гранта и ускорения смещения. Кроме этого необходимо знать продолжительность сейсмического воздействия и частоту колебаний. Для таких замеров широко используют геофоны, позволяющие определять вышеупомянутые параметры. Учитывая, что сейсмическое воздействие массовых взрывов также оказывает влияние и на строительные сооружения, то необходимо понимать какую степень воздействия эти сооружения могут получить: небольшие косметические нарушения либо структурные нарушения, которые могут повредить элементы конструкций зданий или сооружений.

Анализ исследований особенностей дезинтеграции горных пород и строительных материалов на ранней стадии деформирования позволил сделать вывод о возможности использования метода регистрации эмиссии субмикронных частиц (ЭСЧ) не только для контроля разрушения

геоматериалов при статическом и квазистатическом типах нагружения [3], а также для оценки сейсмического воздействия. Данный подход, в отличие от известных методов регистрации сейсмического воздействия позволяет, во-первых, регистрировать непосредственно сам процесс разрушения геоматериалов и, во-вторых, обладая высокой чувствительностью – регистрировать дезинтеграцию материала даже при малых значениях внешних воздействий за счет возможности оценивать этот процесс на субмикронном уровне.

Суть исследований заключалась в имитации сейсмического воздействия на образцы с одновременной регистрацией ЭСЧ в диапазоне 0,3-5,0 мкм [4]. В качестве источника динамического воздействия был использован стальной шар, при этом значение потенциальной энергии

можно было задавать за счет изменения высоты сбрасывания шара. В данных исследованиях, под руководством профессора, доктора технических наук Викторова С.Д., были испытаны образцы различных типов горных пород, а также образцы из цементного раствора, изготовленные в лаборатории отдела Проблем геомеханики и разрушения горных пород ИПКОН РАН. На рисунке 1 представлены результаты исследований для трех диапазонов при различных значениях потенциальной энергии при испытаниях образцов доломитов, где N – количество зарегистрированных частиц, n – количество циклов сбрасывания шара. Из представленных графиков видно, что в самом начале (а) даже при малых значениях энергии были зарегистрированы час-



**Рис. 1. Зависимости эмиссии субмикронных частиц при испытаниях образца доломита для значений энергий 0.11 (а), 0.22 (б) и 0.44 (в) Дж**

тицы во всех трех диапазонах с максимальным значением в диапазоне 0.5-5.0 мкм. Далее с увеличением циклов нагружения эмиссия частиц затухает. При увеличении энергии до 0.22 Дж (б) наблюдается аналогичный рост эмиссии частиц с дальнейшим ее затуханием после 13-го цикла нагружения. Однако при увеличении энергии еще в 2 раза (в) наблюдается иной характер процесса разрушения, который активировался лишь на 4-ом цикле. Такое поведение связано с накоплением дефектов в образце, и как следствие, дальнейшая релаксация напряжений на контуре цилиндрической полости в образце сопровождается отколом частиц различных размеров.

Вышеописанные явления наблюдаются в подземных горных выработках при проявлении горного давления в виде динамических явлений, в частности, вызванных ведением буровзрывных работ. Что касается разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом, где для обеспечения безопасности ведения горных работ предусматривается мониторинг деформаций и трещинообразования пород вблизи бортов карьеров, данный метод также может найти свое применение, что повлечет за собой разработку новых программ, методик и подходов для проведения лабораторных и натуральных исследований.

### **Список литературы**

1. Аленичев И.А., Рахманов Р.А., Шубин И.Л. Оценка действия взрыва скважинного заряда в ближнем поле с целью оптимизации параметров буровзрывных работ в приконтурной зоне карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 4. – С. 85–95. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-4-0-85-95.
2. Викторов С.Д., Закалинский В.М., Осокин А.А. К концепции влияния аспектов буровзрывных работ на геомеханические процессы при разработке месторождений полезных ископаемых. Взрывное дело. 2018. № 121-78. С. 5-20.
3. Осокин А.А. Эмиссия тонкодисперсных частиц при динамическом нагружении горных пород. Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых, 2012. С. 97-99.
4. Osokin A.A. Emission of Submicron Particles for Rock Burst Prediction. Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses, Volume 1: Proceedings of the 2018 European Rock Mechanics Symposium, St. Petersburg, 2018. P. 1483-1488.

## **ЭКСПРЕСС МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД**

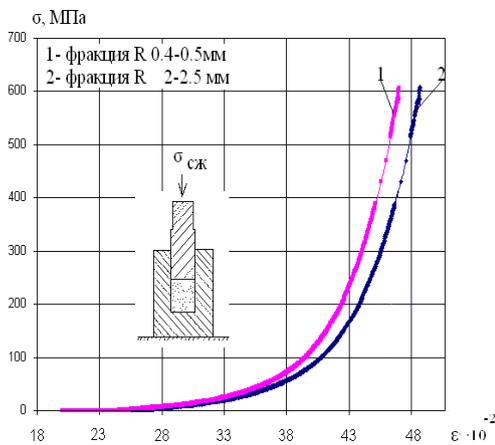
**Нескреба Д.А. Стариков Г.П.**

*ГУ «ИФГП», г. Донецк, ДНР*

Одним из параметров, широко используемых при сравнении различных горных пород и строительных материалов, является прочность или временное сопротивление разрушению, характеризующую макси-

мальную несущую способность образцов при одноосном нагружении. В настоящее время наибольшее распространение получил метод одноосного сжатия образцов кубической формы [1]. Основным недостатком этого метода является трудности изготовления образцов заданной формы из горных пород с высокой степенью нарушенности, в том числе из углей средней стадии метаморфизма [2]. Применение методов определения прочности горных пород основанных на разработках кинетических теорий Гриффитса, Е. Орованна, В.Р. Регеля, С.Н. Жукова, и др., практически не реализуемо. Поскольку целый ряд параметров, входящих в структуру расчетных формул, в частности линейный размер трещин, эффективная поверхностная энергия, энергия активации процесса разрушения [3] – требуют самостоятельных определений на образцах правильной формы, что исключает их использование в качестве экспресс метода.

В связи с этим сотрудниками ГУ ИФГП разработан принципиально новый метод определения прочности горных пород высокой степени нарушенности.

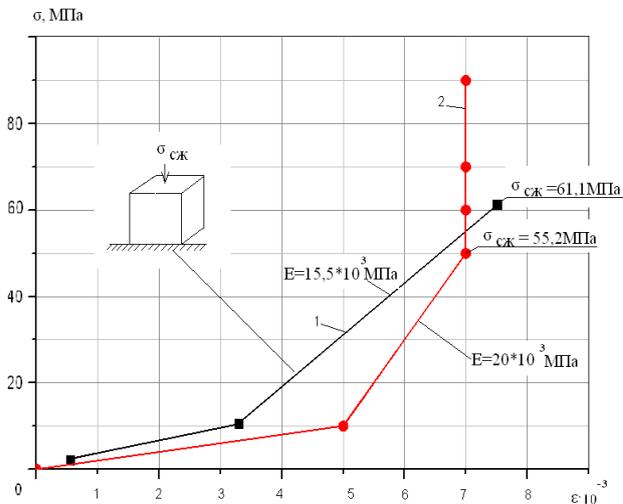


**Рис. 1. Деформирование фракций**

- 1 – характеризует консолидацию насыпной массы засыпанной в замкнутую камеру до плотности ( $\rho$ ) исходной породы  $\sigma_k = f(\epsilon_k)$ ;
- 2 – характеризует начало и окончание процессов разрушения  $\sigma_{сж} = f(\epsilon_{сж})$ ;
- 3 – характеризует упругую деформацию разрушенного материала  $\sigma_2 = f(\epsilon_\infty)$ .

Методической основой способа является деформирование двух различных гранулометрических составов в замкнутой камере высокого давления, напряжением обеспечивающим стабилизацию плотности породы и построение зависимостей  $\sigma_i = f(\epsilon_i)$  (рис.1).

На следующем этапе (рис.1) производится расчет разностей  $\Delta\sigma_i = f(\Delta\epsilon_i)$  и построение новой конфигурации графика (рис.2) включающего три составляющих:



**Рис. 2. 1 – разрушение кубического образца 55x55x55 мм  
2 – разрушение фракций песчано-глинистого сланца**

### Вывод

Анализ установленных закономерностей, приведенный на (рис.2), позволяет рекомендовать к использованию описанную методологию по экспресс методу определения прочностных свойств горных пород любой степени нарушенности.

### Список литературы

1. Пат. №2 521 116 Российская Федерация МПК E21C 39/00 (2006.01) G01N 3/08 (2006.01). Способ определения механических свойств образцов горных пород и материалов / Коршунов В.А.; Петров Д.Н.; Шоков А.Н.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» № 2013103859/28; заявл. 29.01.2013; Опубл. 27.06.2014 Бюл. № 18.
2. Грубенман У., Ниггли П., Метаморфизм горных пород, – М.: Георастведиздат, 1933 г., 376 с.
3. Алексеев А.Д., Стариков Г.П., Чистоклетов В.Н., Прогнозирование неустойчивости системы уголь-газ. – Донецк: Издательство «Ноулидж», 2010г., 343с.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТОВОЛОКОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

**Федоров Е.В., Вартанов А.З., Милетенко Н.А.,  
Никифорова И.Л.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

Эффективное и безопасное ведение горных работ на горнодобывающих предприятиях и объектах подземного пространства возможно только при условии детального предварительного анализа вариантов развития геомеханических процессов, вызванных техногенным воздействием на массив горных пород, а также взаимодействием нескольких объектов. Именно этим объясняется необходимость разработки надежного геомеханического обеспечения (ГМО) взаимодействия подземного сооружения либо подземной части строительного объекта с вмещающим массивом.

Для эффективных геотехнологий требуется постоянное обеспечение технических служб горнодобывающих предприятий информацией о состоянии и параметрах объекта разработки, используемых машинах и механизмах, о процессах их взаимодействия с окружающей средой и реакциях среды на это воздействие.

Сегодня система информационного обеспечения становится неотъемлемым атрибутом рационального использования недр, поскольку лежит в основе прогноза условий ведения горных работ, оперативного планирования и управления горными работами. Существенным разделом этой системы является геомеханический мониторинг.

В настоящее время на рынке измерительных систем и датчиков в сфере мониторинга и безопасности доминирующее положение занимают электронные измерительные технологии, которые предполагают преобразование измеряемого параметра в электрический сигнал и последующую его обработку. Несмотря на их повсеместное использование, электронные датчики имеют ряд недостатков, таких как: потери при передаче сигнала, восприимчивость к электромагнитным помехам, необходимость организации искробезопасной электрической цепи (если существует опасность взрыва) др. Такие ограничения делают их сложными и недостаточно эффективными для применения в системах многофункционального геомеханического мониторинга.

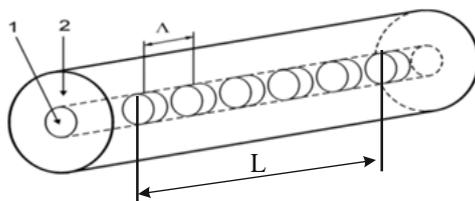
Альтернативой указанным измерительным средствам является использование оптоволоконных измерительных систем (ОВИС), где измеряемый параметр преобразуется в оптический сигнал, передающийся по оптоволокну.

За последние двадцать лет огромное количество инноваций в оптоэлектронике и в области волоконно-оптических телекоммуникаций привело к значительному снижению цен на оптические компоненты и к значительному улучшению их качества. Это позволило волоконно-оптическим датчикам перейти из разряда экспериментальных лабораторных приборов в разряд широко применяемых приборов в различных областях. Распространение началось с высокотехнологичных отраслей – авиации, космоса, судостроения, мониторинга ответственных и уникальных строительных конструкций и сооружений.

Сегодня (ОВИС) являются интенсивно развивающейся отраслью фотоники и позволяют комплексно решать вопросы контроля и мониторинга в том числе процессов горного производства, включая как исследование и контроль состояния массивов горных пород, так и состояние рудничной атмосферы, конструкций крепи, а так же ответственных элементов технологического оборудования. К настоящему времени известно достаточно большое количество контрольно – измерительных систем, основанных на применении ОВИС. Наибольший интерес для решения задач геомеханического мониторинга представляют использование ОВИС для контроля и мониторинга напряженно-деформированного состояния горного массива, контроля напряжений и деформаций элементов конструкций крепи и горной техники, распределения температуры, давления, расхода жидкости или газа, газового анализа рудничной атмосферы и др. [1,2].

Основа оптоволоконной измерительной системы – волоконная Брэгговская решетка (ВБР, FBG – fiber Brag grating) представляет собой оптический элемент (нано структуру), принцип работы которого предусматривает создание решетки, обеспечивающей периодическое изменение показателя преломления сердцевины оптического волокна, отражающего свет определенной длины волны. Эти решетки называют Брэгговскими решетками по имени английских физиков, отца и сына Генри и Лоуренса Брэггов, работавших в Лондоне в начале XX века. Именно они, исследуя кристаллы под рентгеновскими лучами, установили, что периодические структуры (в их случае – кристаллы) могут быть отличными зеркалами для волн определенной длины светового потока [3,4,6].

Волоконная Брэгговская решетка представляет собой участок волоконного световода, как правило, одномодового, в сердцевине которого создана (наведена) периодическая структура показателя преломления (ПП) с периодом  $\Lambda$ , имеющая определенное пространственное распределение по закону Брэгга [5]. На рисунке 1 приведена структура чувствительного элемента датчика на дифракционной решетке Брэгга.



1. – сердцевина оптического волокна из кварца  $\text{SiO}_2$ , легированного соединением редкоземельного металла, например,  $\text{GeO}_2$ . Размер ( диаметр) –  $5\div 7$  мкм;  
 2. – кварцевое волокно  $\text{SiO}_2$  размером (диаметром) – 125 мкм;  
 $\Lambda$  – период сформированной решётки в сердцевине световода.  
 $L$  – база датчика.

Рис. 1. Построение Брэгговской решётки в световоде

Принцип работы ОВИС представлен на рисунке 2.

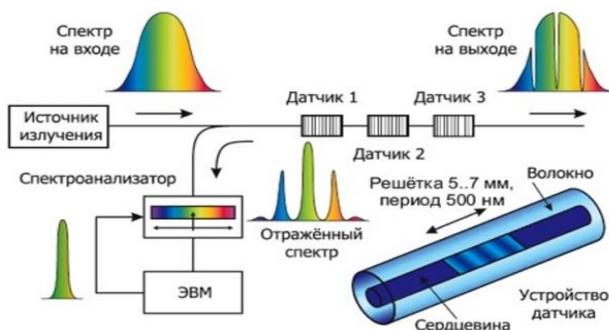


Рис. 2. Принцип работы оптоволоконной измерительной системы

Работа датчика ВБР основана на определении спектрометром ОВИС смещения длины волны оптоволоконного резонанса отражённого светового потока  $\lambda_B$  при внешнем воздействии на датчик.

*Преимущества волоконно-оптических датчиков*

1. Широкий диапазон измеряемых деформаций — до 1,5% (относительной деформации)
2. Высокая способность к масштабированию. Оптическая волоконная измерительная система может содержать много волокон, где каждое волокно может содержать множество волоконно-оптических датчиков. На одном оптическом волокне может быть до 1500 датчиков. Сигнал от датчика передаётся на расстоянии до 70 километров без искажения

(резонансная длина волны отражённого сигнала). Одна система с измерительным мультиплексором может снимать показания с нескольких сотен тысяч датчиков. Системы, построенные на оптоволоконной измерительной сети в одном кабеле во взаимосвязи с вычислительной сетью могут образовывать полную систему контроля и мониторинга (массив, рудничная атмосфера, крепь, горная техника).

3. Возможность интеграции датчиков в структуру объекта измерения (композитные конструкции: монолиты, сэндвич – конструкции). Создание «умных» материалов с организацией мониторинга их состояния по деформации, температуре и вибрации.

4. Оптоволоконный датчик может работать в условиях мощных электромагнитных полей, высоких напряжений и радиации. Его можно применять в жестких условиях эксплуатации (высокая температура, высокое напряжение, пыль, вибрация и взрывоопасная среда).

5. Оптоволоконная измерительная система в целом имеет высокую защищенность информации от несанкционированного доступа.

6. Оптоволоконный датчик имеет малые габариты и малый вес.

7. Высокая скорость прохождения сигнала по оптическому волокну – 200 000 км/сек в совокупности с высокой скоростью обработки сигнала ОВИС – 200 000 кадров в секунду определяет необычайно высокий объём данных для контроля измеряемых величин. С одного датчика, а их может быть сотни тысяч, можно получить значения о деформации, температуре и вибрации с одного объекта или нескольких объектов.

8. Оптоволоконные датчики на Брэгговской решетке, выполненные в монокристаллических волокнах сапфира (рабочая температура до 1850 °С), могут быть по аддитивным технологиям встроены в металлические материалы.

9. Совокупность датчиков может проводить измерение температуры, деформации, вибрации объектов в формате 3D.

10. Срок службы оптоволоконных датчиков на Брэгговской решётке более 30 лет

Указанные преимущества оптоволоконных датчиков и ОВИС свидетельствуют о перспективности их использования в системах комплексного геомеханического мониторинга при решении задач геомеханического обеспечения геотехнологий освоения месторождений твердых полезных ископаемых и подземного пространства мегаполисов.

### **Список литературы**

1. Качура С.М., Постнов В.И. Перспективные оптоволоконные датчики и их применение. М., Труды ВИАМ, № 5 2019, С.52-61.

2. Жижин В. Волоконно оптические датчики: перспективы промышленного применения. Электронные компоненты, № 12, 2010, С. 17-23.

3. Оптическое волокно – Наука – [www.wikia.com](http://www.wikia.com). 2016 г.
4. Презентация волоконно-оптических систем [Электронный ресурс] // [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov): <https://www.nasa.gov/offices/ipp/centers/dfrc/technology/Fiber-Optic-Sensing-Suite.html#webinar>.
5. Варжель С.В. Волоконные брэгговские решетки. Университет ИТМО Учебное пособие. Санкт-Петербург. 2015 г.
6. Показатель преломления оптического волокна [Электронный ресурс] // [https://fibertop.ru/pokazatel\\_prelomleniya\\_opticheskogo\\_volokna.htm](https://fibertop.ru/pokazatel_prelomleniya_opticheskogo_volokna.htm).

## **ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ И УГЛЯХ**

**Хашеватская Н.В.**

*ГУ «ИФГП», г. Донецк, ДНР*

Согласно общепринятым представлениям, в природном угле и вмещающих породах, водород содержится в различном физико-химическом состоянии. Поэтому действие водородосодержащих компонент на процесс десорбции может быть значимым фактором для геомеханического состояния и газоотдачи, поскольку именно микропоры являются одним из главных трещинопорождающих дефектов в угле и породах. Поровые водородосодержащие компоненты могут участвовать в разрушении угля, во-первых, водородосодержащие компоненты (жидкие и газообразные флюиды) снижают трещиностойкость угля (адсорбционный эффект), а во-вторых, природная вода содержит растворенный метан, который при уменьшении напряжений в угле и давления воды может выходить в трещинное пространство.

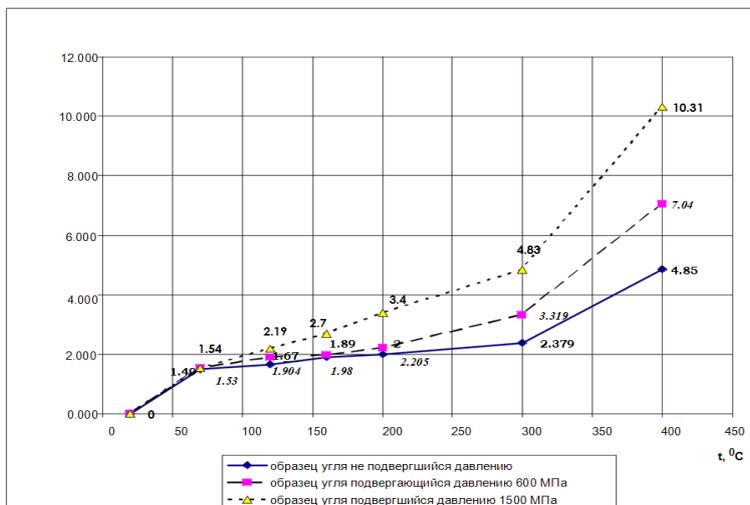
Особенность растворенных в воде газов заключается в том, что они (в отличие от газов, адсорбированных твердым веществом) могут быстро переходить из растворенного состояния в свободное, если давление воды станет меньше давления насыщения газа. Таким образом, при изменении напряженного состояния и, следовательно, заполняющей макропоры воды, часть растворенного в воде газа может практически мгновенно перейти в свободное состояние. Но растворимость метана в воде мала, она составляет 3,51 мл на 100 мл воды при температуре 20 °С; 5,56 мл на 100 мл воды при температуре 0 °С. Поэтому главный вопрос исследования заключается в том, достаточно ли количество водородосодержащих компонент выделяется из угля при импульсном воздействии на него (давление 600 МПа считается минимальным при взрыве), чтобы играть заметную роль в развитии диффузионных процессов системы «уголь-газ». Для этого необходимо определение условий термического разложения угольного вещества на основе определения энергии активации, которую необходимо учитывать при прогнозировании газодинамических явлений.

Методика исследований основана на динамическом термогравиметрическом анализе, т.е. исследовании изменения массы угольного образца (породы) без нагрузки и подвергшиеся предварительному нагружению 600 МПа и 1500 МПа, при различных температурах его нагрева.

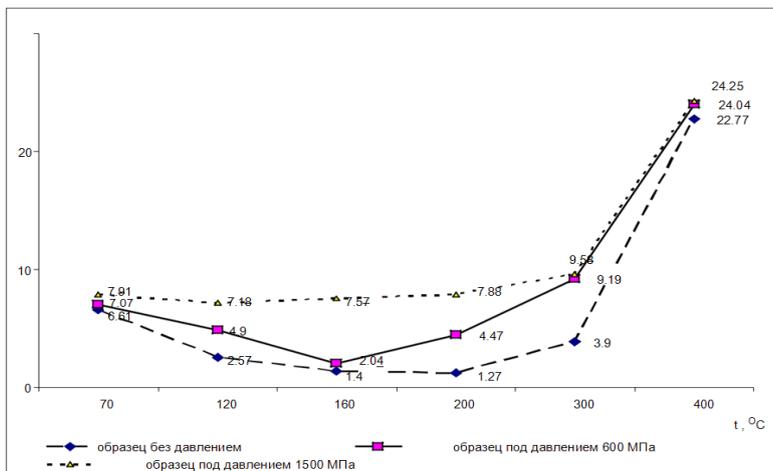
По своей физической сущности термообработка является сложным диффузионным процессом, скорость которого определяется скоростью диффузии водородосодержащих компонент из глубины высушиваемого материала в окружающую среду.

Результаты экспериментальных исследований для угольного вещества представлены на рисунке 1. Как следует из графика при термическом разложении на первой стадии процесса наблюдается период постоянной скорости удаления водородосодержащих компонент (область удаления свободной влаги). Это I период сушки. В этот период перепад влажности внутри материала столь велик, что имеет скорость поверхностного испарения, то есть внешнюю диффузию. Считается, что I период сушки соответствует испарению поверхностного водородосодержащего компонента при температурах 27...120 °С. II период термообработки соответствует твёрдотельной диффузии, поток водородосодержащих газов возрастает с температурой. Причём этот рост или чувствительность к температуре зависят от многих факторов: плотности твёрдого тела, его «рыхлости», подвижности и амплитуды тепловых колебаний молекул, длины и формы цепочек органических молекул и др. Характерная особенность твёрдотельной диффузии: при нагреве угля она возрастает в десятки и сотни раз. И чем жёстче структура угля, тем сильнее зависимость диффузионного потока от температуры. Здесь наиболее значительный экзотермический эффект вызван окислением органических веществ и усилен выделением водородосодержащих компонент за счет наложения эндотермического эффекта дегидратации.

Проведенные термодинамические расчеты и экспериментальные измерения энергии активации (рисунок 2) однозначно указывают на то, что при осуществлении процесса термообработки, энергия активации отображается в виде параболы, что позволяет предполагать медленное установление десорбционного равновесия на поверхности раздела фаз. При этом в образцах угля, подвергшимся предварительному нагружению в 600 МПа и 1500 МПа, потеря массы увеличились соответственно на 40-50 % и 100-120 %, с незначительным увеличением (в пределах 5 %) энергии активации. Это свидетельствует о том, что в угольном веществе высокоскоростная разгрузка в пределах нескольких сотен МПа/с приводит к возбуждению сверхбыстрых реакций разложения водородосодержащих компонент, в том числе и химически связанной воды, путем перехода механической энергии непосредственно в химическую, что приводит к инициирующему самоускорению и критическим явлениям ГДЯ.



**Рис. 1. Термическое разложение образцов угля марки К пл.  $h_6^I$  ш. Скочинского без нагрузки и подвергшиеся предварительному нагружению 600 и 1500 МПа**



**Рис. 2. Сравнение энергии активации десорбции водородосодержащих компонент угольного вещества в образцах без нагрузки и подвергшихся предварительному нагружению 600 и 1500 МПа, в зависимости от температуры**

## Список литературы

1. Добрынин В.М. Петрофизика (Физика горных пород)/ В.М. Добрынин, Б.Ю. Вендельштейн, Д.А. Кожевников. – М.: ФГУП Издательство «Нефти и газа», 2004. – 368 с.
2. Одинцев В.Н. Влияние поровой воды на процесс трещинообразования в газонасыщенных угольных пластах/ В.Н. Одинцев, В.В. Гурьянов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) – № 8 – 2004 – С. 101–105.
3. Алексеев, А. Д. Изменение динамических параметров воды в объеме пор ископаемых углей в зависимости от температуры/ А.Д. Алексеев, Т.А. Василенко, А.К. Кириллов и др. // Физика и техника высоких давлений.– том 20, № 2 – 2010 –С. 143–151.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМОУСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВ НА ПЛОЩАДКАХ ОХРАНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ СКОРОСТЕЙ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ КЫШТЫМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КВАРЦА

**Кутуев В.А., Жариков С.Н.**

*ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург*

В пределах границ горного отвода АО «Кыштымский ГОК» произведен подземный массовый взрыв по обрушению межэтажного целика с максимальной массой взрывчатых веществ в ступени замедления 963 кг. Институту горного дела УрО РАН была поставлена задача по изучению сейсмического влияния подземного массового взрыва на охраняемые объекты промплощадки Кыштымского подземного рудника, находящиеся в непосредственной близости от мест ведения взрывных работ, а именно: здания дробильно-сортировочного цеха (ДСЦ), вентиляторной ГВУ и здания рудоуправления АО «Кыштымский ГОК».

Взрывные работы производились близко к земной поверхности в непосредственной близости от промышленных охраняемых объектов промплощадки Кыштымского подземного рудника.

Цель работы заключалась в определении сейсмоустойчивости грунтов на площадках охраняемых объектов и допустимых значений скоростей колебаний для зданий АО «Кыштымский ГОК». Также на основе физико-механических свойств пород месторождения определялись допустимые расстояния от взрыва до охраняемых объектов для 5-ти инженерно-геологических элементов.

Кыштымское месторождение в настоящее время является единственным в России крупным эксплуатируемым месторождением грану-

лированного кварца. Самой крупной жилой месторождения, содержащей 90% разведанных запасов гранулированного кварца, является жила №175 (см. табл. 1).

**Таблица 1**

**Физико-механические свойства кварца и вмещающих пород  
жилы № 175**

Руда и порода	Объёмная масса, т/м <sup>3</sup>	Коэффициент крепости	Прочность на сжатие, МПа	Коэффициент Пуассона	Скорость прохождения волн, м/с		Модуль Юнга, Е·10 <sup>-3</sup> МПа	Акустическая жесткость, А·10 <sup>-3</sup> МПа
					продольных	поперечных		
Кварц однородный	2,67	10 – 15	113 – 178	0,27	5500	3200	115	0,143
Сростки кварца	2,60	5 – 8	54 – 92	0,27	5375	2900	112	0,146
Пегматиты	2,74	8 – 10	110	0,26	4550	3000	124	0,144
Биотит амфиболовый	2,60	8 – 10	152	0,24	4837	2487	95,7	0,112
Гранито-гнейс	2,73	8 – 10	166	0,25	4540	2540	104	0,123

В районе жилы наблюдаются две основные системы трещин. Первая – азимут простирания 30-40°, углы падения субвертикальные (80-90°). Вторая – азимут падения 210-230°, угол падения 60-80°. Средняя трещиноватость составляет 0,5-1 трещины на погонный метр.

**Методический подход и результаты исследования**

Динамика воздействия от взрывных работ проявляется в сейсмических колебаниях грунта. Допустимое сейсмическое воздействие при массовых взрывах определяется в двух направлениях. Во-первых, воздействие сейсмических колебаний от взрывных работ не должно привести к потере устойчивости массива в границах площадки объекта. Во-вторых, колебания грунта под сооружением (зданием) на площадке не должно привести к разрушению фундаментов и конструкций. Для выполнения комплекса расчёта сейсмоустойчивости грунтов на площадках объектов и определения допустимых значений скорости колебаний для зданий АО «Кыштымский ГОК», использованы разработки ИГД УрО РАН [1–3].

На основании исходных данных выполнен расчет силового воздействия от взрывных работ на грунты и сооружения объектов АО «Кыштымский ГОК» и произведено сравнение допустимой скорости колебания с расчетной (см. табл. 2). Данные таблицы показывают, что породный массив имеет достаточно высокую сейсмоустойчивость (отмечено в табл. 2 серым цветом). Допустимая скорость для сейсмически активных районов (6-7 баллов) составляет 0,06 м/с.

Таблица 2

## Исходные и расчётные значения сейсмостойчивости грунтов

Порода	Плотность, г/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие в образце, МПа	Прочность на растяжение в образце, МПа	Коэффициент Пуассона	Модуль упругости, ГПа	Скорость продольных волн в грунте, м/с	Скорость поперечных волн, м/с	Принятый коэффициент структурного ослабления	Прочность на сжатие в массиве, МПа	Прочность на растяжение в массиве, МПа	Принятая допустимая величина напряжений, МПа	Доп. скорость сейсмических колебаний грунта, м/с
Кварц одно-родный	2,67	178,0	17,80	0,27	115,0	5500	3087	0,15	26,70	2,67	3,47	0,62
	2,64	145,5	14,55	0,27	115,0	4483	2516	0,15	21,83	2,18	2,84	0,63
	2,60	113,0	11,30	0,27	115,0	3465	1945	0,15	16,95	1,70	2,20	0,64
Сростки кварца	2,60	92,0	11,50	0,27	112,0	5375	3017	0,30	27,60	3,45	4,49	0,84
	2,58	73,0	9,13	0,27	112,0	4273	2398	0,30	21,90	2,74	3,56	0,84
	2,55	54,0	6,75	0,27	112,0	3171	1780	0,30	16,20	2,03	2,63	0,85
Пегматиты	2,74	110,0	11,00	0,26	124,0	4550	2591	0,25	27,50	2,75	3,58	0,75
	2,62	98,0	9,80	0,26	124,0	4050	2306	0,25	24,50	2,45	3,19	0,78
	2,50	86,0	8,60	0,26	124,0	3550	2022	0,25	21,50	2,15	2,80	0,82
Биотит амфиболовый	2,60	152,0	19,00	0,24	95,7	4837	2829	0,15	22,80	2,85	3,71	0,77
	2,57	143,5	17,94	0,24	95,7	4566	2671	0,15	21,53	2,69	3,50	0,78
	2,54	135,0	16,88	0,24	95,7	4295	2512	0,15	20,25	2,53	3,29	0,79
Гранито-гнейс	2,73	166,0	16,60	0,25	104,0	4540	2621	0,15	24,90	2,49	3,24	0,68
	2,67	156,0	15,60	0,25	104,0	4266	2463	0,15	23,40	2,34	3,04	0,70
	2,60	146,0	14,60	0,25	104,0	3992	2305	0,15	21,90	2,19	2,85	0,71

Для дальнейших расчётов выбраны точки на руднике, а также на охраняемых объектах. В данных точках выполнено измерение сейсмических колебаний с применением сейсморегистратора Minimate Plus («Instantel», Канада) и двух сейсморегистраторов УРАН (ООО «Горизонт», Россия) с сейсмоприемниками GS-20.

При проведении взрывных работ по обрушению межэтажного целика на Кыштымском подземном руднике, величины максимальной результирующей скорости сейсмических колебаний грунта составили: возле фундамента здания вентиляторной ГВУ – 0,0031 м/с и около здания рудоуправления – 0,0012 м/с, которые меньше допустимой скорости колебаний грунта в основании зданий. Возле трехэтажного здания дробильно-сортировочного цеха (ДСЦ) АО «Кыштымский ГОК» во время проведения подземного массового взрыва при обрушении межэтажного целика сейсморегистратор УРАН не зарегистрировал скорость сейсмических колебаний грунта, т.к. фактическая скорость была ниже порога чувствительности сейсмоприемников.

Выполнен динамический расчетный анализ силового воздействия от взрывных работ на грунты и здания объектов АО «Кыштымский ГОК». Расчёт выполнен в вариантах, рекомендуется установить ограничения по массе ВВ на уровне минимальных опасных значений.

Опасная масса ВВ, взорванная в руднике одновременно, для откосных и грунтовых сооружений объектов АО «Кыштымский ГОК»: ДСЦ – 52597 кг; вентиляторная ГВУ – 39765 кг; рудоуправление – 26056 кг.

Опасная масса ВВ, взорванная в руднике одновременно, для зданий объектов АО «Кыштымский ГОК»: ДСЦ – 48473 кг; вентиляторная ГВУ – 25450 кг; рудоуправление – 24013 кг.

Проведенные взрывные работы при обрушении межэтажного целика на Кыштымском подземном руднике, выполнены с обеспечением безопасности сейсмического воздействия подземного массового взрыва и не оказывают негативного влияния на корпус дробильно-сортировочного цеха (ДСЦ), здания вентиляторной ГВУ и рудоуправления.

*Исследования выполнены в рамках Государственного задания №075-00581-19-00, темы №0405-2019-0005 (2019 – 2021 гг.)*

### **Список литературы**

1. Методика обеспечения сейсмобезопасной технологии ведения взрывных работ. – Свердловск, ИГД МЧМ СССР, 1984. – 12 с.

2. Бондаренко И.Ф. Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии / И. Ф. Бондаренко, С. Н. Жариков, И. В. Зырянов, В. Г. Шеменёв // Екатеринбург: ИГД УрО РАН – 2017. – 172 с.

3. Жариков С.Н. Изучение сейсмического действия взрыва в карьере для внедрения специальной технологии заткосных работ / С.Н. Жариков, В.А. Кутуев // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: материалы всероссийской конф. с международ. участием / Институт геофизики УрО РАН. – Екатеринбург, 2017. – С. 179-183.

## **НАУЧНАЯ БАЗА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГОРНЫХ МАШИН ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ТИПА**

**Бобин В.А.<sup>1</sup>, Бобина А.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *ИПКОН РАН,*

<sup>2</sup> *Вольное экономическое общество России, г. Москва*

В России проблемы технологии процессов дробления и измельчения руд и других твердых материалов в условиях земной гравитации решались в работах академиков К.Н.Трубецкого, В.А. Чантурия, Л.А. Вайсберга; докторов технических наук Л.И. Кантовича, Н.А. Картавого, Н.М. Качурина, Э.М. Соколова, А.С. Воронюка, В.И. Ревнивцева и др. [1-5].

Физическую основу подавляющего числа различных технологических разработок и реализующих их машин и механизмов определяет соответствующий им принцип реализации сжимающих или растягивающих усилий. В частности, в горном деле широко используются сила тяжести, усилия пружинных блоков и сила сжатой жидкости.

В результате применяемые в промышленности способы измельчения твердых природных ископаемых требуют высоких энергозатрат (десятки киловатт), имеют незначительный коэффициент полезного действия (3-5%) и большие весовые показатели (десятки тонн), что делает невозможным в будущем их использование на планетах с пониженной силой тяжести.

Существенного результата в этой области теории и практики разрушения можно достичь только за счет использования принципиально нового метода дезинтеграции горных пород на основе нового физического принципа создания и регулирования усилий истирания за счет использования гироскопических сил, что не имеет аналога, как в России, так и за рубежом.

Научную основу этого метода представляют следующие положения:

1) для обеспечения минимального значения мощности, расходуемой на процесс измельчения твердых материалов, устройства, его реализующие, должны работать в режиме сдвигового разрушения (истирания), так как предел прочности на сжатие на порядок большее, чем значение предела прочности на сдвиг [6];

2) в качестве альтернативы гравитационной силе должен использоваться гироскопический эффект, значение которого не зависит от значения ускорения свободного падения, а для его реализации используется двухступенный гироскоп, установленный на вращающейся горизонтальной площадке и связанный жесткой связью с рабочим органом, измельчающим твердый материал;

3) в зависимости от прочностных свойств твердого материала и его размеров и для обеспечения минимальных значений мощности, потребляемой гироскопическим устройством, оно должно иметь независимые друг от друга каналы изменения угловых скоростей ротора двухступенного гироскопа и горизонтальной площадки;

4) для обеспечения устойчивости работы гироскопического устройства при всех возможных режимах его работы двухступенный гироскоп должен иметь свойства аperiodического звена системы автоматического регулирования с отрицательной обратной связью.

Реализацию гироскопического метода создания разрушающих усилий можно проиллюстрировать следующими фактами:

1) эффективность сдвигового разрушения (истирания) твердых материалов подтверждается всем опытом решения проблемы дезинтеграции алмазосодержащих кимберлитов [7];

2) эффект замены гравитационных сил гироскопическими для создания усилий разрушения наиболее отчетливо показан на примере работы гироскопической мельницы (ГМ) [7], которая позволяет независимо изменять значения угловых скоростей  $\omega$  и  $\Omega$ , а, следовательно, и величину силы нормального давления рабочего органа на горную породу;

3) эффект рабочим органом с помощью двухступенного гироскопа [8] обеспечивает непрерывную устойчивую работу всего устройства при увеличении силы сопротивления размельчаемой породы перемещению рабочего органа по размольному столу.

Таким образом, представленные выше результаты представляют собой научную базу для создания горных машин гироскопического типа, использование которой позволило разработать конструкцию лунной гироскопической горной машины (ЛГГМ).

В ИПКОН РАН создан и испытан лабораторный образец ЛГГМ производительностью 23 кг/ч, которая при весе всего 5 кг, потребляя 75 Вт электрической энергии постоянного тока, истирает образцы горной породы крепостью от 2 до 7 единиц по шкале М.М.Протодьяконова и размером до 10 мм. Результаты испытаний ЛГГМ в сравнении с перечнем параметров серийно выпускаемых дисковых измельчителей (ИД) представлены в таблице.

**Таблица**

Параметры	ИД-130	ИД-175	ИД-250	ЛДИ-65	ЛГГМ
Исходная крупность породы, мм	до 3	до 10	до 10	до 2	до 10
Конечная крупность породы, мм	0.044	0.05	0.08	0.05	0.06
Q, кг/ч	8	20	40	1	23
N, кВт	1.1	1.5	5.5	0.37	0.075
m, кг	55	80	160	17	5
$\Theta = Q/N$ , кг/ч/кВт	7.3	13.3	7.3	2.7	306
$\Theta_{уд} = \Theta/m$ , кг/ч/кВт/кг	0.13	0.17	0.045	0.16	62

Данные, представленные в таблице показывают, что эффективность работы ( $\Theta$ ) ЛГГМ в 23 раза больше, чем у дисковых истирателей аналогичного назначения.

## Выводы

1. Разработана научная база для создания горных машин гироскопического типа и разработан на ее основе принципиально новый метод дезинтеграции горных пород за счет использования гироскопических сил.
2. Создана конструкция лунной горной гироскопической машины, испытан ее лабораторный образец производительностью 23 кг/ч, который при весе всего 5 кг, потребляя 75 Вт электрической энергии постоянного тока, истирает образцы горной породы крепостью от 2 до 7 единиц по шкале М.М. Протоdjяконова и размером до 10 мм с эффективностью не ниже 0.3 т/кВтч.

## Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Основы горного дела. М., Недра, 2010, 264 с.
2. Чантурия В.А. и др. Наночастицы в процессах разрушения и вскрытия геоматериалов. – М.: ИПКОН РАН, 2006. – 352с.
3. Ржевский В.В., Новиков Г.Я. Основы физики горных пород. – М., Недра, 1967.
4. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Сафронов А.Н. Дезинтеграция кимберлитовых руд, обеспечивающая сохранность кристаллов алмазов // Обогащение руд., 2003, №3, С. 16-20.
5. Ревнивцев В.И. О рациональной организации процесса раскрытия минералов в соответствии с современными представлениями физики твердого тела // Труды. Совершенствование и развитие процесса подготовки руд к обогащению. – 1975. – Вып.140. – С.153-169.
6. Бобин В.А., Бобина А.В. Гироскопические силы – новая физическая основа создания энергоэффективных горных машин. Наука и образование в XXI веке. Сборник научных трудов. Часть I. Мин-во обр. и науки. М., «АР-Консалт», 2014, С. 27-30.
7. Бобин В.А., Бобина А.В. Гироскопические горные машины для извлечения полезных ископаемых на Земле и Луне. М.: БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. – 160 с. – doi: 10.18334/9785912921490.
8. Бороздин В.Н. Гироскопические приборы и устройства систем управления: Учеб. пособие для втузов. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НРС В СКВАЖИНАХ ДИАМЕТРОМ БОЛЕЕ 56 ММ

Емельянов Р.В.<sup>1</sup>, Иляхин С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «ООО Си Ар Си Си Рус»,

<sup>2</sup>МГРИ-РГГРУ, г. Москва

Один из широко применяемых химических способов разрушения горной породы является НРС (невзрывная разрушающая смесь).

К преимуществам данного способа относятся: относительная беззвучность раскалывания, отсутствие сейсмического эффекта и разлёта осколков породы, экологическая безопасность и безопасность ведения работ, не требуется специальное разрешение на ведение работ по разрушению горных пород или других материалах. К недостаткам метода можно отнести невозможность его использования в зарядных камерах более 56 мм.[1]. Поэтому были проведены исследования доказывающие использование разрушение горной породы в зарядных камерах более 56 мм.

**Цель доклада** – изучить возможность использовать НРС в скважинах диаметром более 56 мм при помощи вставок, например, из металла.

Вначале изучение расширения НРС в зарядной камере производилось в лабораторных условиях на металлической модели конструкции Христолюбова В.Д., подробное описание которой изложено в диссертации [2].

**Методика эксперимента** – собранную зарядную камеру (Рис.1) устанавливают на подставку строго по оси прибора, (предварительно поместив в ней металлические вставки диаметром 26,32,38,44 мм (Рис.2) прижимают динамометр с помощью винта. После этого, подготавливают рабочую смесь

Путём вращения винта устанавливают нагрузку на рабочую камеру, равную 1/4 максимального усилия развиваемого смесью. Величину нагрузки контролируют по показаниям динамометра.



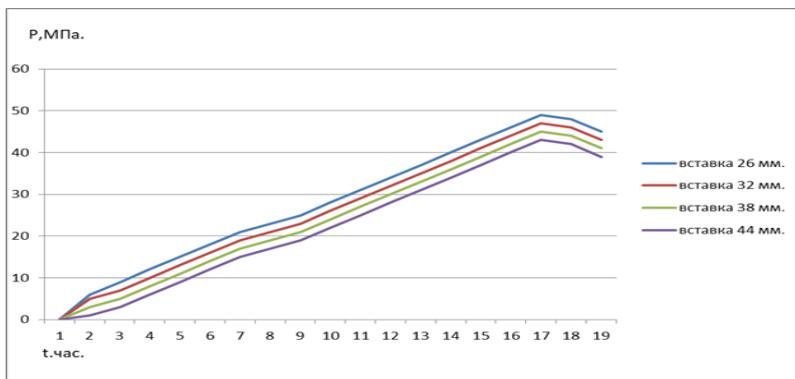
**Рис. 1. Зарядная камера, металлическая модель**



**Рис. 2. Металлические вставки**

По началу роста показаний динамометра фиксируют время достижения усилия, развиваемого смесью при заданной величине нагрузки. Далее увеличивают нагрузку на зарядную камеру путем вращения винта и продолжают измерение. Шаг увеличения нагрузки определяется требуемой точностью измерений и рекомендуется равным 1/10 максимального развиваемого смесью усилия. Измерения заканчивают после пре-

кращения интенсивного роста, развиваемого смесью. Записываю показание динамометра, а по окончании эксперимента по полученным результатам строю график (рис.3.).



**Рис. 3. Усилие НРС в зависимости от времени и диаметра вставки**

На основании анализа результатов проведенного эксперимента можно сделать вывод о том, что увеличению диаметра вставки с 26 мм до 44 мм. развиваемое смесью давление уменьшается на 15-25 % (рис.3). Причем выброса смеси из зарядной камеры не наблюдается.

Рабочую смесь готовим по той же методике, которая описана в первом эксперименте. Для подтверждения отсутствия выброса НРС из зарядной камеры 100 мм. со вставками и одновременного разрушения были подготовлены бетонные модели высотой 1300 мм., диаметром 300 мм с зарядной камерой диаметром 100 мм. по центру цилиндрической модели. Для изготовления бетонных моделей использовался цемент марки 500 (соотношение 1:3). Для набора прочности бетона модели набирали прочность в течение 28 дней.

В центр бетонной модели помещаем вставки диаметром 26,32,38,44 мм и заполняем рабочей смесью. В результате реакции гидратации невзрывная разрушающая смесь твердеет и расширяется, создавая давление на стенки бетонных моделей до 40-50 МПа. Самопроизвольного выброса НРС из скважины зафиксировано не было.

После серии проведенных экспериментов на бетонных моделях можно сделать вывод, что при разрушении объектов с помощью НРС допустимо использовать скважину более 56 мм. С применением металлических вставок.



**Рис. 4. Результаты разрушений**

Самопроизвольного выброса НРС из скважины зафиксировано не было, т.е. этот эксперимент доказывает возможность применения зарядной камеры диаметром более 56 мм для разрушения горной породы с применением НРС.

**Выводы:**

1. Увеличение диаметра вставки уменьшает развиваемое смесью давление на 15-25%.
2. Разрушение объектов с помощью НРС допустимо при использовании скважины более 56 мм.

**Список литературы**

1. Христолюбов В.Д. Невзрывные способы разрушения горных пород. МГИ, 1991.
2. Христолюбов В.Д. Диссертация «Разработка ресурсосберегающего способа добычи минерального сырья невзрывными разрушающими смесями». Москва-1988г.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ  
ТЕОРИИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ**

**Докутович М.И.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

На основании проведенных исследований предлагается теоретическая модель формирования кусков породы в зоне её регулируемого дробления взрывом зарядов промышленных взрывчатых веществ, что позволяет рассчитывать гранулометрический состав взорванной горной

массы и определять один из главных критериев – средний размер куска породы в развале [1-3].

В докладе приводятся результаты практического применения опытно-промышленного взрывного дробления горных пород и разрабатываемые новые способы и подходы к добыче твердых полезных ископаемых:

1. В соответствии с изложенной теорией в [1, 2] рассчитывается ориентировочно выход негабарита при серийном взрывании. При взрыве удлиненного заряда формируется зона регулируемого дробления и объем разрушения приходящийся на взрыв одного заряда, а выход негабарита при серийном взрывании формируется из объема зоны нерегулируемого дробления и зависит от содержания негабарита в массе до взрыва. Эта оценка практически полностью согласуется с результатами серийного взрывания. По предполагаемому варианту размещения зарядов в опытно-промышленном взрыве выхода негабарита не должно быть, что действительно и наблюдалось. При экскавации горной массы негабарита не было и внутри развала, а средний размер кусков получил ся равным  $d_{cp}=0,17$  м.

2. Аналогично, в соответствии, с теоретической моделью формирования кусков породы в зоне её регулируемого дробления взрывом зарядов промышленных взрывчатых веществ был разработан новый скважинный способ добычи твердых полезных ископаемых. Принцип которого заключается в следующем: с земной поверхности пробуривается вертикально-горизонтальная скважина до полезного ископаемого, в котором пробуривается горизонтальная скважина. Горизонтальная скважина заряжается взрывчатым веществом. После проведения взрыва в скважину опускается добычной агрегат, с помощью которого эрлифтом извлекается полезное ископаемое на поверхность.

3. Новый подход для решения задач по обеспечению высокого качества дробления горных пород позволяет при увеличении глубины карьеров и усложняющейся технологии вскрытия нижележащих горизонтов для повышения эффективности открытых горных работ применять конвейерный транспорт и реализацией на его базе циклично-поточной технологии (ЦПТ).

### **Выводы**

1. Проведенный опытно-промышленный взрыв дробления известняка на карьере «Жуково» подтвердил основные положения разработанной теории дробления горных пород взрывом скважинных зарядов промышленных взрывчатых веществ на уступах карьеров.

2. По предложенным параметрам буровзрывных работ имело место безнегабаритное взрывное дробление известняка с существенным снижением (на 30%) среднего размера куска в развале до  $d_{cp}=0,17$  м. При

серийном же взрывании выход негабарита составляет 10% при среднем размере кусков в развале  $d_{cp}=0,24$  м.

3. Установленные соотношения справедливы для широкого диапазона классов горных пород и типов промышленных взрывчатых веществ, удовлетворительно согласуются с результатами промышленного ведения взрывных работ и позволяют определять условия требуемого взрывного дробления горных пород на карьере.

### **Список литературы**

1. Белин В.А., Крюков Г.М. Итоги развития теории разрушения горных пород взрывом. // Сб. «Взрывное дело». Выпуск №105/62. Теория и практика взрывного дела. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2011. – С. 3-17.

2. Докутович М.И. Теоретические оценки детерминированных закономерностей степени дробления горных пород под воздействием взрыва каждого заряда промышленных взрывчатых веществ. // Инженерная физика, №5. – М.: Научтехлитиздат, 2019. – С. 46-53.

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

## **УСТАНОВЛЕНИЕ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ УПРУГОДЕМПФИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В МЕХАНИЗМЕ ТЯГИ ДРАГЛАЙНА**

**Клементьева И.Н.**

*НИТУ «МИСиС», г. Москва*

Известно, что на производительность одноковшовых экскаваторов существенное влияние оказывают параметры отработки уступа, физико-механические свойства породы, климатические условия эксплуатации, а также высокий уровень динамических нагрузок в металлоконструкциях [1] и приводах в основном в течение копания (экскавации). Так, длительность копания у драглайна составляет до 30 % его рабочего цикла.

Особенно большие нагрузки возникают при внезапной встрече ковша с непреодолимым препятствием, когда ковш останавливается практически мгновенно, время же остановки двигателя и механизма определяется податливостью кинематической связи привода копающего механизма с ковшом (в основном упругостью стальных тросов, канатно-

блочных передач и податливостью других элементов механизма) и инерционностью масс двигателя, редуктора и барабана. Запасённая во вращающихся инерционных массах кинетическая энергия при быстрой остановке ковша, переходит, в основном, в потенциальную энергию упругих деформаций элементов копающего механизма в целом.

Поэтому для снижения динамических нагрузок в копающих механизмах одноковшовых экскаваторов поиск новых технических решений упругодемпфирующих устройств и их параметров частотных характеристик, позволяющих эффективно эксплуатировать экскаваторы в различных горнотехнических условиях, остается по-прежнему актуальным.

Известно, что с увеличением пути  $x$  ( $0 \leq x_i \leq l_{nyumi}$ ) наполнения ковша породой возрастают составляющие от сил сопротивления черпанию, касательная от веса ковша и сила трения ковша о забой за счет увеличения массы, присоединенной к тяговым канатам:

$$M(x) = m_i + \rho_i E_i \frac{1 + \lambda_i}{k_{pi}} \frac{x_i}{l_{nyumi}}, \text{ кг} \quad (1)$$

Одновременно с этим увеличивается и жесткость тяговых канатов:

$$c(x) = E_y \frac{nS_i}{l_{0i} - x_i}, \text{ Н/м} \quad (2)$$

где  $m_i$  – масса непосредственно ковша с упряжью Пейджа, кг;  $\rho_i$  – плотность экскавируемой  $i$ -той горной породы кг/м<sup>3</sup>;  $E_i$  – геометрическая вместимость ковша драглайна, м<sup>3</sup>;  $k_{pi}$  – коэффициент разрыхления породы в ковше драглайна  $i$ -ым удельным сопротивлением копания;  $\lambda_i$  – отношение  $i$ -го объема призмы волочения к объёму ковша;  $l_{nyumi}$  – путь наполнения ковша породой с  $i$ -ым удельным сопротивлением копанию, м;  $E_y$  – модуль упругости стальных канатов, Нм/м<sup>3</sup>;  $n$  – число тяговых канатов, ед.;  $S_i$  – сечение одного стального каната, м<sup>2</sup>;  $l_{0i}$  – длина одного каната от упряжи Пейджа до барабана тяговой лебедки, м.

Собственная частота колебаний –  $\omega_{0i}(x_i)$  в системе «тяговые канаты – ковш» в зависимости от пути наполнения ковша драглайна определится как:

$$\omega_{0i}(x_i) = \sqrt{\frac{c(x_i)}{M(x_i)}} = \sqrt{\left( E_y \frac{nS_i}{l_{0i} - x_i} \right) / \left( m_i + \rho_i E_i \frac{1 + \lambda_i}{k_{pi}} \frac{x_i}{l_{nyumi}} \right)}, \text{ рад/с} \quad (3)$$

Анализ выражения (3) для условий  $x_i = 0$  и  $x_i = l_{ny\text{mi}}$  показывает, что отношение собственной частоты системы «тяговые канаты – ковш» при страгивании ковша к собственной частоте этой системы в конце черпания больше единицы:

$$\frac{\omega_{0i}(x_i = 0)}{\omega_{0i}(x_i = l_{ny\text{mi}})} = \sqrt{(l_{0i} - l_{ny\text{mi}}) \left( m_i + \rho_i E_i \frac{1 + \lambda_i}{k_{pi}} \right) / ml_{0i}} > 1 \quad (4)$$

то есть собственная частота системы «тяговые канаты – ковш» в момент страгивания ковша больше собственной частоты этой системы, чем в конце черпания. Что касается диссипативных сил, то в первую очередь следует аналитически представить силу трения  $F_{mpi}(x_i)$  ковша о забой в функции пути наполнения ковша породой в виде:

$$F_{mpi}(x_i) = \mu g \left( m_i + \rho_i E_i \frac{1 + \lambda_i}{k_{pi} l_{ny\text{mi}}} x_i \right) \cos \alpha, \text{Н} \quad (5)$$

Здесь  $\mu$  – коэффициент трения ковша драглайна о забой (сталь-порода);  $\alpha$  – угол наклона забоя, рад.

Анализ выражения (5) для условий  $F_{mpi}(x_i = l_{ny\text{mi}})$  и  $F_{mpi}(x_i = 0)$  соответственно показывает, что отношение сил трения в конце черпания к силе трения в момент страгивания ковша составляет:

$$\frac{F_{mpi}(x_i = l_{ny\text{mi}})}{F_{mpi}(x_i = 0)} = 1 + \rho_i E_i \frac{1 + \lambda_i}{m_i} > 1 \quad (6)$$

то есть диссипативные силы системы «тяговые канаты – ковш» в момент страгивания ковша меньше, чем величина диссипативных сил этой системы в момент окончания черпания.

В свою очередь, отношение амплитуд выходного и входного сигналов колебательной системы «тяговые канаты – ковш» в функции вынужденной частоты колебаний – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)  $\xi(\omega)$  в соответствии с результатами, приведенными в [2], имеет вид:

$$\xi(\omega) = \frac{k\omega_0^2}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2) + 4\zeta^2(x_i)\omega_0^2\omega^2}} \quad (7)$$

Здесь  $k$  – безразмерный коэффициент пропорциональности;  $\omega$  – частота вынужденных колебаний, рад/с;  $\zeta(x_i)$  – коэффициент затуха-

ния колебаний в системе «тяговые канаты – ковш», характеризующий влияние диссипативных сил (в основном силы трения ковша о забой) на форму АЧХ, так, с уменьшением коэффициента затухания вынужденная частота приближается к собственной и резонансный пик АЧХ становится выше и острее,  $0 < \zeta(x_i) < 2^{-0,5}$ .

Величина модального значения АЧХ определится из выражения (7) при равенстве частот:

$$\omega_0 = \omega : \xi(\omega_0 = \omega) = \frac{k}{2\zeta(x_i)}, \quad 0 \leq x_i \leq l_{\text{нпyti}} \quad (8)$$

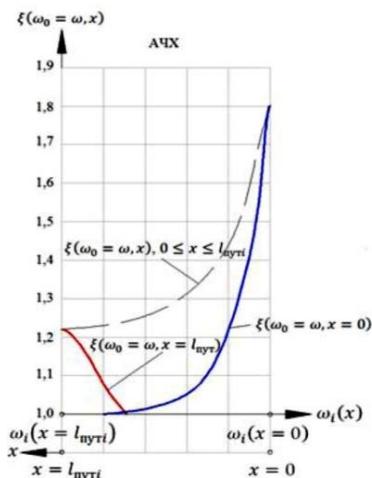
Поскольку диссипативные силы в системе «тяговые канаты – ковш» в основном определяются силой трения ковша о забой, естественно предположить, что с большой степенью точности отношение модальных значений АЧХ в конце черпания и в момент его начала будет равно отношению (6):

$$\frac{\xi(\omega_0 = \omega, x_i = l_{\text{нпyti}})}{\xi(\omega_0 = \omega, x_i = 0)} = \frac{F_{\text{mpt}}(x_i = l_{\text{нпyti}})}{F_{\text{mpt}}(x_i = 0)} > 1 \quad (9)$$

то есть модальное значение АЧХ системы «тяговые канаты – ковш» в момент страгивания ковша меньше ее модального значения в конце черпания.

Таким образом, для эффективного снижения динамических нагрузок собственная частота любого упругодемпфирующего устройства, установленного в системе «тяговые канаты – ковш», должна быть ниже собственной частоты этой системы в конце черпания, определяемая зависимостью (5).

На рисунке 1 приведены зависимости отношений амплитуд выходного и входного сигналов колебательной системы «тяговые канаты – ковш»  $\xi(\omega_0 = \omega, x_i)$  в функции вынужденной частоты колебаний  $\omega_i$  от пути наполнения ковша  $l_{\text{нпyti}}$ .



**Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики системы «тяговые канаты – ковш» драглайна**

## Список литературы

1. Федоров Д.И., Бондарович Б.А., Перепонов В.И. Надежность металлоконструкций землеройных машин. Методы оценки и расчета. М., «Машиностроение», 1971, 216 с.
2. Маслов Г.С. Расчеты колебаний валов. Справочное пособие, М: «Машиностроение», 2008, 272 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ЛЬДА ПРИ УДАРНЫХ И ВЗРЫВНЫХ НАГРУЗКАХ

Глазырин В.П., Орлов М.Ю., Орлов Ю.Н.

*НИ ТГУ, г. Томск*

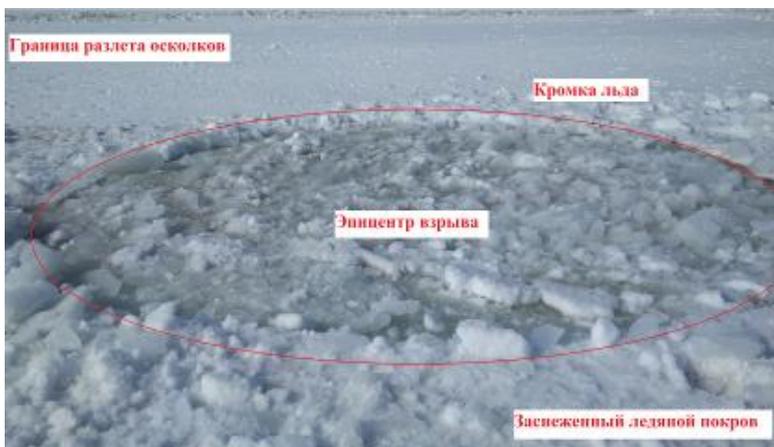
Интенсивное развитие экономики северных территорий России требует углубления наших знаний в области физики и механики льда путем проведения теоретических и экспериментальных исследований его поведения при различных видах нагружения, в частности при импульсном воздействии. Определенные результаты в этом направлении можно получить посредством проведения компьютерного моделирования и натуральных экспериментов. Однако необходимо отметить техническую сложность и дороговизну проведения таких опытов, а также невозможность получения подробной информации о пространственно-временном распределении полей напряжений, деформаций и областей разрушений в рассматриваемых образцах льда. Поэтому особую важность в плане данных исследований представляет теоретический подход, базирующийся на математическом моделировании процессов.

В настоящей работе приведены результаты комплексных теоретико-экспериментальных исследований разрушения льда при динамических нагрузках. В хронологическом порядке изложены данные по подрыву заснеженного ледяного покрова эмульсионной взрывчаткой, а также результаты лабораторного и вычислительного экспериментов по разрушению многослойных ледяных преград.

Взрывные эксперименты проведены на реке Томь совместно с МЧС РФ и ООО КузбасСпецВзрыв. Эксперименты по ударному нагружению проведены в НИИ ПММ ТГУ на баллистическом стенде с высокоточными приборами регистрации быстропотекающих процессов [1]. Объектами исследования были заснеженный ледяной покров средней толщины и трехслойная ледяная преграда. Преграда состояла из трех одинаковых ледяных цилиндров. Лед был получен путем заморозки пресной воды при температуре – 24 °С и времени заморозки 48 часов.

На рис. 1 показана полынья, образованная в заснеженном ледяном покрове после подрыва 4 кг эмульсионной взрывчатки Эмуласт АС-ФП-90

(3.25 кг в ТНТ эквиваленте). Фото датировано последней декадой марта. Снежный покров имел толщину  $\approx 20$  см. Толщина льда под снегом не более 60 см. Приблизительный возраст льда около 120 дней. Глубина воды подо льдом не менее 600 см. Речное дно было плоское. Видно, что полынья имела форму окружности диаметром 500 см, внутри находятся осколки различных размеров, радиальных трещин в ледяном покрове обнаружено не было. Воду в полынье практически не видно из-за ледяных осколков. Детальный анализ морфологии разрушению льда показал, что преобладали малые и средние осколки льда. Часть осколков образованы в результате их падения на лед после взрыва. Форма кромки льда получилась ступенчатая, как и в случае подрыва игольчатого льда [2].



**Рис.1. Результаты экспериментальных исследований.  
Полынья в ледяном покрове.  
Фото сделано Орловым М.Ю. через 2 минуты после взрыва**

Следующим этапом были проведены лабораторные эксперименты по соударению ударника с ледяной преградой. Ледяная преграда состояла из трех ледяных цилиндров, каждый из которых имел диаметр 10,5 см и высоту 5 см. Ударник – 9 мм оболочечная пуля патрона 57-Н-181С пистолета Макарова. Начальная скорость ударника равна 315 м/с. Процесс соударения фиксировался на высокоскоростную камеру, которая помещалась справа от преград. Установлено, что ударник практически сохранил свою первоначальную форму. Ледяные преграды полностью разрушились на отдельные осколки.

Математическое описание поведения льда при ударных и взрывных нагрузках базируется на феноменологической макроскопической теории сплошной среды, то есть используется модель, основанная на фундаментальных законах сохранения с определяющими уравнениями, адекватность которых неоднократно подтверждена многочисленными расчетами и экспериментальными данными в работах [2,3]. Используются уравнения неразрывности, движения и энергии, записанные в лагранжевых координатах. Рассматриваемая среда предполагается сжимаемой, изотропной с отсутствием массовых сил, внутренних источников тепла и теплопроводности. Численное решение поставленной краевой задачи проводится в двумерной постановке для осевой симметрии лагранжевым методом Джонсона Г.Р., обобщенным на случай больших деформаций и разрушения материала на фрагменты посредством введения в расчетную часть модели механизмов расщепления расчетных узлов и разрушения расчетных элементов. Специально для моделирования задач подрыва толстого льда был модифицирован алгоритм расчета контактных и свободных поверхностей [3]. Для проверки достоверности модели и определения необходимых констант решена задача проникания в пресноводный лед стального шарика диаметром 4.5 мм. Скорость удара изменялась от 100 до 200 м/с. В качестве еще одной тестовой задачи решена задача подрыва бесснежного ледяного покрова. Решена тестовая задача о низкоскоростном ударе ледяного цилиндра по алюминиевой пластине [4, 5].

При помощи разработанного программного комплекса решена задача о разрушении ледовой пластины зарядом ВВ, помещенным подо лдом в воде. Расчеты проводились для системы «Лёд – Вода – ВВ» при разных скоростях детонации, массах и способах закладки ВВ. Глубина закладки ВВ задавалась равной 80, 50, 40 и 0 см, массы ВВ – 6, 10 и 14 кг, скорости детонации – 5 км/с и 6.9 км/с.

Полученные результаты позволяют оценить степень поврежденности ледового слоя, определить значения скорости элементов свободной поверхности льда и величину давления в любой точке воды и льда в зависимости от заглубления заряда ВВ.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 19-08-01152.*

### **Список литературы**

1. Богородский В.В., Гаврило В.П. Лед. Физические свойства. Современные методы гляциологии. Л, Гидрометеиздат, 1980, 383 с.
2. Глазырин В.П., Орлов Ю.Н., Орлова Ю.Н. Анализ пробития преград ледовыми ударниками // Изв. вузов. Физика. – 2013. Т.56. № 7/3. С.41-43.

3. Глазырин В.П., Орлов М.Ю., Орлова Ю.Н. Компьютерное моделирование процесса внедрения крупногабаритного ударника в ледоводные среды // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики, Физико-математическая серия, 2012. Т.282. С. 329-334.

4. Lange, M.A. Ahrens, T.J. Fragmentation of ice by low velocity impact // Proceedings of the 12th lunar and planetary science conference, (1981) V. 2, pp.1667-1687.

5. A. Combesure, Y. Chuzel-Marmot, J. Fabis Experimental study of high-velocity impact and fracture of ice // International Journal of Solids and Structures 48 (2011) 2779–2790.

## **КРАТКИЙ АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ НЕТРАДИЦИОННЫХ СПОСОБОВ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

**Аверин Е.А.**

*ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный завод», Тула*

Известны следующие перспективные технологии разрушения горных пород: разрушение горных пород путем нагревания, например, лазерным или электрическим воздействием, энергией микроволн, химическим воздействием и гидроструйные технологии. Ни одна из них пока не нашла широкого применения в горной промышленности, ограничиваясь лабораторными и полевыми испытаниями. Проанализируем перспективы их использования применительно к ведению горнопроходческих работ.

Нагревание горных пород приводит к появлению в них микротрещин между зёрнами минералов вследствие их различных свойств, возникающих из-за различных коэффициентов расширения составляющих минералов, что при нагревании воплощается в формировании в них внутренних напряжений [1]. Разрушительное действие от описанных эффектов в значительной мере сглаживается существующими в горной породе порами, кавернами, трещинами и другими полостями и нарушениями. В то же время относительно изменений прочностных свойств горных пород разные исследователи получают противоречивые результаты. Известны исследования, показывающие неизменное снижение прочности при любом нагревании до высоких температур и резкое снижение при переходе к сверхвысоким температурам [2]. Но известны также исследования, показывающие, что характер влияния температуры на прочность горных пород имеет не монотонный характер [3].

В настоящее время сферой практического применения результатов рассмотренных выше исследований является защита зданий от пожаров.

Для эффективного разрушения или значительного снижения прочностных свойств горных пород температура должна составлять сотни или даже тысячи градусов. Такие температуры делают невозможным нахождение людей в местах ведения работ, исключают применение данного способа во взрыво- и пожароопасных выработках, отрицательно влияют на надежность средств механизации.

Эффективность воздействия на горные породы энергией микроволн зависит от степени их поглощения материалом. Это воздействие вызывает в породе градиент температуры, который генерирует напряжение, превосходящее ее прочность, что приводит к возникновению и распространению трещин [4]. Способность проводить и поглощать микроволны в диэлектрическом материале описывается комплексной диэлектрической проницаемостью. Поскольку горные породы неоднородны по составу, тепловое поле на уровне зерен также неоднородно, поэтому напряжения вокруг фазовых границ частиц с сильным поглощением микроволн частиц достаточно велики, чтобы инициировать трещины, которые могут далее распространяться в материал [5]. Эти термически индуцированные трещины могут приводить к значительному снижению сопротивления разрушению, например, механическим воздействием. Лабораторные испытания по резанию облученных пород тангенциальными резами показали уменьшение усилия резания примерно на 10% [4]. Учитывая затраты энергии на микроволновое воздействие и ожидаемый повышенный износ инструмента вследствие повышенной температуры в зоне его контакта с породой, перспективы использования данного способа в практике подземных горных работ выглядят сомнительными.

Химическое воздействие, также как и микроволновое, уже сейчас используется при обогащении полезных ископаемых, но при этом вызывает критику относительно своей экологичности и безопасности, поэтому в настоящее время изучаются альтернативы химическому воздействию, основанные на биотехнологиях [6]. На данный момент технологий, основанных на химических или биологических реакциях, которые можно было бы адаптировать для проведения подземных горных выработок, нет.

Из всех нетрадиционных способов и средств разрушения горных пород наиболее изученными являются гидроструйные технологии, которые развиваются по нескольким направлениям: гидроабразивное резание, разрушением материалов водными (обычно высокого и сверхвысокого давления), водополимерными и гидроимпульсными струями. Разрушение материалов посредством гидроструйных технологий происходит вследствие создания напряжений, превышающих пределы

прочности подвергающихся воздействию высокоскоростных струй воды материалов. Широкому внедрению гидромеханического способа разрушения препятствует высокая энергоемкость процесса, в несколько раз превышающая показатели стандартного механического разрушения. В связи с этим возникает необходимость в повышении производительности разрушения струями воды при тех же исходных параметрах. Вариантом повышения эффективности разрушения горных пород без увеличения гидравлической мощности высоконапорного оборудования является изменение характера ее воздействия на породный массив, что может быть достигнуто за счет создания и применения импульсных струй воды [7] или гидроабразивных струй [8].

В целом проведенные в России и за рубежом испытания гидромеханических исполнительных органов проходческих комбайнов и опыт их эксплуатации позволили установить эффективность и перспективность гидромеханического способа разрушения и выделить следующие его основные преимущества [7-9]: расширение области применения проходческих комбайнов на более прочные породы; снижение усилий резания и подачи на 40-60% и на 60-70% соответственно при разрушении горных пород резовым инструментом; уменьшение крутящего момента и потребляемой мощности на рабочем органе в 1,3-2,2 раза; повышение скорости проходки в 1,5-5 раза без увеличения установленной мощности двигателя исполнительного органа; уменьшение расхода механического инструмента в 2-6 раз; увеличение производительности комбайна при работе по прочным породам в 1,7-2,2 раза при сохранении массы и габаритов машины; уменьшение пылеобразования на 70-85% и искрообразования на 90-100%; снижение вибрации; уменьшение расходов на проходку на 30-50%.

Таким образом, нетрадиционные способы разрушения горных пород используются для решения множества практических задач в горном деле и строительстве. Однако применительно к проведению подземных горных выработок реальными перспективами обладают только гидроструйные технологии.

### Список литературы

1. Jansen D.P. и др. Ultrasonic imaging and acoustic emission monitoring of thermally induced microcracks in Lac du Bonnet granite // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. – 1993. – Т. 98. – С. 22231-22243.
2. Wu Z. и др. Experimental study on mechanical character of sandstone of the upper plank of coal bed under high temperature // *Yanshilixue Yu Gongcheng Xuebao*. – 2005. – Т. 24. – № 11. – С. 1863-1867.

3. Zhang L.Y., Mao X.B., Lu A.H. Experimental study on the mechanical properties of rocks at high temperature //Science in China Series E: Technological Sciences. – 2009. – Т. 52. – № 3. – С. 641-646.

4. Hartlieb P., Grafe B. Experimental Study on Microwave Assisted Hard Rock Cutting of Granite //BHM Berg-und Hüttenmännische Monatshefte. – 2017. – Т. 162. – № 2. – С. 77-81.

5. Wang Y., Djordjevic N. Thermal stress FEM analysis of rock with microwave energy //International Journal of Mineral Processing. – 2014. – Т. 130. – С. 74-81.

6. Akcil A. Destruction of cyanide in gold mill effluents: biological versus chemical treatments //Biotechnology Advances. – 2003. – Т. 21. – № 6. – С. 501-511.

7. Поляков А.В. Разработка способов и средств повышения эффективности работы исполнительных органов проходческих комбайнов на базе гидроструйных технологий: Дисс. ... докт. техн. наук: 05.05.06. Тула: ТулГУ. 2014. 328 С.

8. Averin E. Universal method for the prediction of abrasive waterjet performance in mining //Engineering. 2017. – Т. 3. – №. 4. С. 888-891.

9. Мерзляков В.Г., Бафталовский В.Е. Физико-технические основы гидроструйных технологий в горном производстве. М.: ННЦГП-ИГД им. А.А. Скочинского, 2004. 645 С.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В УДАРООПАСНОМ МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ**

**Цой Д.И., Рассказов М.И., Терешкин А.А., Гладырь А.В.**

*ИГД ДВО РАН – обособленное подразделение  
ХФИЦ ДВО РАН, г. Хабаровск*

Важнейшей задачей деформографических наблюдений является обнаружение предвестников землетрясений и горных ударов, которые могут выступать в качестве спускового механизма высокоэнергетических сейсмических событий в удароопасном горном массиве.

Наряду с быстрыми сейсмическими волнами, генерируемыми в результате разрушения твердой породы, существуют медленные деформационные волны, сопровождающие процесс распространения энергии упругой деформации посредством взаимодействия отдельных блоков [1].

Как показали работы исследователей [2-4] деформационно-волновые процессы в земной коре, являются триггерным механизмом различных высокоэнергетических сейсмических событий (землетрясений, горных ударов и т.д.). Одновременно, они могут являться предвестниками этих событий. Актуальной становится задача их обнаружения и регистрации.

Проблема снижения риска техногенных катастроф при крупномасштабных горных работах актуальна для Дальневосточного региона России [5], где разрабатываются месторождения, опасные по горным ударам [6]. К числу предприятий, эксплуатирующих удароопасные месторождения, относится ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» (ПАО «ППГХО», юго-восточное Забайкалье).

Деформационные исследования факторов, оказывающих влияние на горные удары и проявления техногенной сейсмичности, выполнялись с применением лазерного деформографа, входящего в состав геодинамического полигона Стрельцовского рудного поля в юго-восточном Забайкалье (ПАО «ППГХО») [7].

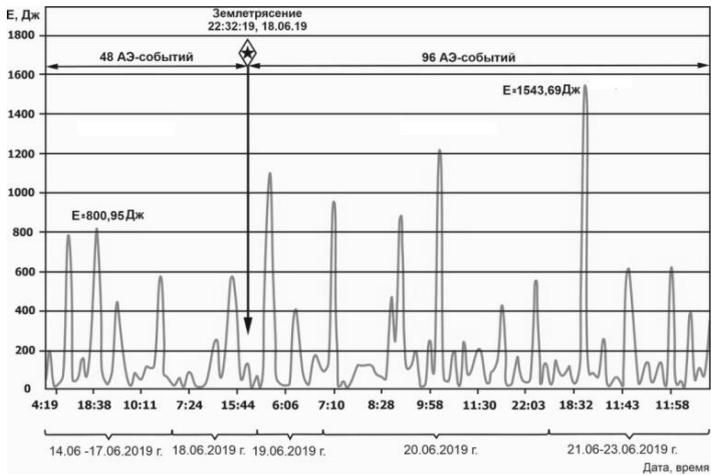
Деформограф установлен в подземной горной выработке на глубине 300 м и обеспечивает высокоточные измерения деформационного поля в инфразвуковом диапазоне в рудничном поле и прилегающих участках массива горных пород [8]. Интерферометр способен регистрировать смещения земной коры с точностью до 0,1 нм в частотном диапазоне от 0 до 1000 Гц [9].

Представляет интерес оценка влияния на геомеханическое состояние массива месторождения Антей крупного удаленного землетрясения магнитудой 6,6, произошедшего на западном побережье Хонсю (Япония), 18 июня 2019 г. в 22:22:18 местного времени (время в г. Краснокаменске на 9 ч отличается от всемирного времени). Время прихода этих колебаний 22:32:19. Время задержки составило 10 мин, при этом рассчитанная «кажущая» скорость деформационной волны равна 3425 м/с (расстояние от очага землетрясения до деформографа составляет 2055 км).

На рисунке 1 приведен график, где по оси абсцисс отложено время, по оси ординат энергетический параметр и стрелкой отмечено время землетрясения.

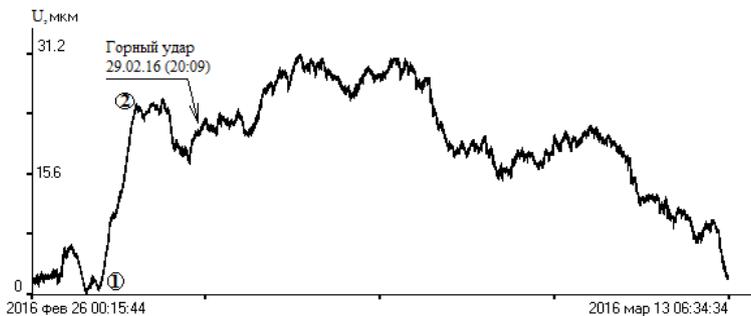
С помощью геоакустической системы «PROGNOZ ADS» удалось зафиксировать то, что в течение 5 суток до землетрясения выявлено 43 АЭ-события с максимальной энергией 800,95 Дж. В течение последующих 5 дней после землетрясения число событий увеличилось более чем в 2 раза и энергия возросла до значений 1543,69 Дж.

В период с 2016 по 2019 год, деформографом были зарегистрированы многочисленные землетрясения различной магнитуды, в результате которых также наблюдалось увеличение сейсмоакустической активности [10, 11]. Таким образом, сейсмические волны от удаленных землетрясений оказывают существенное влияние на геомеханическое состояние массива горных пород, вызывая повышение сейсмоакустической активности в 2 раза и более, и могут выступать в роли триггера для крупных разрушительных геодинамических явлений.



**Рис. 1. График геоакустической активности до и после землетрясения в течение 10 суток**

С точки зрения исследования возможности регистрации предвестников сейсмособытий в горном массиве особый интерес представляет анализ деформационных сигналов, сопутствующих горному удару в контролируемой деформографом зоне, зарегистрированному 29 февраля 2016 года (рис.2).



**Рис. 2. Двухнедельная запись лазерного деформографа**

Запись деформационного сигнала от горного удара лазерным деформографом охватывает интервал времени от 26 февраля до 13 марта 2016 года. Децимация при анализе сигнала порядка 10 000, что определяет частотный диапазон анализа до 50 МГц.

Интересным представляется участок записи, отмеченный цифрами 1 и 2. Его следует интерпретировать, как значительное сжатие горного массива, предшествующее горному удару. Цифра 1 – начало сжатия – 27 февраля 13 часов 33 мин. Цифра 2 – окончание сжатия – 28 февраля 19 часов 57 мин. Таким образом, примерно за 1,5 суток до удара зафиксировано аномальное поведение горного массива в зоне контроля лазерного деформографа. Далее, вплоть до 13 марта лазерный деформограф регистрирует разгрузку массива и возвращение к первоначальному состоянию, зарегистрированному 26 февраля.

### **Выводы**

С участием лазерного деформографа для высокоточных измерений параметров деформационного поля оценено влияние удаленных землетрясений, и проанализировано поведение горного массива перед, во время и после горного удара. При анализе поведения горного массива в преддверии горного удара, в отличие от работ предыдущих авторов, в данной работе представлено зарегистрированное лазерным деформографом аномальное поведение деформационного поля в низкочастотной области в рабочей полосе часто до 50 мГц за 1,5 суток до горного удара, которое может служить предвестником высокоэнергетического сейсмического события.

### **Список литературы**

1. Луговой В.А., Рассказов И.Ю., Цой Д.И. Исследование возможности регистрации медленных деформационных волн лазерным деформографом // XI Всероссийский симпозиум «Физика геосфер», ФГБУ «Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева» ДВО РАН. Владивосток, 9-14 сентября 2019г. – С. 129-133.
2. Кочарян Г.Г., Костюченко В.Н., Павлов Д.В. Инициирование деформационных процессов в земной коре слабыми возмущениями // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т. 7, № 1. – С. 5-22.
3. Опарин В.Н. и др. Методы и системы сейсмодеформационного мониторинга техногенных землетрясений и горных ударов. Т.1,2.—Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009.
4. West M., J.J. Sanchez, S.R. McNutt: «Periodically Triggered Seismicity at Mount Wrangell, Alaska, After the Sumatra Earthquake»; Science, vol. 308, p. 1144–1146, 2005.
5. Чебан А.Ю., Секисов Г.В., Хрунина Н.П., Соболев А. А., Угай С.М. Перспективы развития Дальневосточного региона и экологические аспекты ведения горных работ // Журнал: системы, методы, технологии. – 2015. – 3(27). – С. 156-161.
6. Igor Rasskazov, Vladimir Lugovoy, Denis Tsoy and Alexander Sidlyar. The analysis of conditions of geodynamic process activation and manifestation of

technogenic seismicity on underground mines of the Far East region // The 5<sup>th</sup> International Conference, Sadovsky Institute of Geospheres Dynamics of Russian Academy of Sciences, Moscow, 2019. – P. 379-386.

7. Рассказов И.Ю., Петров В.А., Гладырь А.В., Тюрин Д.В. Геодинамический полигон Стрельцовского рудного поля: практика и перспективы // Горный журнал. – 2018. – № 7. – С. 17-21.

8. Рассказов И.Ю., Долгих Г.И., Луговой В.А., Долгих С.Г., Цой Д.И. Результаты геодинамического мониторинга с применением лазерного деформографа в районе Стрельцовского рудного поля // X Всероссийский симпозиум «Физика геосфер», ФГБУ «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева» ДВО РАН. Владивосток, 23-29 октября 2017г. – С. 106-110.

9. Цой Д.И., Рассказов М.И., Терешкин А.А. / Технические возможности лазерного деформографа при размещении в подземной горной выработке // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. – 2018. – С. 136-139.

10. Lugovoi V.A., Rasskazov I.Yu., Tsoi D.I., Rasskazov M.I., Sidlyar A.V. / The research of remote earthquakes impact on the intensity of geomechanical processes in burst-hazardous rock massif // VII International Scientific Conference «Problems of complex development of georesources» (PCDG 2018), Khabarovsk, 25-27 сентября 2018г.

11. Vladimir Lugovoy, Grigoriy Dolgikh, Denis Tsoy, Andrey Gladyr and Maksim Rasskazov. A study of the trigger effect in a rock burst-hazardous rock massif by laser interferometry // The 5<sup>th</sup> International Conference, Sadovsky Institute of Geospheres Dynamics of Russian Academy of Sciences, Moscow, 2019. – P. 357-366.

## **О ДИНАМИКЕ ПРОЦЕССА ЗАТОПЛЕНИЯ ПОДРАБОТАННЫХ МАССИВОВ**

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

*РАНИМИ, г. Донецк, ДНР*

В работах [1-3] разработан и реализован новый интегральный подход к оценке пустотности подработанного массива в различных горно-геологических условиях для решения актуальных гидрогеомеханических задач. Предложенный подход основан на идее сравнения объемов выработанного пространства и мульды сдвижения на земной поверхности. Анализ полученных результатов позволил выявить закономерности и установить типовые распределения значений коэффициента пустотности.

Актуальность данной задачи связана с реализацией программы реструктуризации угольной промышленности Донецкой народной республики, когда получение достоверных значений коэффициента пустотности является определяющим при расчете времени и скорости за-

топления, что, в свою очередь, лежит в основе составления достоверного гидрогеологического прогноза.

Суть проделанной работы заключалась в следующем. Для оценки остаточной пустотности массива в условиях крутого падения было проведено имитационное моделирование. Геометрия выработанного пространства по падению горных пород изменялась с учетом типичной погоризонтной отработки (шаг 110 м), по простиранию – от 500 м до 2000 м. Угол падения горных пород  $60^\circ$ . Особо подчеркнем, что полученные оценочные значения являются интегральными для областей массива больших размеров, охватывающих всю глубину разработки. Например, при средней глубине ведения горных работ 655 м, вентиляционный штрек находится на глубине 50 м, а откаточный на глубине 1210 м («объединенной лавы»). Для каждого расчетного варианта вычислены значения объема лавы и мульды сдвижения и рассчитаны значения коэффициента пустотности [4].

На основании полученных данных построены графики распределения коэффициента общей пустотности  $k_n$  в зависимости от глубины разработки для различных размеров выработанного пространства по простиранию (рисунок 1). Отметим, что с учетом технологии ведения горных работ в условиях крутого падения, длина «объединенной лавы» однозначно определяется глубиной разработки, а длина выемочного столба варьируется, как представлено на графиках (рисунок 1).

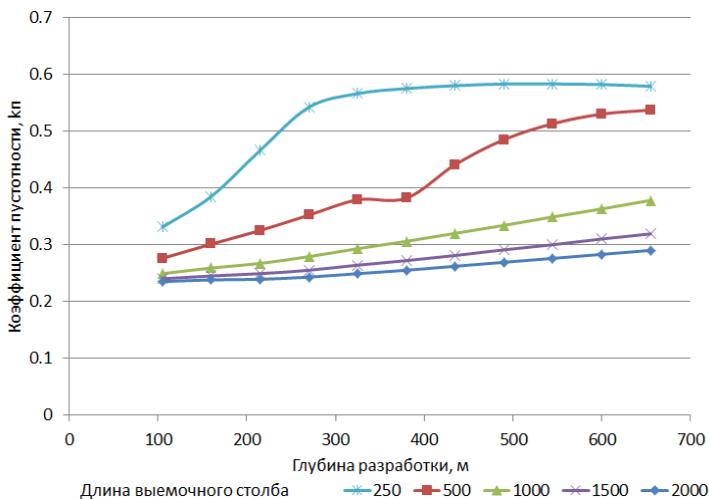


Рис. 1. Графики изменения  $k_n$  от глубины разработки

Анализ полученных результатов позволил выявить линейную закономерность в характере распределения значений  $k_n$  для выработанного пространства больших размеров по простиранию (полная подработка) в зависимости от глубины разработки. Так для выработанного пространства с длиной выемочного столба: 2000 м  $-k_n$  изменяется в диапазоне 0,23-0,29; 1500 м  $-k_n$  изменяется в диапазоне 0,24-0,32; 1000 м  $-k_n$  изменяется в диапазоне 0,25-0,38 и демонстрирует стабильный рост с увеличением глубины отработки.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что глубина горных работ оказывает решающее влияние на формирование остаточной пустотности. Следует подчеркнуть следующее обстоятельство. При неизменных размерах выработанного пространства по простиранию значения коэффициента пустотности с увеличением глубины демонстрируют стабильный рост. Численные значения  $k_n$  для «больших» лав при увеличении средней глубины разработки со 100 до 650 м увеличивается с 0,23 до 0,38, а «малых» лав с 0,28 до 0,58. При этом полученные зависимости изменения остаточной пустотности от глубины разработки, могут быть использованы для определения  $k_n$  на различных интервалах глубин, что является чрезвычайно важным при разработке достоверного гидрогеомеханического прогноза в части оценки времени «включения» гидравлических связей на различных горизонтах. Например, если полученное интегральное значение остаточной пустотности для области массива равно 0,3, то интервальные значения  $k_n$  для различных глубин могут варьироваться от 0,1 до 0,5, что кардинальным образом изменяет временную картину и масштабы затопления выработанного пространства.

Для верификации разработанного подхода вычислены значения коэффициента пустотности на основе экспериментальных данных по ряду шахт, работавших в условиях крутого падения. Экспериментальные значения коэффициента пустотности получены на основании фактических данных об объемах выработанного пространства, уровнях и сроках затопления ликвидированных шахт Центрального района Донбасса. Так по шахте им. К.А. Румянцева в интервале глубин 700-1100 м  $k_n=0,43$ , по шахте «Кондратьевка» в интервале глубин 700-900 м  $k_n=0,47$ . По шахтам им. А.И. Гаевого и им. Карла Маркса в интервале глубин 350-500 м  $k_n=0,1$ , по шахте «Красный Профинтерн» в интервале глубин 400-500 м  $k_n=0,17$ , по шахте «Юный Коммунар» в интервале глубин 450-500 м  $k_n=0,06$ .

Расчитанные по фактическим данным значения  $k_n$  подтверждают выдвинутую идею об изменении остаточной пустотности массива с глубиной, хорошо коррелируются с полученными теоретическими кривыми и свидетельствуют об универсальности сформулированного инте-

грального подхода к оценке остаточной пустотности подработанного массива в условиях крутого падения горных пород. Данное обстоятельство позволяет перейти от оценочных значений пустотности массива в целом, к решению широкого ряда гидрогеомеханических задач, что востребовано в практике 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. Василевичкий // 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, Н.А. Дуброва // Труды РАНМИ: 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, Н.А. Дуброва // ТРУДЫ РАНМИ: сб. научн. трудов. – Донецк, 2019. – № (23) (часть 1). – С. 339-351.
4. ГСТУ 101.00159226.001 – 2003. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом [Текст]. – Введ. 01.01.2004. – К. : 2004. – 128 с.

## **АКТИВАЦИЯ МАССОПЕРЕНОСА ВОДОРОДОСодержащих КОМПОНЕНТ В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ**

**Стариков Г.П., Шажко Я.В., Шажко О.В., Кравченко А.В.**

*ГУ «ИФГП», г. Донецк, ДНР*

Установлена степень техногенного влияния волны разгрузки в моделируемом трещиновато-пористом угольном массиве на термодинамическое состояние системы уголь-газ, представленной в виде функционала свободной энергии, учитывающего температуру, концентрацию молекул метана и параметром, характеризующем интенсивность из взаимодействия с угольным веществом и оценена кинетика движения волны разгрузки в сплошной среде, контактирующей со свободным пространством. [1] В результате ее численного решения установлено, что в зависимости от скорости волны разгрузки и вязкости трещиновато-пористой среды в в среднем на 65 % возрастает открытая пористость за счет превращения части закрытых пор в трещины, интенсифицируя фильтрацию метана.

Установлены закономерности эволюции локального повышения температуры эквивалентной энергии формоизменения в моделируемом угольном массиве на уровень эффективной диффузии метана и по степени изменения фильтрационной и диффузионной ее составляющей и времени их релаксации обосновать критерий прогноза скрытых выбросоопасных ситуаций [2].

Установлено, что результате объемного неравнокомпонентного воздействия на угольное вещество интенсифицируется выход водородсодержащих компонент, опереждаемых методами термогравиметрии и ЯМР спектроскопии, в частности для угрожаемых и выбросоопасных пластов их количество возрастает в 1,7-1,8 раза и идентифицируется как твердофазная вода. У невыбросоопасных пластов этот эффект отсутствует. Происходит диаметрально противоположный процесс – уменьшение выхода твердофазной компоненты, а энергия активации дегидратации твердофазной воды с ростом кинетики энергии формоизменения у выбросоопасных пластов уменьшается на 25-60%, а у невыбросоопасных возрастает в среднем на 35%.

### **Список литературы**

1. Стариков Г.П., Шажко Я.В., Кравченко А.В., Шатохин С.В., Хачеватская Н.В. Влияние импульсного нагружения на энергию активации десорбции углеводородных компонент угля. Труды РАНИМИ: сб. научн. Трудов. – Донецк, 2017. – №4. – С. 230-239.

2. Стариков Г.П., Юрченко В.М., Мельник Т.Н., Подрухин А.А. Кинетика фильтрации и выделения метана на поверхность при прекращении ведения работ в угольных шахтах / Материалы IV Международной конференции «Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» – Донецк, 31 октября 2019 г. – Т. 1, Ч. 2 – С.33-36

## **ПРОГНОЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОДНЫХ ОБНАЖЕНИЙ ПО ЭНЕРГИЯМ ИХ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ И ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ДЕГИДРАТАЦИИ ТВЕРДОФАЗНОЙ ВОДЫ, И ФАЗОВОМУ СОСТАВУ ПОРОДООБРАЗУЮЩЕГО КВАРЦА**

**Стариков Г.П., Самойленко З.А., Шатохин С.В.**

*ГУ «ИФГП», г. Донецк, ДНР*

Повышение достоверности методов прогнозирования механизмов разрушения горных пород, обуславливает необходимость создания нового научного подхода к его обоснованию, базирующегося на учёте

влияния вида напряжённого и деформационного состояния, энергии формоизменения, энергии дегидратации адсорбированной и твердофазной воды, фазового состояния и концентрации кварца.

Существующие классические и статистические теории прочности к осадочным горным породам, характеризующиеся дефектностью структуры и большим различием пределов прочности на сжатие и растяжение неприемлемы. Прямое экспериментальное определение механических процессов, происходящих в натуральных условиях в горном массиве, как правило сопряжено со значительными техническими трудностями и многообразием взаимовлияющих факторов.

Имеется ряд признаков, свидетельствующих о том, что вода в породах может содержаться в виде кристаллогидратов (твёрдой фазы), образовавшихся в процессе эволюции и способных диссоциировать с выделением жидкой фазы.

Фактически можно предположить, что локальное скопление водородосодержащих кристаллогидратов в горной породе, в зоне влияния объёмного неравнокомпонентного нагружения, за счет ведения горных работ, может диссоциировать и инициировать процесс формирования и развития зоны разрушения завершающимся вывалом.

Кинетику разрыва межатомных связей в том числе и при диссоциации твердофазной воды были развиты С.Н. Журковым и Н.С. Николопяном [1, 2, 3]. Согласно теории С.Н. Журкова долговечность твёрдых тел определяется энергией активации их самодиффузии и напряжения растяжения в зависимости от температуры.

В тоже время результаты исследования Н.С. Николопяном и сотрудников, свидетельствует что разрушение (взрыва) кристаллогидратов зависят только от напряжений сжатия и сдвига и не зависят от температуры от температуры т.е. энергия активации равна нулю. В таблице 1 [3] приведены результаты исследования реакции кристаллогидратов на давление сжатия в интервале температур от  $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Анализ представленных результатов свидетельствует, что увеличивается количество кристаллогидратной воды в твёрдом теле  $\geq 10\text{H}_2\text{O}$  в среднем требует величины кристаллического давления в 3,5 раза меньше, чем при содержании в твёрдых телах (2-4)  $\text{H}_2\text{O}$ .

Фактически такой уровень снижения критического давления у кристаллогидратных соединениях приводит к дегидратации по типу  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$ , а эндотермичность реакции определяет энергии дегидратации с образованием воды в жидком состоянии.

Таблица 1

## Взрывные реакции [3]

№ п.п.	Вещество	Давление взрыва · 10 <sup>-2</sup> МПа		
		- 78 °С	20 °С	80 °С
1	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	7.5	7.5	7.0
2	CuCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	15	8	7,5
3	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	3	3	*
4	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	4	4	*
5	MgSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	7	7	7
6	ZnSO <sub>4</sub>	21	19	16
7	NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	9	10	5.5
8	CoSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	7	6	4.5
9	FeSO <sub>4</sub>	15	23	15
10	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	7.5	9.5	**
11	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O	8.5	3.5	*
12	Kal(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O	7	6.5	5
13	Cr <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	25	26	***
14	KCr(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	23	25	18
15	(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	8	5	5

\* нет взрывов, образец обводняется

\*\* два последовательных взрыва при давлениях 3 и 5 · 10<sup>2</sup> МПа

\*\*\* взрыв происходит только при сбрасывании давления, при сжатии до 25 · 10<sup>2</sup> МПа

Приведенные результаты могут использоваться для объяснения локальности вывалообразования при проведении горных выработках, в частности – степень вывалоопасности функционально должна зависеть от количественного содержания твердофазной воды.

Для исследований отбирались образцы пород (песчаник, песчано-глинистый сланец, алевролит, аргиллит) непосредственной кровли угольных пластов на шахтах «Прогресс», им. М.И. Калинина, им. А.Ф.Засядько, Яблоневская, им. А.А. Скочинского.

Установлено, что в результате объемного неравнокомпонентного воздействия на горные породы, аналогичного напряженно-деформированного состояния горного массива, интенсифицируется выход водородосодержащих флюидов, измеряемых методами термогравиметрии и ЯМР спектроскопии и определен температурный интервал, обеспечивающий максимальную дегидротацию твердофазной воды.

При этом у горных пород (песчано-глинистый сланец) не склонных к вывалообразованию, выход твердофазной воды возрастает в среднем на 15%, а у склонных к вывалообразованию на 30%.

Установлено, что степень флюидонасыщенности горной породы (содержание твердофазной воды), в условиях запредельного состояния определяет механизм ее разрушения, в частности, приоритетным становится обобщенное растяжение.

Установлено, что наиболее вероятно, вывалы связаны с фазовым переходом твердофазной воды в жидкое состояние, охрупчивая горную породу по типу эффекта Ребиндера и при соотношении энергетических показателей, энергии дегидратации к формоизменению меньше единицы, горные породы вмещающие угольные пласты, склонны к внезапным обрушениям.

Установлено, что в зонах вывалообразования, концентрация бета-кварца, более прочного но хрупкого, на 10-15% превышает концентрации более пластичного альфа-кварца. При таком их соотношении возрастает вероятность внезапного обрушения пород кровли в подготовительных выработках

### **Список литературы**

1. Журков С.Н. Кинетическая концепция прочности твердых тел // Вестн. АП СССР. – 1968. – № 3. – С.46-52.
2. Регель В.Р., Слуикор А.И., Томошевский Э.Е. Кинетическая теория прочности твердых тел // Успехи физических наук, 1972 т. 106 вып. 2 – С. 193-243.
3. Ениколопан Н.С., Мхитарян А.А., Карагезян А.С. Сверхбыстрые реакции разложения в твердых телах под давлением //ДАН СССР Изд-во Наука т. 288 №3 1986. – С. 657-660.

## **ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОКОЛОСТВОЛЬНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ВОДОНАСЫЩЕНИИ**

**Терлецкий А.М., Рожко М.Д.**

*РАНИМИ, г. Донецк, ДНР*

Процесс ликвидации нерентабельных шахт в Донбассе был начат более 20 лет назад. За это время экологический баланс, который складывался столетиями добычи угля, кардинально изменился. Ситуация осложнилась активными боевыми действиями в регионе – шахты стали аварийно затапливаться. Вследствие этого обширные площади ранее подработанных территорий испытывают различные последствия процесса ликвидации: подтопление, провалообразование, повреждение гражданских и промышленных зданий и сооружений и т.д.

Уменьшение негативного влияния данных явлений возможно с помощью управления гидрогеологическим режимом. В связи с этим экономически целесообразно использование водоотливных комплексов с погружными насосами для защиты от подтопления и возможных деформаций зданий и сооружений

Для управления уровнями затопления на ликвидируемых шахтах выстраивается система водоотлива, которая объединяет между собой несколько шахт, связанных гидравлически, при этом один из вертикальных стволов используется для откачки воды. При создании водоотливного комплекса ключевым является выбор наиболее устойчивого ствола (скважины), что обосновано необходимостью установки в нем оборудования и эксплуатации в условиях затопления. Алгоритм принятия такого решения рассмотрен в [1].

Проблема поддержания выработки в сложных горно-геологических условиях всегда была актуальной в работе специалистов РАНИМИ [2-4]. Но в условиях водонасыщения околоствольного массива сложилась уникальная ситуация – необходимость поддержания горной выработки в затопленном состоянии, для чего потребовались дополнительные исследования всего комплекса факторов, влияющих на устойчивость выработки.

Для выбора и определения мероприятий, обеспечивающих длительное безремонтное поддержание затопленной выработки необходимо с достаточной точностью оценить влияние водонасыщения на напряженно-деформируемое состояние (НДС) околоствольного массива горных пород как в процессе затопления, так и в условиях дальнейшего поддержания.

Данные изменения имеют различный характер. Наиболее очевидными являются негативные последствия, связанные с потерей прочности вмещающих поддерживающих выработку пород. Тем не менее, на длительное поддержание стволов изменение НДС водонасыщенного массива горных пород оказывает и компенсирующее влияние.

Для полноты исследований в рамках существующих нормативных документов [5] изучались все возможные изменения НДС при затоплении горных выработок.

При проведении горных выработок происходит значительное перераспределение напряжений внутри массива, формирование зон повышенного горного давления, причем концентрация напряжений в них часто превосходит естественный уровень в 3-5 раз, а при совместном влиянии – и более. Размер данных зон и величины напряжений в них прежде всего зависят от физико-механических свойств вмещающих пород. При водонасыщении изменяются прочностные, деформационные и

реологические свойства вмещающих пород, а также процессы взаимодействия пород с крепью.

Горные породы не являются идеально упругими или идеально пластическими, в результате при их нагружении всегда наблюдается наряду с упругой деформацией, в той или иной степени, пластическая. Таким образом, напряженно-деформированное состояние обводненного горного массива можно характеризовать как упругопластическое с более выраженными пластическими свойствами.

В результате изменения физико-механических свойств массива в процессе водонасыщения нарушается сложившийся баланс в системе «крепь-массив», что проявляется в увеличении радиального давления, снижении неравномерности нагрузок от давления пород на крепь ствола за счет роста гидростатического давления, а также снижении концентрации напряжений от очистных и подготовительных выработок вследствие увеличившейся пластичности обводненного массива.

Ослабление водонасыщенных пород, учитываемое коэффициентом разупрочнения (табл.3.3 [5]) практически во всех случаях увеличивает коэффициент слоистости массива ((4.16) [5]).

С другой стороны, нормативный коэффициент неравномерности, при водонасыщении стремящийся к 1 ((4.9) [5]), может уменьшаться в 2-2,75 раза по сравнению с необводненными породами.

При поддержании затопленных стволов определяющими являются пластические свойства пород, которые характеризуются модулем упругости  $E$  и коэффициентом Пуассона  $\mu$ . Установлено [6], что при водонасыщении модуль упругости горных пород снижается на 24-35 %, а коэффициент Пуассона возрастает на 18-27 %. Для инженерных расчетов модуля упругости целесообразно использовать известные зависимости его от прочностных свойств с учетом их изменения при водонасыщении [7].

Данные изменения вносятся в методику расчета НДС при любом уровне затопления стволов, что позволяет определить нагрузки при каждом конкретном уровне затопления, а также изменения фактических радиальных нагрузок и соответствие им несущей способности крепи в течение всего периода затопления, т.е. выполнять имитационное моделирование. Моделирование производится путем определения всех расчетных параметров при изменении глубины затопления с небольшим шагом – от 10-20 м на протяженных участках в мощных однородных породных слоях до 0,5-1,0 м на наиболее сложных участках.

Методику расчета НДС, уточненную с учетом крайних исследований, целесообразно использовать на ответственных участках стволов – сопряжениях с примыкающими выработками, участках со значительными литологическими разностями и в рабочей зоне погружных насосов.

Установлено, что при поднятии уровня затопления с глубины 1200 м до 200 м, в процессе водонасыщения средний модуль упругости пород массива снижается на 11-26 %, коэффициент Пуассона возрастает на 6-20 %, величина зоны опорного давления уменьшается на 9-22 %. Вследствие этих изменений коэффициент концентрации очистных работ на различных участках уменьшается на 4-11 %.

### Список литературы

1. Дрибан, В.А. Алгоритм принятия решений при использовании вертикальных шахтных стволов в водоотливных комплексах с погружными насосами /В. А. Дрибан, Б.В. Хохлов, А. М. Терлецкий, С. В. Голдин, М. Д. Рожко // Труды РАНИМИ: сб. науч. тр.- № 8 (23).– Ч.1.– 2019.- С.255-272
2. Дрибан, В.А. Концентрация напряжений в околоствольном массиве горных пород // Геология и геохимия горючих ископаемых. – № 4. – 1998. – С. 64-70.
3. Дрибан, В.А. Оценка напряженного состояния околоствольного массива // Горная механика. – № 1.– 1999. – С.9-12.
4. Дрибан, В.А. Об одном пути потери устойчивости горной выработки / Наукові праці УкрНДМІ НАН України: зб. наук. пр. – Донецьк, 2011. – № 9 Ч. I. – С. 309-335
5. КД 12.01.01.201-98 Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания. – Утв. Минуглепромом Украины 25.06.98. – Донецк: УкрНИМИ, 1998. – 154 с.
6. Питаленко, Е.И. Влияние увлажнения горного массива на активизацию геомеханических процессов при закрытии угольных шахт./ Е. И. Питаленко, В. В. Васютина, В. Н. Ревва / Наукові праці УкрНДМІ НАН України: зб.наук.пр. – № 8. – 2011. – С. 117-127.
7. Карташов, Ю.М. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов, Б.В Матвеев, Г.В. Михеев, А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1979. – 270 с.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ В СЛОЖНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ НА ПРИМЕРЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТИИ

Айнбиндер И.И., Пацкевич П.Г., Красюкова Е.В.

*ИПКОН РАН, г. Москва*

Ценность и ограниченность ресурсов кимберлитовых месторождений обуславливает ведение горных работ в сложных горно-геологических условиях криолитозоны, наличием высоконапорных водоносных горизонтов, соляных пластов, комбинированной разработкой.

Добыча кимберлитовой руды в Якутии ведется в условиях наличия таких факторов, как водные объекты и галогенные породы, области ослабленных пород и зон повышенного горного давления, ситуация осложняется наличием отработанных карьеров непосредственно над рудниками, на дне которых, зачастую, образовывается водный объект, породам поддающийся ликвидации. Применение традиционных методов расчетов для установления границ опасных зон в сложившихся обстоятельствах не обеспечивает приемлемый уровень риска при анализе безопасности.

Основным способом защиты рудников является оставление барьерных целиков, предохраняющих подземные горные выработки от затопления. В таких условиях особое значение имеет характер и величина деформаций массива горных пород.

Ранее расчеты по определению размеров барьерных целиков между открытыми и подземными горными работами на кимберлитовых месторождениях Якутии основывались преимущественно на методике, использующей высоту зоны водопроводящих трещин и величину допустимого остаточного столба воды в отработанном карьере, представленной зависимостью [3]:

$$H_{\sigma} = 0,23 \frac{m_{эф}}{\varepsilon_{кр}} + 0,2y,$$

где:  $m_{эф}$  – средняя эффективная мощность рудной залежи;  $\varepsilon_{кр}$  – критическая деформация;  $y$  – высота столба воды в карьере;

Методика базируется на представлении о плавной деформации подрабатываемой плиты (целика). Критерием безопасности при этом является критическая деформация растяжения, при достижении которой начинается формирование секущих водопроводящих трещин. Данный метод расчета справедлив в условиях, когда породы массива относятся к устойчивым и среднеустойчивым при слоистом заложении осадочных пород. Опыт разработки кимберлитовых трубок «Интернациональная», «Айхал», «Мир», «Удачная», показал, что фактическая устойчивость пород выработки меньше предполагаемой, о чем свидетельствуют результаты физико-механических испытаний свойств горных пород и отсутствие устойчивости рудных обнажений. Вследствие этого возникает необходимость в разработке методики по установлению параметров барьерных целиков от водных объектов и проходке в них горизонтальных и наклонных горных выработок для условий, когда породы характеризуются как неустойчивые, и учитывающую принятую технологию сооружения горных выработок на кимберлитовых месторождениях Якутии. Установление параметров опасных зон обуславливает необходимость максимально точно оценить возможные риски и выделить факто-

ры, оказывающие наибольшее влияние на безопасность, что позволит найти оптимальный метод расчета, обеспечивающий приемлемый уровень риска при минимальных размерах целиков, то есть минимальных потерях запасов ценной кимберлитовой руды.

В ходе проведенных исследований были выявлены механизмы и установлены пространственные закономерности развития процессов деформирования, сдвижения и разрушения массивов руд и пород при проведении подготовительных выработок и ведении очистных работ вблизи поверхностных и подземных водных объектов, в том числе высоконапорных. Предложен метод комплексного учета структурного состояния массива, предварительного техногенного воздействия, влияния осложняющих горно-геологических и гидрогеологических факторов при обосновании параметров опасных зон и барьерных. Показана необходимость применения риск ориентированного подхода при оценке вероятности и масштаба последствий аварийных ситуаций, обусловленных развитием геомеханических и гидрогеологических процессов при ведении подземных горных работ.

Результатом проведенной работы является реализованная методика расчета параметров опасной зоны от водного объекта, которая базируется на механизмах развития геомеханических процессов, но выбор ее происходит после оценки состояния толщи массива.

Для оценки устойчивости массива предлагается использовать показатель MRMR, характеризующий склонность массива к обрушению в конкретных горно-геологических условиях и индекс геологической прочности (GSI) при математическом моделировании. На сегодняшний день в мировой практике рейтинговая классификация Д. Лобшира (MRMR) является наиболее многофункциональной и практичной. Корректное применение системы дает хорошие результаты и широко используется при проектировании в Австрии, Южной Африке, Соединенных Штатах, Индии и Европе. Вместе с тем, как показал практический опыт, каждый расчет должен выполняться для конкретной части массива горных пород. Усреднение большого диапазона рейтингов неизбежно приведет к ложному количественному показателю.

Установление параметров барьерных целиков от водных объектов и проходка в них горизонтальных и наклонных горных выработок в условиях разработки кимберлитовых месторождений Якутии предлагается производить на основе расчета, полученного исходя из параметров развития свода обрушения пород, приводящего к нарушению массива целиков. Расчетная схема базируется на механизме развития обрушения, при котором разрушение пород происходит под действием собственного веса вследствие слабых связей структурных блоков между собой.

Такой механизм характерен для нарушенных массивов с низкой устойчивостью к растягивающим напряжениям.

В рассматриваемом методе расчет предлагается производить на основе риск-ориентированного подхода для двух сценариев развития:

- аварийного, когда происходит полное разрушение выработки;
- проектного, когда происходит образование локальных вывалов в кровле выработки.

Таким образом, представляемый подход позволяет наиболее полно учесть условия подработки при установлении параметров опасных зон для обеспечения безопасности подземных горных работ в сложных гидрогеологических и геомеханических условиях без получения расчетных данных, для определения которых требуется производить длительные и трудоемкие манипуляции.

### **Список литературы**

1. Айнбиндер И.И., Пацкевич П.Г., Красюкова Е.В. Параметры и характеристики опасных зон под дном отработанных карьеров, затопленных выработок и напорных водоносных горизонтов при освоении кимберлитовых месторождений Якутии // Материалы докладов Международной конференции, г. Магнитогорск, 2019. – 369 с.

2. Bakhtavar E, Oraee K & Shahriar K (2010) Determination of the Optimum Crown Pillar Thickness Between Open Pit and Block Caving In: Proceedings: 29th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia: Dept. of Mining Engineering, College of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University. 29th International Conference on Ground Control in Mining, 27.7.2010 – 29.7.2010, Morgantown, West Virginia, USA, pp. 325-332.

3. Иофис М.А., Мальцева И.А. О сдвигении горных пород при комбинированной разработке коренных месторождений алмазов // Маркшейдерский вестник. 2002. № 2. С. 29-31.

## **УСЛОВИЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОТЯЖЕННОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ**

**Дрибан В.А., Хламов Д.М.**

*РАНИМИ, г. Донецк, ДНР*

Одной из наиболее актуальных современных проблем угольной промышленности Донбасса является обеспечение долговременной устойчивости горных выработок. Ухудшающиеся условия поддержания выработок, связанные, прежде всего, с постепенным увеличением глубины работ, приводят как к усугублению существующих проблем с устойчивостью выработок, так и к появлению новых. В работе [1] пока-

зано, что формирование клина вдавливания в приконтурном массиве является одной из основных причин потери устойчивости протяженных горных выработок. Для разработки эффективных и обоснованных мер противодействия этому явлению необходимо не только изучить механизм [2, 3], лежащий в его основе, но и знать степень склонности приконтурного массива к клинообразованию.

Необходимо отметить, что с ростом глубины горных работ и соответствующим увеличением напряжений в массиве породы без заметного изменения основных характеристик, приобретают некоторые новые особенности поведения. Например, угли и песчаники проявляют склонность к внезапным выбросам только с определенной глубины. При этом гораздо более прочные песчаники и выбросоопасными становятся на значительно больших глубинах. Таким образом, очевидно, что при исследовании как горных пород склонности к клинообразованию, так и их выбросоопасности речь должна идти не столько о собственно характеристиках пород, сколько о некоторой последовательности состояний геоматериалов и критериях разграничения данных состояний. Критерии же следует искать в сочетании прочностных характеристик пород и действующих напряжений на соответствующем участке горного массива, с учетом их концентрации вблизи выработок.

В основе работ лежит гипотеза [4], что *даже минимальные геометрические неровности на контуре горной выработки могут приводить к значительным возмущениям в поле напряжений и соответственно деформаций*, полностью подтвержденная в предыдущих работах [2, 3, 5]. Основываясь на этом, а также описании механизма, лежащего в основе процесса клинообразования [2], в качестве пограничного критерия склонности приконтурного массива к клинообразованию было выбрано *равенство расчетных деформаций на контуре выработки и в ядре аномалии в начальной стадии процесса смещений*.

В качестве инструмента был выбран уже хорошо себя зарекомендовавший в предыдущих исследованиях [2, 3, 5] метод конечных элементов (МКЭ) и его программная реализация комплекс Ansys. Объект исследования – горная выработка круглого сечения радиусом 1 м, пройденная в однородном изотропном массиве с нарушением контура в виде клина высотой 10 мм и углом вдавливания  $90^\circ$ .

Все модели представляют собой плоский вертикальный разрез однородного изотропного горного массива размером  $100 \times 100$  м с выработкой в центре или без нее. Модельные задачи решались в упруго-пластической постановке, модель поведения материала – приближение Друкера-Прагера к закону Кулона-Мора. Общими для всех моделей являются следующие параметры: модуль Юнга – 10 ГПа; коэффициент

Пуассона – 0,3. Сцепление и угол внутреннего трения изменялись в зависимости от заданной прочности материала. Во всех моделях задавались идентичные краевые условия: для левой и нижней грани – запрет нормальный перемещений; для верхней и правой граней – равномерная распределенная нагрузка.

Расчеты велись для следующих значений прочности материала: от 10 до 140 МПа с шагом 10 МПа и от 140 до 240 МПа с шагом 20 МПа. Углы внутреннего трения изменялись от 10 до 70° с шагом 10°.

По результатам расчетов моделей выработки с нарушением ее контура были построены графики, указанного выше критерия, для всего расчетного диапазона прочностей массива в координатах: ось абсцисс – угол внутреннего трения в градусах; ось ординат – внешняя нагрузка в МПа. Полученные графики имеют очень высокую степень подобия. Естественно предположить, что в основе этих кривых лежит одна и та же функция, а разница определяется коэффициентом, связанным с прочностью материала. Такая функция была найдена (см. формулу 1). Новое семейство кривых, представленное на рис. 1.

$$f(\varphi) = \frac{P_{\text{равн}}}{R_c} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $\varphi$  – угол внутреннего трения, градус;  $P_{\text{равн}}$  – значения внешней нагрузки, при котором достигается равновесное состояние деформаций на контуре и в ядре аномалии, МПа;  $R_c$  – заданная прочность материала в модели, МПа.

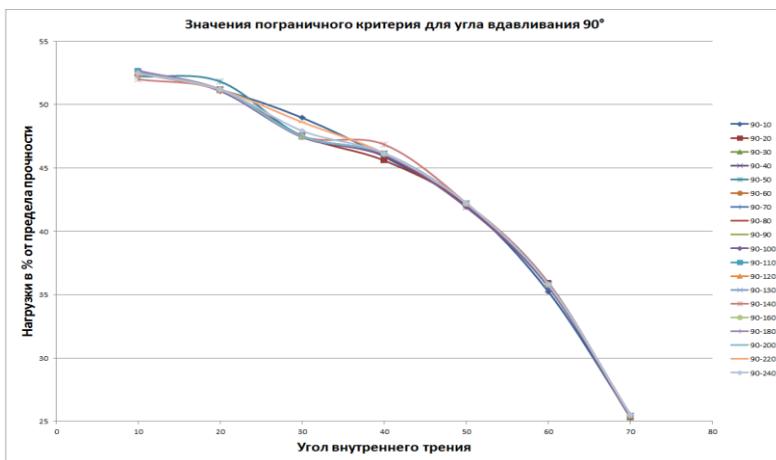


Рис. 1. Графики частных равновесных нагрузок от прочности в %

Получившиеся кривые отображают «шум» вокруг строгой зависимости, вполне объяснимый погрешностями расчетов и ошибками в определении исходных данных. Максимальный разброс расчетных значений наблюдается в точке 30°, но и здесь среднее отклонение не превышает 0,27%.

Если ограничится реалистичным диапазоном значений угла внутреннего трения, характерных для горных пород Донбасса (до 40°), можно сделать вывод, что при уровне напряжений в массиве уже около 50% от его прочности (в модели Кулона-Мора) на контуре горной выработки возможно формирование клина вдавливания. Так же чем больше соотношение действующих в массиве напряжений к его прочности, тем выше вероятность формирования клинообразных структур в приконтурном слое горных выработок.

### **Список литературы**

1. Дрибан, В.А. Об одном механизме потери устойчивости горной выработки / В.А. Дрибан, Д.М. Хламов // Сб. научных трудов РАНИМИ – 2018. – №6 (21). – С. 107 – 124.

2. Дрибан, В.А. Потеря устойчивости горной выработки, при формировании клина вдавливания / В.А. Дрибан, Д.М. Хламов // Сб. научных трудов РАНИМИ – 2016. – №2 (17). – С. 16 – 33.

3. Дрибан, В.А. Об одном критерии потери устойчивости горной выработки / В.А. Дрибан, Д.М. Хламов // 2-я Международная научная школа (конференция) академика К.Н. Трубецкого Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. – М.: ИПКОН РАН. – 2016. – С. 60–63.

4. Дрибан, В.А. Об одном подходе к оценке устойчивости массива горных пород вокруг выработок / В.А. Дрибан // 36. науч. пр. УкрНДМІ НАНУ.– Донецьк, 2010. – № 7 – С. 211 – 223.

Дрибан, В.А. О влиянии пластических деформаций на устойчивость горной выработки / В.А. Дрибан, Д.М. Хламов // 36. науч. пр. УкрНДМІ НАН України, № 15, м. Донецьк, 2015. – С. 117–132.

## **ЗНАЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОДВИЖНЫХ ЗОНАХ МЕТАМОРФИЗМА**

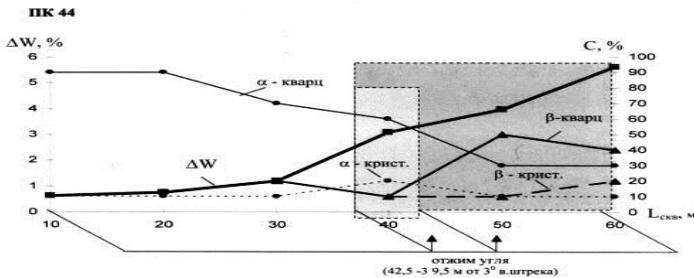
**Борщ Т.В., Прокофьева Л.Н.**

*ГУ «ИФГП», г. Донецк, ДНР*

Основой исследования было выявление последовательности метаморфических событий в подвижных областях. Предусматривается исследование связи процессов метаморфизма с тектоникой, температурой, давлением, с учетом особенностей проходящих изменений с сохранением твердого состояния.

Исходя из анализа литературных данных по проявлениям метаморфизма, мы можем охарактеризовать последовательность метаморфических событий и найти закономерную их связь с динамическими процессами. Известно, что метаморфизм представляет собой геологическое явление, протекающее в конкретной геологической обстановке, и его нужно рассматривать во взаимной связи с причинной обусловленности с другими явлениями. Первая причина это тектоника, метаморфизм здесь, как правило, приурочен к складчатым структурам. Важная особенность данного процесса заключается в том, что вдоль складчатых зон в одних и тех же стратиграфических толщах пород обнаруживаются различные степени метаморфизма. Формирование данных подвижных зон характеризуются определенными закономерностями. Ранняя зона – пригибание, здесь господствуют вулканогенные процессы, происходит переслаивание пород, средняя зона – превращение в минералогический складчатый пояс, вулканогенные процессы затихают, происходит накопление терригенных осадков, сопровождающиеся образованием разрывов, трещин, поздняя зона – завершение складчатого, геосинклинального пояса и по завершению складчатого пояса появляется крупная фаза складчатости. Однако считается, что в зонах, которые глубоко погружены не свойственно завершение складчатого развития и такого типа подвижные зоны с различными этапами доинверсионного и послеинверсионного развития и связан различный по характеру и интенсивности метаморфизм. Особое внимание уделяется обратному процессу метаморфизма. В подвижных зонах породы из нижних зон перемещаются в верхние зоны, т. е. мы наблюдаем схему кругооборота метаморфических пород и процессов в результате поднятий, опусканий, перемещение толщ из одной глубинной зоны в другую, и поэтому многие складчатые сооружения имеют несколько складчатых поясов, каждый из которых связан с этапом метаморфизма. Вторая причина – это тепловые потоки и распределение температур. Известно, что метаморфизм горных пород происходит при температуре от 200°C до 850-900°C. Вопрос о температурном режиме Земли и его эволюции во времени является сложным. По данным Е.А. Любимовой [1], предполагается, что возможно на определенном отрезке истории Земли на глубине 100-700км было проявление расплавленного слоя, следы которого подтверждены геофизическими факторами. Для верхних слоев Земли (сиалического пояса) мы можем судить о термическом режиме на основе геотермического градиента, который разнообразен в различных участках коры. Геотермический градиент повышается в молодых геосинклинальных зонах и связан он с привнесом тепловой энергии в подвижные зоны из подкорovy глубинных слоев. При этом в подвижных областях происходит неравномерный привнос тепловой энергии из за разломов, следова-

тельно, нарушается и термическое равновесие. Как считают У.С. Файф и Дж. Ферфуген [2] метаморфизм далеко «ненормальное» явление и он проходит только там, где возможны термальные нарушения и увеличения тепловых потоков газо-водных, флюидных. Третьей причиной является давление в подвижных зонах, в которых нарушено гравитационное поле, что вызывает нарушение термического и химического равновесия. С этим можно связать появление уплотнений в одних участках и разуплотнения в других. Перестройка кристаллических решеток в толщах горных масс именно поэтому и происходит в подвижных зонах, т.к. нарушены термические и химические равновесия, также могут возникать сверхдавления из-за перемещения горных масс, потоков растворов. Для подвижных зон метаморфизма характерны неравные давления, причем наряду с сверхвысокими давлениями в процессе дифференциального междупластового перемещения в расслаиваемых толщах возникают участки растяжений – вакуумов. Как видно из выше сказанного значение динамических факторов в развитии процессов метаморфизма велико; перемещение горных масс в процессе складкообразования вызывает смену теплового и газового режимов, оно оказывает решающее влияние на распределение и перемещение породных масс и метаморфизирующих агентов.



**Рис. 1. Изменение фазового состояния кварца (C, %) в песчанике пласта I<sub>1</sub> и водородсодержащей компоненты (ΔW, %) по длине скважин пробуренных с 13<sup>0</sup> вен. и 13<sup>0</sup> конв. штреков ПК 44**

Например: реакция «дегазация» описывается схемой минерал = минерал + газ, при которых происходит удаление обладающих высокой подвижностью летучих компонентов; реакция минерал = минерал, приводящая к замене одного минерала на другой. При этом реакции могут протекать как между различными минералами, так и приводить к полиморфным превращениям, наглядный пример песчаник, исследованный по пробам из технологических скважин на пикетах. Результаты представлены (выборочно) на рис. №1 и в таблице №1 [3].

Таблица 1

**Результаты исследования фазового состояния кварца  
и водосодержащей компоненты в песчанике, ПК44**

№ скважины	Интервал отбора проб, м	Потери массы, %	Содержание модификаций кварца в песчанике, %				
			$\alpha$ кварц	$\beta$ кварц	$\alpha$ кристоболит	$F_2S_2$	$\beta$ кристоболит
13 <sup>0</sup> в/штр. ПК 44	10	1,6	90	-	10	-	-
	20	1,3	90	-	10	-	-
	30	1,9	70	20	10	-	-
	40	3,8	60	10	20	-	10
	50	5,3	30	50	10	-	10
	60	7.3	30	40	10	-	20

Как правило, большинство закономерностей физико-механических явлений и процессов в массивах горных пород описывается с помощью методов математической статистики. Для установления объективных закономерностей необходима обширная информация об исследуемых явлениях и процессах, трудность получения которой существенно усугубляется сложностью и трудоемкостью проникновения в массив горных пород. Знание характеристики полей напряжений в земной коре играют заметную роль при прогнозе возникающих динамических явлений, при выборе в управлении состоянием горного массива. Практическая ценность информации о подвижных зонах и сопровождающем ее метаморфизме раскрывают новые перспективы обнаружения месторождений метаморфогенного класса, затрагивают фундаментальные основы геологических знаний, а также могут широко использоваться на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации подземных сооружений.

### Список литературы

1. Любимова Е.А. Термика Земли и Луны. М.: Наука, 1968. – 279 с
2. Файф У., Тернер Ф., Ферфуген Дж. Метаморфические реакции и метаморфические фации. Из-во иностр. лит.; Перевод с английского Д.К. Власовой и др.; Под ред. и с пред. Д.С. Коржинского, М.: 1962. – 414 с.
3. Отчет о научно-исследовательской работе ГУ «ИФГП» Прогнозирование механизма деформирования и разрушения песчаника  $1_1Si_2^1$  с учетом водородосодержащих компонент при отработке 13-й восточной лавы и обоснование рекомендаций скорости разгрузки горного массива, Стариков Г.П., – Донецк: 2007. – 59 с.

# **ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ И ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА РУДНИКАХ АО «АПАТИТ»**

**Рассказов М.И., Гладырь А.В., Цой Д.И., Потапчук М.И.,  
Терёшкин А.А.**

*ИГД ДВО РАН – обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН,  
г. Хабаровск*

Проблема управления горным давлением является одной из наиболее сложных и важных задач при подземной разработке месторождений полезных ископаемых. Отличительной чертой динамических проявлений горного давления, особенно горных и горно-тектонических ударов, является их внезапность и большая разрушительная сила. Они наносят большой материальный и социальный урон горнодобывающим предприятиям, приводят к длительным (на несколько месяцев) остановкам добычи полезного ископаемого из-за необходимости вести масштабные восстановительные работы на больших площадях шахтного поля [1-2].

В России находится целый ряд рудных месторождений склонных и опасных по горным ударам. АО «Апатит» обрабатывает ряд месторождений апатит-нефелиновых руд, характеризующихся сложными геомеханическими и удароопасными условиями, к их числу относятся Ку-кисвумчоррское и Расвумчоррское месторождения, на которых зарегистрирован весь спектр динамических проявлений горного давления, вплоть до разрушительных горных ударов с тяжелыми последствиями, и проблема их предотвращения стоит весьма остро. Не смотря на относительно небольшие глубины ведения горных работ на данных месторождениях отмечен весь спектр динамических проявлений горного давления в виде стрельаний, динамического заколообразования пород и горно-тектонических ударов. В связи с дальнейшим понижением горных работ прогнозируется рост количества и интенсивности этих опасных геодинамических явлений.

На данных месторождениях применяется система разработки с отбойкой из подэтажных штреков с последующим обрушением целиков. Высота между подэтажными выработками – 24-30 м. Расстояние между буровыми выработками 25-30 м. На каждый блок (или несколько блоков) проходится вентиляционно-сборочный штрек, который выходит на блоковый вентилятор для организации исходящей струи при очистных работах [3].

Для контроля состояния горного массива и прогноза опасных проявлений горного давления, при введении горных работ, на «Объединен-

ном Кировском» и «Расвумчоррском» рудниках применяются различные методы и средства, в том числе разработанная в институте горного дела сейсмоакустическая система контроля горного давления «Prognoz-ADS» и локальный прибор «Prognoz-L» [4-9].

Оценка геомеханического состояния массива горных пород по данным сейсмоакустического контроля с применением автоматизированной системы контроля горного давления (АСКГД) «Prognoz-ADS» является одним из наиболее перспективных направлений прогноза и предупреждения внезапных разрушений целиков и горных выработок. АСКГД «Prognoz-ADS» предназначена для непрерывной регистрации в массиве горных пород импульсов сейсмоакустической эмиссии в частотном диапазоне 0,5...12 кГц, определения их параметров (энергии, координат, спектральных и иных характеристик акустических событий) и представления результатов мониторинга в форме каталогов, карт, графиков и т.п. с применением современных программных средств 3D визуализации. Измерительно-вычислительный комплекс позволяет выделять и контролировать параметры акустически-активных и потенциально опасных зон, проводить оценку геомеханического состояния массива горных пород [4-7].

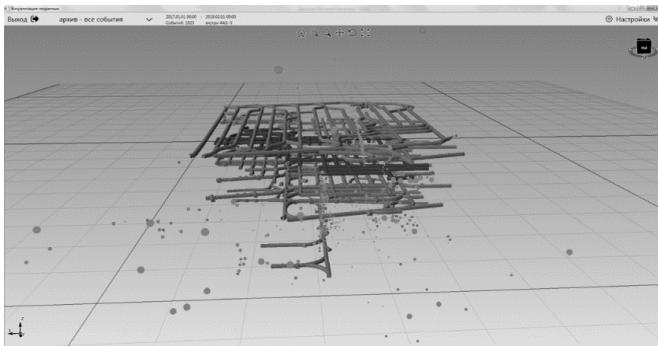
Система «Prognoz-ADS» разработана на базе современных микропроцессорных, программных и геоинформационных технологий, включая высокопроизводительные компьютеры со специальным программным обеспечением.

Портативный прибор «Prognoz-L» предназначен для локальной экспресс-оценки геомеханического состояния краевых частей горного массива и приконтурных участков подземных горных выработок и применяется как самостоятельно, так и совместно со стационарными автоматизированными многоканальными системами контроля горного давления для верификации результатов регионального прогноза горных ударов и техногенной сейсмичности [8-9].

По результатам сейсмоакустического контроля формируется база данных параметров геоакустической активности в контролируемой зоне. Содержащаяся информация в базе данных постоянно пополняется и является основой для осуществления текущего и перспективного прогноза шахтного поля рудника и отдельных его участков. По результатам измерений строятся карты сейсмоакустической активности, горно-геологические модели, отражающие процесс перераспределения напряжений в массиве под влиянием природно-техногенных факторов, определение сейсмоакустических активных зон (рис. 1).

Параметры акустической активности в опасных зонах подтверждались показаниями прибора локального контроля горного давления

«PrognozL» Высокая амплитуда регистрируемых импульсов АЭ свидетельствует о начале процессов объединения (кластеризации) мелких трещин в более крупные, что указывает на формирование удароопасной ситуации в массиве горных пород на данных месторождениях.



**Рис. 1. Объёмная горно-геологическая модель «Объединенного Кировского» рудника с результатами сейсмоакустического мониторинга**

Вывод: Важным преимуществом АСКГД «Prognoz-ADS» является возможность заблаговременного, на ранней стадии, выявления очагов подготовки опасных геодинамических событий, что позволяет принять необходимые меры безопасности по их предотвращению. Надежность прогноза обеспечивает применение портативных приборов «Prognoz L», с помощью которого можно ввести локальный контроль удароопасности краевых частей массива.

### **Список литературы**

1. Рассказов И.Ю. Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. – М.: Издательство «Горная книга», 2008.
2. Куранов А.Д., Багаутдинов И.И., Котиков Д.А., Зуев Б.Ю. / Комплексный подход к прогнозу устойчивости предохранительного целика при слоевой системе разработки запасов Яковлевского месторождения // Горный журнал. 2020. №1. С. 115-119. DOI: 10.17580/gzh.2020.01.23
3. Чебан А.Ю. Технология разработки крутопадающих рудных тел с применением дистанционно управляемого горного оборудования // Маркшейдерский вестник. 2019. №2. С. 56-60.
4. Rasskazov, M. The research of burst hazard of the rocks massif of Rasvumchorr mineral deposit according to seismoacoustic monitoring / M. Rasskazov, A. Gladyr, A. Tereshkin, A. Rasskazova, D. Tsoy, A. Konstantinov // E3S Web of Conferences. 2019. – № 129, 01022. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912901022>.

5. Гладырь А.В., Корчак П.А., Стрешнев А.А., Рассказов М.И., Терешкин А.А. Установа автоматизированной системы контроля горного давления «PROGNOZADS» на опытном участке Объединённого Кировского рудника АО «АПАТИТ» // Маркшейдерия и недропользование – 2019. – № 4 (102). – С. 52-56.

6. Rasskazov, M. Geomechanical substantiation of measures of safety in the process of development of the Southern Hingansk deposit / M. Rasskazov, A. Rasskazova, M. Potaphuk, A. Tereshkin // Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure Development (ISRM). – 2020. – pp 793 – 799

7. Рассказов М.И., Гладырь А.В., Терешкин А.А., Цой Д.И. Сейсмоакустическая система контроля горного давления на подземном руднике «Мир» // Проблемы недропользования, 2019. – №2 (21). – С. 56-61.

8. Tereshkin A.A., Rasskazov M.I. Assessment of burst-hazard rock massif by geoaoustic method // Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses (Eurock 2018): Proceedings of the 2018 european rock mechanics symposium (May 22-26, 2018, Saint-Petersburg). – Saint-Petersburg. – 2018. – Vol. 2. – P. 1627-1632.

9. Рассказов М.И., Терешкин А.А., Цой Д.И. Оценка напряжённого состояния массива месторождения «Пионер» на основе акустико-эмиссионного эффекта памяти горных пород // Проблемы недропользования. 2019. – № 2 (21). – С. 62-67.

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЕСТЕСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ГОРНЫХ МАССИВОВ**

**Никитин С.М.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

Особенностью современного этапа развития горной науки является использование структурной петромеханики в области добычи полезных ископаемых на планетах земной группы. Первичными объектами в исследованиях физических эффектов и явлений в недрах космических тел, становятся малые планетные тела – спутники планет, ядра комет, астероиды.

Объявленное в целевых программах разных стран (Китай, Россия, Испания, Франция, США, Япония, Израиль) стремление к использованию внеземных полезных ископаемых, подразумевает строительство на планетах объектов долгосрочного базирования.

В связи с включением в сферу человеческой деятельности космических тел разных размеров, массы и плотности при строительстве в скальных массивах приобретают особую актуальность вопросы прогнозирования устойчивости инженерных сооружений. Поэтому в настоящее

время так важны, разрабатываемые на основе наблюдений рельефа и процессов в недрах космических тел, модели их внутреннего строения.

Согласно последним данным, полученным при наблюдении состояния поверхности ядра кометы Чурюмова-Герасименко, в качестве очагов современной тектонической активности рассматриваются очаговые (фумаролы) и трещинные структуры (линииамты). Можно видеть, что в недрах малых планетных тел высока вероятность интенсивной эндогенной активности, которая наряду с гравитацией определяет напряженное состояние и тектонику тела. При этом наибольшая активность связывается с элементами структуры приповерхностных литосферных масс, являющихся контроллерами месторождений полезных ископаемых.

Разная напряженность гравитационного поля планет коренным образом изменяет соотношение между источниками сил, определяющими характер проявлений горного давления. Так можно предположить, что при строительстве на Меркурии и Марсе, гравитация на поверхности которых в 0,38 раз меньше чем на Земле, устойчивость инженерных сооружений будет определяться проявлениями тектонических сил. В условиях Юпитера основным влияющим фактором будет гравитация, которая на его поверхности превосходит земную в 2,62 раза. А для Плутона в процессах обеспечения прочности и устойчивости сооружений будет иметь основное значение учет вариации физико-механических свойств горных пород, плотность которых, по некоторым оценкам, составляет  $\sim 2 \div 6 \text{ г/см}^3$ .

Специфика строительства будущих внеземных объектов, сопряжена с максимальной безопасностью и экономией ресурсов, чему может способствовать использование горно-технических конструкций, элементами которых могут являться наиболее прочные и устойчивые естественные неоднородности, заложенные тектоникой территорий.

В общем, компетентная в силу металлогенической специализации месторождения структура неоднородностей в совокупности с техногенными элементами (крепь, закладка) составляют основу всей горно-технической конструкции.

Проходка горной выработки буровзрывным способом в большинстве случаев не позволяет оценивать исходное состояние массива, так как впереди забоя и в её бортах формируется область нарушенных взрывами пород. Поэтому становится необходим детальный предварительный анализ геологических условий формирования месторождения с позиций петромеханики, чему способствует литолого-геохимическое районирование с выделением естественных вещественных и структурных неоднородностей (пластов, даек, разломов, штокверковых зон, зон дробления и т.п.). При этом идентифицируются принимающие участие в строении массива

ва структурно-вещественные неоднородности, которые в разной степени проявляются как на земной поверхности, так и под землёй.

В качестве наиболее прочных поверхностных образований могут рассматриваться слабо подверженные экзогенному выветриванию и разрушению блочные стенки или останцы сложенные либо интенсивно сцементированным материалом осадочных пород, типа метапесчаников, либо материалом малых интрузивных тел, типа даек или штоков. Продукты разрушения выходящих на поверхность крупных скальных образований имеют форму сколов крупных блоков, обломки которых достигая в размерах десятков, а тои более метров, сползают по трещинам или разломам по действием собственного веса [Оллиер, Пайн, 2019]. Устойчивость этих образований определяется в основном прочностью горных пород в поле гравитации, уравновешенной подпором толщи нижележащих пород. Напряженно-деформированное состояние этих объектов определяется минералогическим составом и генезисом геоматериала.

Проявление естественной неоднородности массива в подземных условиях носит более сложный характер. Здесь неоднородность имеет скрытый характер и может идентифицироваться либо по литологическому признаку, это вещественная неоднородность, либо инструментально с помощью геофизических методов и натурных эксплуатационных данных, это структурная неоднородность. В качестве элементов неоднородности здесь также выступают тела малых интрузий (дайки), рудные тела типа жил или массивных залежей, разного ранга трещины и разломы, а также их структурные ассоциации, форма и содержание которых отражается генезисом месторождения.

Определяющие устойчивость горных выработок проявления локальной тектонической активизации в подземных условиях связаны с динамикой латентного напряженного состояния массива, обусловленной взаимодействием неоднородностей между собой и нагрузкой со стороны вмещающих структур [Паньков, 2019].

Независимо от глубины залегания рудного тела локализация обрушений в горных выработках может быть связана с зонами инверсий напряжений, после того как горизонтальные тектонические напряжения сравниваются с вертикальными [Ловчиков, Горбацевич 2015], например вследствие гравитационной неустойчивости глубоко залегающих породных масс.

Таким образом, при анализе условий устойчивости горных конструкций можно видеть, что поле тектонических напряжений в массиве столь же неоднородно, как и физико-механические свойства горных пород его слагающих. Кроме того, эксплуатационные данные показывают, что зоны потенциальных обрушений горных выработок, отража-

ющиеся аномалиями в изменчивости горных пород по физическим свойствам носят скрытый характер.

Интерпретация данных картирования рудных полей по физико-механическим свойствам позволяет отметить, что характерные для разных стадий рудообразования особенности разрушения горных пород из зон опасных проявлениями горного давления имеют трансструктурный характер, т.е. аномалии проявляются на всех иерархических уровнях. При этом, предельное состояние, соответствующее пределу прочности, определяемому экспериментально на образцах, соотносится с условиями равновесия состояний дефектной и вещественной фаз материала.

С учетом отмеченных особенностей процедура выбора устойчивого участка массива сводится к сравнению численных характеристик аномалий изменчивости параметров физико-механических свойств горных пород и аномалий деформирования образцов, отобранных в аномальных зонах.

Корреляция параметров аномалий может служить критерием оценки безопасности горно-технических конструкций.

#### **Список литературы**

1. Паньков И.Л. Гравитационные поля напряжений. ФТПРПИ 2016 №5
2. Паньков И.Л. Тектоническое поле ... Известия Тульского ГУ. – Науки о Земле. – 2019 №4., с.292-305.
3. Оллиер К.Д., Пайн К.Ф. Неотектоническое поднятие гор и геоморфология. *Геоморфология*. 2019; (4): 3-
4. Ловчиков А.В., Горбацевич Ф.Ф. О распределении тектонических напряжений в приповерхностных слоях земной коры. /ГИАБ, М., 2015. – С 157-163.

## **СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА ПО УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ МАССИВОВ**

**Крюков В.Г., Потапчук М.И.**

*ХФИЦ Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск*

Цель исследования заключается в систематизации месторождений золота в зависимости от устойчивости вмещающего их массива горных пород, определяющего условия освоения объекта и его предварительную оценку.

Методически исследования заключались в следующем. На месторождениях авторами изучался керн 2-3, иногда 4-7 скважин, выполнялись наблюдения по структурным особенностям. На основе анализа фо-

тодокументации керна скважин, были выделены группы пород и в лабораторных условиях определены параметры физико-механических свойств пород массива (плотность поплавокным методом, одноосное сжатие и растяжение на приборе TopiNORM и др.).

Новые представления внесены в структурный рисунок объектов, который определяется наличием ортогональной системы разломов (Белая Гора, Делькен, Дяппе, Маломырское, Пионер и др.). При этом более четко проявляются рудоконтролирующие разрывные структуры субмеридиональной ориентировки. Зоны субширотного простирания рассматриваются как рудоподводящие и контролирующие структуры. Роль диагональных нарушений заключается в рудораспределении (рудораспределяющие структуры). В качестве рудовмещающих отмечаются нарушения ортогональной и диагональной систем. Наиболее крупные золоторудные месторождения приурочиваются к узлам пересечения разломов субмеридиональной и субширотной ориентировок. Эта же ситуация повторяется на уровне рудных узлов и районов.

Систематика объектов, основанная на структурных особенностях, и свойствах пород обуславливается рядом факторов: глубина формирования (структурные группы), структурный каркас, определяемый сочетанием до- и синрудных нарушений (структурные типы), пространственное положение блоков пород с различными физико-механическими свойствами. На отнесение объектов к тому или иному типу влияет также морфология рудных тел и свойства массива горных пород. В соответствии с обозначенным подходом золоторудные месторождения южной части Дальнего Востока целесообразно объединять в три группы: месторождения, локализующиеся в относительно устойчивом массиве горных пород, средней устойчивости и слабо устойчивых массивах.

Относительно устойчивым массивам горных пород свойствен месторождениям, приуроченным к полям развития кайнозойских плато-базальтов на юге Дальнего Востока России. Покровы эффузивов характеризуются пологими залеганиями и слабой тектонической нарушенностью. Породы, слагающие массив, отличаются монолитностью и высокими прочностными свойствами. К числу таких месторождений относятся Белая Гора, Бухтыанское, Благодатненское, Кабачинское, Полянка и др., расположенные в Нижнем Приамурье Хабаровского края.

Своеобразным эталоном может быть Белая Гора.

*Площадь:* рудное поле – 36 кв. км, месторождение – 2,2 кв. км.

*Структура:* боковой аппарат в Колчанско-Искинском стратовулкане, диаметр бокки около 4,8 км, субмеридиональные и субширотные дизъюнктивы.

*Рудные тела:* штокверк в жерле аппарата, пологая линзообразная залежь, субширотные линзообразные тела (Заячьё, Огородное и др.).

*Перспективные структуры:* радиальные нарушения вулкана (под россыпью Белогорской и др.) кольцевые структуры (Колчанка), штоки во второй жерловине.

*Морфология карьера:* Глубина карьера переменная в зависимости от рельефа и составляет максимальную глубину 40 м в юго-западной части. Высота уступа в погашении – 20 м, рабочего уступа по вскрыше – 5 м; рабочего уступа по руде – 2,5 и 5 м, угол откоса уступа при погашении 70 град, основные параметры карьера по рудной зоне «Пологая» 426×230 м.

Месторождения, характеризующиеся средней устойчивостью вмещающего массива горных пород, представляют наиболее многочисленную группу объектов. Они, чаще всего, приурочиваются к локальным тектоническим нарушениям, имеющим крутые, средние и пологие углы падения в сложно построенных куполах на участках с большим разнообразием горных пород, вмещающих оруденение. Объекты, как правило, характеризуются значительными объемами рудно-метасоматических образований, отличающихся от вмещающих пород существенным разуплотнением, в результате процессов серицитизации и гидрослюдизации эдуктов. В качестве эталона в этой группе рассматривается месторождение Дяппе.

*Площадь:* рудное поле – 64 кв. км, месторождение – 3,5 кв. км.

*Структура:* тектоно-магматогенный купол, диаметр около 6,4 км месторождение – 1,5 км – центральная часть купола.

*Рудные тела:* штокверк в центре структуры, пологая линзообразная залежь в зоне Дяппенской, жилы в западной части, субмеридиональные крутопадающие линзообразные тела

*Перспективные структуры:* кольцевые структуры, штоки

*Физико-механические свойства рудовмещающих пород в сухом состоянии:* интрузивные породы, 16 образцов, плотность 2,75 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 125,6/7,30; осадочные породы, 7 образцов, плотность 2,89 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 92,2/2,62; роговики, 3 образца, плотность 2,89 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 255,0/5,92; рудно-метасоматические образования 15 образцов, плотность 2,73 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 139,5/6,23.

*Морфология карьера:* Глубина карьера на конечном контуре с северо-западного борта достигает 102 м, с юго-восточного 94 м. Высота уступа в погашении – 20 м, угол откоса уступа при погашении 70 град, основные параметры карьера по 550×220 м.

Месторождения третьей группы, которым свойственна слабая устойчивость горных массивов, пользуются относительно умеренной распространенностью. По структурным особенностям выделяется два подтипа: 1) месторождения, локализующиеся в тектонических клиньях (эталон Делькен) и 2) месторождения, локализующиеся в региональных зонах расланцевания (эталон Маломырское). Общим свойством для них является высокая степень трещиноватости пород массива.

*Делькен* имеет площадь: рудное поле – 63,5 кв. км, месторождение – 3,5 кв. км.

*Структура*: тектоно-магмагенный купол диаметром 6,4 км; рудное поле – купол интрузивного массива диаметром около 1,5 км

*Рудные тела*: штокверк в центре, линзообразные залежи и жилы в центре и на западном фланге, линейные штокверки и линзообразные тела по кольцевым структурам.

*Перспективные структуры*: кольцевые нарушения.

*Физико-механические свойства рудовмещающих пород в сухом состоянии*: апоспесартиты, 4 образца, плотность 2,82 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 114,2/-; флюидолиты, 8 образцов, плотность 2,65 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 83,5/3,4; аргиллиты, 17 образцов, плотность 2,73 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 176,9/5,8; аргиллиты полевошпатизированные, 17 образцов, плотность 2,70 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 104,1/5,3; песчаники, 16 образцов, плотность 2,67 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 119,9/6,5; песчаники полевошпатизированные, 10 образцов, плотность 2,66 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 141,6/8,4; рудно-метасоматические образования 7 образцов, плотность 2,70 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 103,6/5,5; аргиллиты давленные, 8 образцов, плотность 2,50 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 100,3/5,5.

*Морфология карьера*: Предварительные параметры карьера: длина по простиранию рудных тел более 2 км, вкрест простирания 1,9 км. На конечном контуре уступы предполагается сдваивать и страивать. Высота рабочего уступа 10 м. Максимальная высота борта, слагающего центральную часть карьера составит более 500 м.

*Маломыр* характеризуется: *площадь* рудного поля – 31,0 кв. км, месторождений: Кварцитовое – 3,1 кв. км, Диагональное (Маломырское) – 2,5 кв. км

*Структура*: тектоно-магмагенный купол диаметр 4,6 км; месторождение Кварцитовое – два интрузивных купола диаметром около 2,6 км.

*Рудные тела*: линейные штокверки, линзообразная залежь рудного тела 55.

*Перспективные структуры:* субширотные нарушения, западный фланг Канавинского интрузивного купола, кольцевые структуры, штоки.

*Физико-механические свойства рудовмещающих пород в сухом состоянии:* гранитоиды, 15 образцов, плотность 2,64 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 108,8/5,10; дациты, 11 образцов, плотность 2,72 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 138,8/6,90; кварц-биотитовые сланцы, 15 образцов, плотность 2,68 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 29,2/1,9; кварцевые метасоматиты, 17 образцов, плотность 2,66 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 109,9/5,4; кварц-полевошпатовые метасоматиты, 16 образцов, плотность 2,72 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 72,0/3,8; березиты, 4 образца, плотность 2,69 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие/растяжение 80,7/3,2.

*Морфология карьера:* Параметры карьера составят в длину около 530 м, в ширину 450 м. Высота сдвоенных уступов на предельном контуре составляет 20 м. Глубина карьера переменная в зависимости от рельефа, в районе профиля 454, проходящего через центральную часть карьера составляет 270 м.

Таким образом, юг Дальнего Востока России известен своей золотоносностью. При этом золоторудным объектам свойственны различные условия формирования и, обусловленное этим, разнообразие структурных факторов, устойчивости массива горных пород. Всё многообразие месторождений сводится к выделению трёх групп объектов с устойчивыми, слабо устойчивыми и неустойчивыми массивами горных пород. Наибольшей распространённостью пользуются месторождения с относительно слабо устойчивыми вмещающими массивами горных пород. Рудные тела преимущественно крутопадающие, малой и средней мощности.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ВТОРИЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРИЗАБОЙНОЙ ЧАСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ПРОХОДКЕ ВЫБРОСООПАСНЫХ ПЛАСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ MAR3D\***

**Еременко В.А.<sup>1</sup>, Умаров А.Р.<sup>1</sup>, Янбеков А.М.<sup>1</sup>, Пуль Э.К.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС», г. Москва

<sup>2</sup> Мирнинский ГОК АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

Рудник «Интернациональный» отнесен к склонным по горным ударам с глубины 1245 м и опасным по газодинамическим явлениям с глу-

---

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

бины 1210 м. При производстве подготовительных горных работ во вмещающих породах с глубины 1190 м происходят внезапные инициированные взрывными работами выбросы пород и газа.

Газодинамические явления, обладающие высокой мощностью, происходят внезапно с интенсивным выделением природных горючих газов, что нарушает технологический процесс горного производства и угрожает безопасности работы персонала рудника. При этом, как правило, отсутствуют предупредительные признаки и предвестники выбросов. Проведена оценка безопасности принятых параметров проведения выработок на основе результатов численного моделирования и расчет влияния выработки на напряженно-деформированное состояние горного массива в условиях ведения горных работ на руднике «Интернациональный». Структура формируемых при проходке выработок вторичных полей напряжений [1-3] (исследование вторичных полей напряжений проводится по тематике гранта РФФ, проект № 19-17-00034) зависит от сценариев выхода на забой бежевого выбросоопасного пласта доломита и серых невыбросоопасных пластов доломита.

Согласно анализу и изучению горно-геологических и горнотехнических условий разработки трубки «Интернациональная» определены необходимые параметры начальной модели горнотехнической системы выработок различного направления, которые могут инициировать выбросы пород и газа.

Модель создавалась на основе принятой в проекте системе выработок в блоках 10-11. В модель входят подготовительные выработки, в условиях проходки спирального съезда СС и автоуклона АУ. Оценка НДС вмещающего массива призабойной части выработок проводилась на основе численного моделирования и количественной характеристики горных пород на глубинах 1210-1730 м в условиях опасности возникновения выбросов пород и газа вызванных действием максимальных напряжений и уникальными свойствами массива.

В качестве параметров построения модели были использованы: высота и ширина выработок, средние мощности выбросоопасного бежевого и серого невыбросоопасного доломита, угол наклона пластов, глубина ведения горных работ, а также действующие напряжения на глубинах 1200 и 1700 м. В расчетах рассматривался литостатический вариант исходного поля напряжений.

Для расчетов и анализа использовался программный комплекс Мар3D, встроенный САПР для построения сложных трехмерных моделей, анализа и визуализации горного давления и упругих деформаций на контуре выработок при различных критериях нарушенности массива горных пород и руд [4, 5].

Прочность массива горных пород также определялась по обобщенному критерию Хука-Брауна с использованием программы RocData. Расчет был сделан для геологического индекса прочности GSI массива 70 и 80, а в разломных зонах 45 и 40, соответственно, для бежевого и серого доломитов. Моделирование напряженно-деформированного состояния вмещающего массива призабойной части выработок в разломных зонах проводилось с уменьшением прочностных свойств массива, находящегося в естественных условиях.

При построении модели НДС вмещающего массива призабойной части выработок СС и АУ выставлялось 14 расчетных сеток. Расчет проводился для шести сценариев пересечения выработками пластов доломита: бежевый доломит находится ближе к кровле выработки (1/3 от высоты), ниже серый доломит; по центру выработки (1/3), выше и ниже серый доломит; ближе к почве выработки (1/3 от высоты), выше серый доломит; ближе к почве выработки (2/9 от высоты), выше серый доломит; ближе к почве выработки (1/9 от высоты), выше серый доломит; ближе к почве выработки (1/27 от высоты), выше серый доломит.

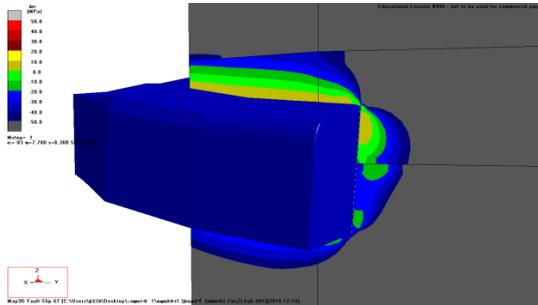
Определялись следующие параметры НДС массива: величина избыточного напряжения  $\Delta\sigma_1$ ; коэффициент запаса прочности КЗП и наименьшие главные деформации  $\varepsilon_3$  развиваются в направлении действия  $\sigma_3$  (рис.).

Проведенный анализ показал, что худший сценарий с точки зрения количественных характеристик напряженно-деформированного состояния выбросоопасного пласта бежевого доломита складывается при выходе его в кровле и в почве выработки.

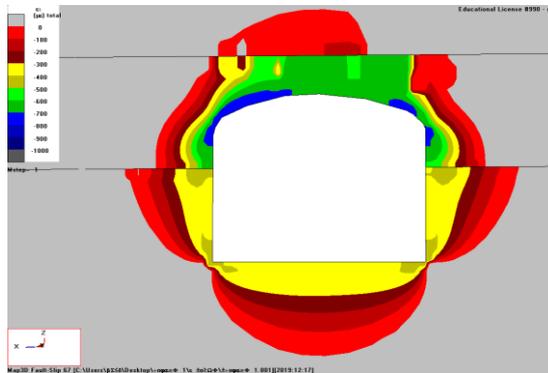
Определено, что в случае, когда выбросоопасный пласт доломита с более низкими прочностными свойствами выходит на забой с кровли или почвы то находится в нагруженном (сжатом) состоянии, газовые коллекторы при этом закрытые. Когда выбросоопасный пласт выходит на забой выработки он частично разгружается, образуются искусственные коллекторы, особенно на контакте разномодульных пород и в зоне опорного давления и происходит раскрытие трещин.

Полученные критические значения микродеформаций позволили выявить потенциально опасные области массива, породы из которых выбрасывает в выработку во время ГДЯ при проведении взрывных работ. Хорошо в модели позиционируется местоположение этих зон и их размеры, которые в настоящее время эффективно калибруются в шахтных условиях при проведении ретроспективного анализа произошедших событий.

а)



б)



**Рис. Результаты моделирования СС на глубине 1210 м от земной поверхности:**

- а) избыточные напряжения  $\Delta\sigma_1$  по сетке 1.1 по сценарию 1 и главные растягивающие деформации  $\epsilon_3$ , по сетке 1.2 по сценарию 1;  $-50 \div 50$  МПа – избыточные напряжения;  $0 \div -1000$  – микродеформация.**

### Список литературы

1. Cai M., Kaiser P. K. Rockburst Support: Reference Book. – Sudbury: Laurentian University, 2018. Vol. 1. Rockburst Phenomenon and Support Characteristics. – 284 p.
2. Li C. C. Principles of rockbolting design // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2017. Vol. 9. Iss. 3. P. 396–414.

3. Еременко В.А., Айнбиндер И.И., Пацкевич П.Г., Бабкин Е.А. Оценка состояния массива горных пород на рудниках ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель». – ГИАБ. – № 1. – 2017. – С. 5-17.

4. Лушников В. Н., Сэнди М. П., Еременко В. А., Коваленко А. А., Иванов И. А. Методика определения зоны распространения повреждения породного массива вокруг горных выработок и камер с помощью численного моделирования // Горн. журнал. – 2013. – № 12. – С. 11-16.

5. Map3D. Available at: <http://www.vap3d.com/>

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОБНАЖЕНИЙ КАРКАСНЫХ ГОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО МЕТОДУ МЕТЬЮЗА-ПОТВИНА В УСЛОВИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОЛЯНОГО РУДНИКА\*

Хажыылай Ч.В.<sup>2</sup>, Еременко В.А.<sup>1</sup>, Умаров А.Р.<sup>2</sup>, Янбеков А.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИТУ «МИСис»,

<sup>2</sup>РУДН, г. Москва

Для оценки устойчивости обнажений очистных камер и выработок, а также конструктивных элементов разрабатываемых каркасных систем в условиях развития вторичных полей напряжений на примере проектирования параметров разработки соляных месторождений предлагается использовать на стадии проектирования горных работ метод графов устойчивости, разработанный К.Е. Метьюзом и И. Потвиным [1, 2].

Исследование вторичных полей напряжений при ведении горных работ системами разработки различного класса проводится по тематике гранта РФФИ по проекту № 19-17-0034.

Показатель устойчивости  $N$  (Метьюза-Потвина) определяется с помощью четырех составляющих:  $Q'$ ,  $A$ ,  $B$  и  $C$ .

Модифицированный К. Метьюзом рейтинг массива горных пород определяется по формуле:

$$N = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot A \cdot B \cdot C$$

где  $RQD$  – коэффициент нарушенности массива;  $J_n$  – коэффициент, характеризующий количество систем трещин;  $J_r$  – коэффициент, характеризующий шероховатость поверхности стенок трещин;  $J_a$  – коэффициент, характеризующий сцепление поверхностей стенок трещин;  $A$  – коэффициент, учитывающий прочность и напряженное состояние пород (прочность на сжатие в массиве/касательное напряжение);  $B$  – коэффи-

---

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

циент, учитывающий ориентацию трещин (нарушений) по отношению к обнажению всяческого бока;  $C$  – коэффициент, учитывающий угол падения (наклон) поверхности обнажения.

Проведена оценка устойчивости камер (камерная система разработчи без закладки) и каркасной горной конструкции для нескольких сценариев при определенных максимальных значениях действующих напряжений в массиве и характера залегания систем трещин [3-5]. В расчетах по соляным массивам представлен консервативный подход, выбрана одна система трещин для камер, но следует отметить, что в исследуемых массивах галитов, полигалитов и полиминеральных солей при геотехнической оценке кернов (12 геотехнических скважин) на Илецком и Нивенском месторождениях трещиноватость в основном не регистрировалась.

Определен коэффициент качества соляного массива исследуемых обнажений  $RQD=75$ , коэффициент числа систем трещин  $J_n=3$  (регистрируется одна система трещин и случайная трещина).

Коэффициенты  $J_r$  и  $J_a$  равны 4 и 2 соответственно, так как трещины перрывистые и разрывные со слегка измененной стенкой.

Количественная оценка качества искусственного массива в каркасах показала следующее:  $RQD=98$  (не трещиноватый массив);  $J_n=0,5$  (трещин нет или случайные);  $J_r = 4$ ;  $J_a = 0,75$  (твердое и непроницаемое заполнение).

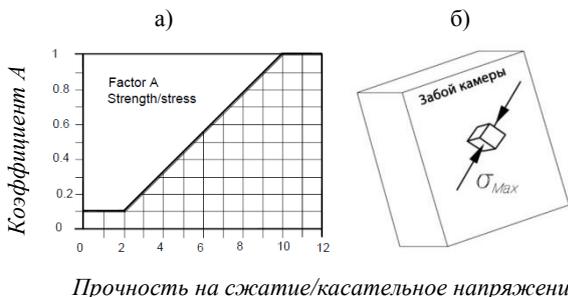
Свойства искусственного массива в каркасах, в состав которой входит песок, хвосты обогащения и цементный раствор

Предел прочности на сжатие	8 МПа
Модуль деформации (Юнга)	2800 МПа
Сцепление	1.7809 МПа
Угол внутреннего трения	42°
Коэффициент Пуассона	0.3

Коэффициент  $A$  учитывает соотношение прочности каменной соли и действующих в массиве максимальных напряжений  $\sigma_{max}$ . Он заменил параметр в системе Бартона SRF для более точного определения влияния напряжений, действующих в массиве вокруг выработок и камер на больших глубинах. Кроме того, в коэффициенте учитывается прочность на одноосное сжатие UCS соли в массиве. Величины максимальных действующих напряжений на контуре горных выработок и камер определялись с помощью численного моделирования в программном комплексе Map3D.

Для определения коэффициента  $A$  необходимы два параметра (рис.):

- максимальное действующее в центральной части исследуемой камеры во вторичном поле касательное напряжение;
- предел прочности на одноосное сжатие в массиве.



**Рис. Определение коэффициента А по методике К.Е. Мэтьюза (а), максимальное действующее в центре исследуемой камеры во вторичном поле касательное напряжение (б)**

Значение максимального действующего касательного напряжения определялось с помощью численного моделирования напряженного состояния соляного массива.

На глубине проектируемых параметров горных работ свыше 1 км от земной поверхности прочность на одноосное сжатие солей в массиве равна  $\sigma_{сж} = 33-35$  МПа, а максимальное действующее напряжение  $\sigma_{max} \approx 40$  МПа.

Коэффициент В учитывает ориентацию зон нарушений или трещин относительно плоскости обнажения массива.

Величину угла между падением трещины и плоскостью, количество систем трещин, их углы падения и простираения определялись в программе DIPS.

Для исследуемых обнажений камер на глубине свыше 1 км принят наиболее консервативный вариант – угол наклона трещин  $\alpha = 56^\circ$  в боках при угле падения плоскости обнажения  $90^\circ$ , а при горизонтальной плоскости обнажения  $\alpha = 45^\circ$ . Для горизонтальных обнажений угол между плоскостями обнажения и трещиной будет равняться углу падения трещины.

Коэффициент С учитывает угол падения (наклон) обнажения. Его также можно определить по формуле, если формой структурного нарушения массива является разрушение под действием силы тяжести и при этом происходит отслаивание пород соли:

$$C = 8 - 6 \cdot \cos(\alpha),$$

где  $\alpha$  – угол падения плоскости обнажения.

Коэффициент  $C$  для рассматриваемого случая равен 8 при вертикальной плоскости обнажения.

Для расчета коэффициента  $C$  необходимо:

1. Определить наиболее вероятную форму структурного нарушения массива при качественной и количественной оценке его состояния;
2. Определить коэффициент  $C$  по углам падения плоскости обнажения и трещин, т.е. форму структурного нарушения массива под действием силы тяжести и отслаивание породы.

Оценка устойчивости обнажений камер для условий исследуемых месторождений галитов, полигалитов и полиминеральных солей проводилась для нескольких сценариев, при определенных максимальных значениях действующих напряжений в массиве и условиях залегания систем трещин. Для сценария с гидравлическим радиусом равным 4,5 м показатель устойчивости, рассчитанный по методу Метьюза-Потвина равен 68 м. Камеры будут устойчивыми и сохраняют свою форму в процессе очистных работ.

Для исключения влияния флюидонесущих коллекторов во вмещающих массивах и других факторов на устойчивость обрабатываемого массива, предлагается применять конвергентную каркасную горную технологию [3-5] с опережающим формированием на первой стадии из закладочных материалов необходимых свойств внешнего каркаса, далее на второй стадии обрабатываются участки, камеры и блоки внутри каркаса, т.е. создается каркасная объемная горная конструкция, которая позволяет выбирать технологию очистной выемки независимо от развития поля вторичных изменений геомеханического состояния массива. Таким образом, повышается безопасность и эффективность работ, путем целенаправленной компоновки во времени и в пространстве известных горных технологий с различными характеристиками.

При оценке устойчивости обнажений камер внутри каркасной горной конструкции для условий разработки месторождений галитов, полигалитов и полиминеральных солей в сложных горно-геологических условиях на глубине свыше 1 км с гидравлическим радиусом равным 4,5 м показатель устойчивости, рассчитанный по методу Метьюза-Потвина, равен 135 м. Камеры внутри каркаса будут весьма устойчивыми и сохраняют свою форму в процессе очистных работ.

### **Список литературы**

1. Potvin, Y. Empirical open stope design in Canada. PhD. Thesis, Dept. Mining and Mineral Processing, University of British Columbia. – 1988.
2. E. Hoek, P.K. Kaiser and W.F. Bawden. Support of underground excavations in hard rock.

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

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

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

## **К ВОПРОСУ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НЕГАТИВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ДОНБАССА**

**Кутепов Д.В.<sup>1</sup>, Ребенок Е.В.<sup>1</sup>, Решетняк Т.А.<sup>1</sup>, Ялпуга Е.А.<sup>1</sup>,  
Шалованов О.Л.<sup>1</sup>, Шулаков Д. Ю.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> РАНИМИ, г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup> ГИ УрО РАН, г. Пермь

Как известно, добыча угля требует соблюдения не только норм безопасности подземных работ, но и проведения мониторинга техногенной ситуации на поверхности при эксплуатации и ликвидации шахт. В тоже время, геодинамические процессы на земной поверхности в угледобывающих районах ДНР, представляющие какие-либо угрозы жизнедеятельности и вызывающие определенную обеспокоенность населения, изучены в недостаточной степени из-за их не столь частого проявления. Острая необходимость проведения таких исследований возникла в результате многочисленных жалоб жителей Советского района города Макеевки (поселков Объединенный и Калиново) на подземные толчки неизвестной природы [1]. Этот район характеризуется многократной подработкой, на фоне которой ведутся современные горные работы по добыче угля на глубине 700 м.

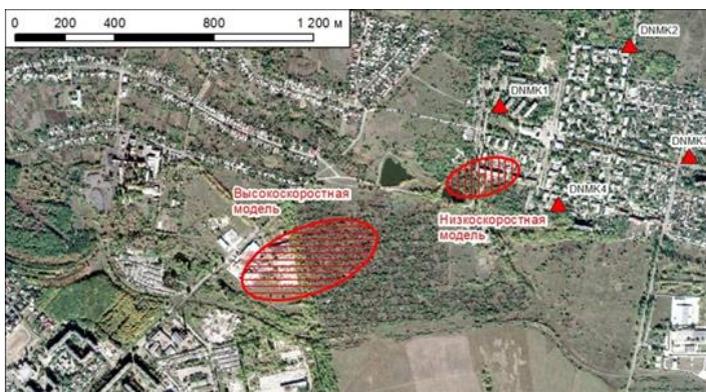
С целью выяснения причин подземных толчков принято решение провести непрерывный сейсмологический мониторинг с использованием локальной сети сейсмических станций. Поскольку первоначально не было никакой информации о расположении эпицентров толчков, специалистами РАНИМИ, сотрудниками МЧС, при консультативном участии ученых «ГИ УрО РАН», была разработана первоначальная схема размещения трехкомпонентных сейсмических станций, позволяющая с

одинаковым качеством регистрировать сейсмические сигналы с любого из возможных направлений. Спроектированная мониторинговая система состояла из 4-х автономных станций, каждая из которых оснащена 3-компонентным 2-Гц велосиметром HS-1 (Geospace, США [2]), цифровыми регистраторами «Ермак-5» («ГИ УрО РАН», г. Пермь, РФ [3]), 3G-модемом и системой бесперебойного питания. Работы по установке станций на местности и первоначальной их настройке были выполнены в январе 2020 г. (рис. 1).

В течение первых же дней сейсмическими станциями было зарегистрировано несколько сейсмических событий разной интенсивности. В связи с тем, что их эпицентры оказались в стороне от мониторинговой системы, возникла некоторая неопределенность с определением координат очагов: результат очень сильно зависел от используемой скоростной модели среды. На рисунке 2 показаны две возможные зоны эпицентров сейсмических событий, рассчитанные для 2-х типов скоростных моделей гео-



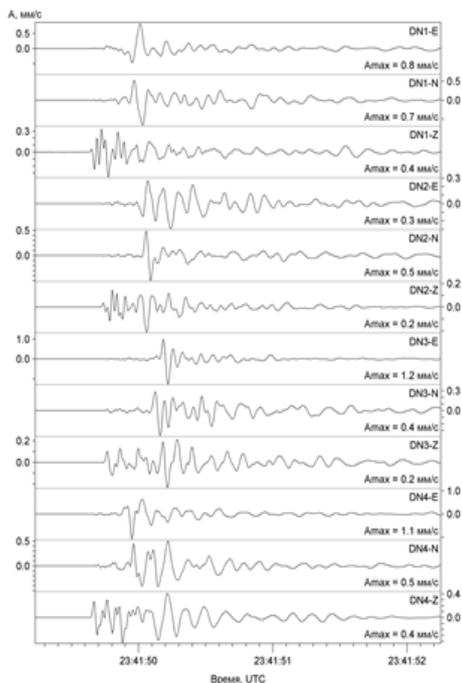
**Рис. 1. Первоначальное расположение сейсмических регистраторов Ермак-5 на территории пос. Объединенный**



**Рис. 2. Предварительные результаты наблюдений**

логического разреза: высокоскоростной, принятой в классической сейсмологии со скоростью продольных волн в глубинных слоях 5000 м/с, и низкоскоростной со скоростями продольных волн, близкими к величинам 2500-3000 м/с, фактически наблюдаемыми в этом районе Донбасса по данным акустического каротажа и полевой сейсморазведки. Очаговая зона, полученная с использованием низкоскоростной модели, соответствует зоне ведения горных работ и на данный момент представляется наиболее реальной.

Пример сейсмических записей регистрируемых геодинамических явлений (толчков) показан на рисунке 3. На рисунке достаточно уверенно прослеживаются характерные волновые пакеты разных типов волн (продольных и поперечных), имеющие отчетливые вступления практически на всех сейсмограммах.



**Рис. 3. Пример сейсмических записей**

Временные отметки начала зарегистрированного события имеют четкую тенденцию, характеризующую распространение объемной сейсмической волны от источника к ближним датчикам DNMK1 и DNMK4 и далее к удаленным датчикам DNMK3 и DNMK2. Заметим, что рассматриваемое событие ощущалось также и жителями поселка Объединенный и Калиново.

В целом можно констатировать, что применяемые регистраторы «Ермак-5», а также выбранная схема расположения сейсмических датчиков позволяет достаточно достоверно фиксировать техногенную сейсмическую активность на проработанной территории и с учетом имеющихся горно-геологических и геофизических материалов данных делать прогноз о местонахождении ее источников.

В настоящее время сейсмологический мониторинг продолжается.

## Список литературы

1. Макеевка, пос. Объединённый [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/makeevka\\_united](https://vk.com/makeevka_united) (дата обращения: 15.02.2020)
2. HS 1 Seismometer Product Details [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geospace.com/sensors/hs-1/> (дата обращения: 15.02.2020)
3. Butyrin P.G., Verkholtantsev F.G., Verkholtantsev A.V., Shulakov D.Y. Digital Seismic Logger “Ermak-5”. Experience of Development and Implementation // Seismic Instruments. April 2019, Volume 55, Issue 2, pp. 117–128. Цифровой сейсмический регистратор «Ермак-5». Опыт разработки и внедрения П.Г. Бутырин, Ф.Г. Верхоланцев, А.В. Верхоланцев, Д.Ю. Шулаков / Сейсмические приборы, Том 54, № 2, М.– 2018, с. 5-24.

## РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРОД МЕЖДУПЛАСТЯ ШАХТЫ ИМ. КИРОВА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

**Аверин А.П., Белоусов Ф.С.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

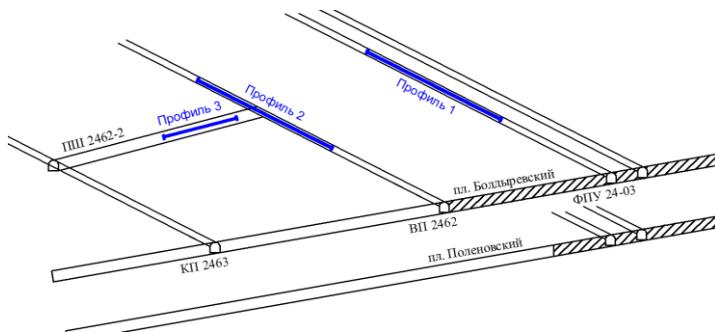
Одной из важнейших проблем при разработке угольных шахт, является формирование коллекторов метана в породах междупластья, отвечающие за устойчивость горных выработок. При определенных условиях коллектора метана способны выделиться в выработанное пространство приводя к повышенной загазованности выработок шахты. В связи с этим изучение состояния пород междупластья в процессе развития горных работ является весьма важным. Знание строения, напряженно-деформированного состояния и нарушения пород междупластья позволит оптимизировать процесс отработки угольных пластов для предотвращения возможных динамических проявлений горного давления, включая обрушения кровли, газо- и геодинамических проявлений. Развитие теоретических и методических подходов к изучению напряженно-деформированного состояния горных пород междупластья в условиях их естественного залегания при отработке угольных пластов шахты им. С.М. Кирова АО «СУЭК Кузбасс» и проведение натурных измерений методами шахтной сейсморазведки является актуальной задачей.

Объектом исследования являются кинематические и динамические характеристики волнового поля сейсмических сигналов, возбуждаемых в газонасыщенных углях Кузбасса.

Исследования углепородного массива выполнены в двух параллельных выработках ФПУ2402 и вентиляционная печь 2462. На каждом профиле было отработано по две стоянки с шагом между приемниками

два метра по семиточечной системе наблюдений метода приломленных волн [1]. Приемники сейсмических сигналов устанавливались на шпильках в почву пласта Болдыревский с шагом два метра

Схема расположения профилей представлена на рисунке 1.



**Рис. 1. Схема расположения измерительных профилей**

Поглощение энергии упругих волн в массиве, связанное с неидеальной упругостью среды, обуславливает затухание амплитуд волн при их распространении. Для каждой сейсмограммы определялся эффективный коэффициент затухания  $\alpha$  подбором коэффициентов уравнения (1) методом наименьших квадратов и преобладающая частота трасс.

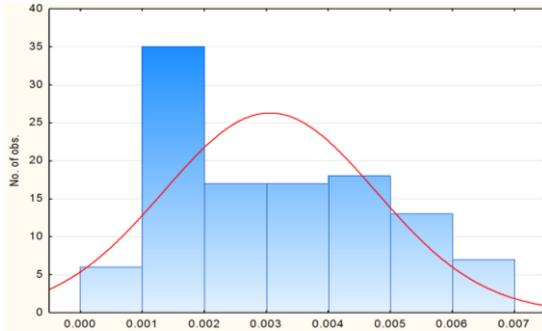
$$A_x = A_0 e^{-\alpha x}, \quad (1)$$

где  $A_x$  – амплитуда на расстояние  $x$  от источника;  $A_0$  – амплитуда волны в центре источника;  $\alpha$  – коэффициент затухания;  $x$  – расстояние до источника.

Гистограмма распределения коэффициента затухания упругих волн в исследуемом массиве приведена на рисунке 2. Значения коэффициента затухания варьируются от 0,00085 до 0,007 1/м. Наибольшее количество значений находится в районе 0,0015 1/м, при среднем значении распределения 0,003 1/м.

На основе полученных скоростных характеристик исследуемой толщи пород междупластья и значений эффективного коэффициента затухания и преобладающей частоты предлагается использовать стандартные методики и известные из теории упругости соотношения и зависимости для вычисления коэффициента проницаемости [2].

Зная величину коэффициента затухания сейсмических волн и используя приведенные ниже зависимости, можно получить дополнительный ряд параметров, характеризующих массив горных пород и искомое выражение коэффициента проницаемости.



**Рис. 2. Коэффициент затухания, 1/м**

Декремент затухания находим по уравнению (2):

$$g = \frac{\alpha V_s}{f}, \quad (2)$$

где  $g$  – декремент затухания;  $V_s$  – скорость поперечной волны;  $f$  – видимая преобладающая частота S-волны.

Значение относительной плотности скелета породы определяется уравнением (3):

$$\gamma = 1 + g^2 - \sqrt{(1 + g^2)^2 - 1}, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – относительная плотность скелета породы.

Коэффициент пористости находится по уравнению (4):

$$K_{II} = \frac{\varphi}{1 + \varphi} 100\%, \quad \text{где } \varphi = \frac{\rho_1 \left(\frac{1}{\gamma} - 1\right)}{\rho_2 p}, \quad (4)$$

где  $K_{II}$  – коэффициент пористости;  $\rho_1$  – плотность скелета породы;  $\rho_2$  – плотность флюида породы;  $p$  – доля объема пор, заполненных жидким флюидом

Значение средней плотности на исследуемом участке, определяется уравнению (5):

$$\bar{\rho} = \rho_1(1 - K_{II}) + \rho_2 p K_{II}, \quad (5)$$

где  $\bar{\rho}$  – относительная плотность скелета породы.

Величина времени релаксации вычисляется по уравнению (6):

$$\tau_s = \frac{2\alpha V_s}{(1 + \gamma)f^2}, \quad (6)$$

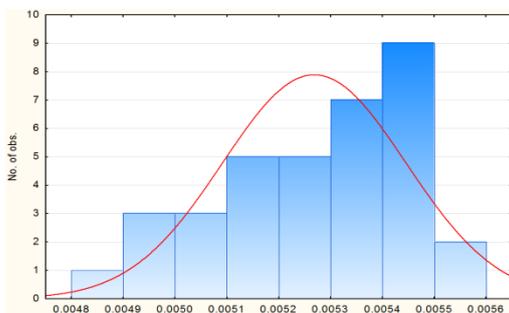
где  $\tau_s$  – величина времени релаксации.

Значение коэффициента проницаемости, характеризующего способность максимально насыщенную породу при наличии градиента давления пропускать однородный флюид, найдем по уравнению (7):

$$K_{пр} = \frac{\nu \tau_s}{\rho_2}, \quad (7)$$

где  $K_{пр}$  – коэффициент проницаемости;  $\nu$  – величина коэффициента вязкости флюида.

На основе приведенных формул был рассчитан коэффициент проницаемости пород междупластья. Распределение значения коэффициента проницаемости на исследованных участках представлено на рисунке 3. Среднее значение коэффициента проницаемости для толщи пород междупластья пластов Болдыревский и Поленовский равно  $0,00523 \text{ мкм}^2$ .



**Рис. 3. Коэффициент проницаемости, мкм<sup>2</sup>**

Совместная интерпретация результатов сейсмических исследований углепородного массива на основе кинематических и динамических характеристик сейсмических сигналов позволила определить коэффициент затухания сейсмической волны и на его основе оценить величину коэффициента проницаемости толщи пород между пластами Болдыревский и Поленовский. На исследованных участках не выявлено геологических нарушений структурных изменений разреза.

### Список литературы

1. Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмологии. М., Изд-во МГУ, 1981 г., с ил., 176 с.
2. Захаров В.Н. Разработка методологии и обоснование критериев прогнозирования состояния горного массива сейсмоакустическими методами при подземной угледобыче. Автореф. дис... доктора технических наук / ИГД им. А.А.Скочинского. М., 2003 г.
3. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. – Донецк: ООО «Алан», 2002.

## КРИТЕРИЙ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ВЫРАБОТКИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Ревва В.Н., Васютина В.В., Севрюков А.О.

*РАНИМИ, г. Донецк, ДНР*

Исследования влияния температурных изменений в горном массиве на предельное состояние в окрестности горных выработок, а значит, и на их устойчивость, с созданием технологий подземного сжигания угольных (ПСУ) пластов приобретают все большую актуальность.

В данной работе был исследован предельный случай для оценки устойчивости горных выработок, когда горный массив принимался упругим и изотропным. В породах, обладающих свойствами пластичности, со временем напряжения могут релаксировать.

Учитывая сложность проблемы, рассмотрим плоскую задачу о напряжении деформированном состоянии горного массива в окрестности выработки кругового сечения, подверженного одновременному воздействию горного давления и температуры. Для удобства горное давление полагаем гидростатическим.

Поскольку задача решается в упругой (линейной) постановке, воспользуемся принципом линейной суперпозиции. Тогда общее решение задачи можно представить в виде суммы термонапряжений и напряжений от горного давления.

Выбирая функцию температуры в виде [1] и используя подход [2], получим выражение для радиальных  $\sigma_r^T$  и тангенциальных  $\sigma_\varphi^T$  термонапряжений в горном массиве вокруг выработки кругового поперечного сечения.

Для определения соответствующих напряжений от действия горного давления воспользуемся известным решением [3].

Анализ суммарных напряжений позволяет сделать важный вывод. При нагревании стенки выработки в её окрестности возникают только напряжения сжатия. Оценка времени воздействия температуры на породный массив в окрестности выработки показала, что с его увеличением увеличиваются тангенциальные напряжения и уменьшаются радиальные. Вообще говоря, в расчетах термонапряжений необходимо учитывать изменения величины упругих констант с повышением температуры.

К сожалению, к настоящему моменту существуют только единичные экспериментальные данные по этому вопросу. Среди таких можно отметить [1].

Важным моментом в оценке устойчивости любых горных пород является разработка критериального соотношения, которое учитывает достаточно реальные свойства массива и условия его нагружения. Все известные нам критерии основываются на оценки НДС массива и его относительных прочностных характеристик, но не учитывают важнейшую особенность горных пород – дефектность их структуры. В рамках выбранной расчетной модели сделана попытка разработать критерий устойчивости горной выработки с позиции механики разрушения горных пород.

В приконтурной части горной выработки рассмотрим прямолинейную трещину длины  $2l$ , ориентированную под углом « $\psi$ » к направлению действия  $\sigma_r$ . Берега трещины не соприкасаются и по ним распределены напряжения  $Q$  (давление флюида на стенки трещины). Пренебрегаем влиянием фильтрации флюида через стенки трещины на распределение давления вдоль её берегов. Согласно [4] коэффициенты интенсивности напряжений  $K_I$  и  $K_{II}$ , характеризующие локальное поле упругих напряжений у тупиковой части трещин соответственно нормального отрыва и поперечного сдвига, определяются по формулам:

$$K_I = \sqrt{\pi l} \left[ Q - \sigma_r \sin^2 \psi - \sigma_0 \cos^2 \psi \right], \quad (1)$$

$$K_{II} = \sqrt{\pi l} \left[ \sigma_r - \sigma_0 \right]^2 \sin^2 2\psi$$

Воспользуемся критерием локального разрушения в виде [4].

$$K_I^2 + K_{II}^2 = \frac{2E}{1-\nu^2} \tilde{A}, \quad (2)$$

где  $\Gamma$  – эффективная поверхностная энергия (ЭПЭ), трещиностойкость материала, характеризующая сопротивляемость развитию в нем трещин.

После подстановки (1) в (2) получим,

$$\left\langle Q - \left\{ \frac{\alpha E(T_1 - T_2)}{a^2 \rho^2 (1-\nu)} \left[ \frac{c\tau}{\pi} + a \sqrt{\frac{c\tau}{\pi}} - \left( \frac{c\tau}{\pi} + a\rho \sqrt{\frac{c\tau}{\pi}} \right) e^{a(1-\rho)\sqrt{\frac{c\tau}{\pi}}} \right] + \gamma H + \frac{P - \lambda H}{\rho^2} \right\} \sin^2 \psi - \right. \\ \left. - \left\{ -\frac{\alpha E(T_1 - T_2)}{a^2 \rho^2 (1-\nu)} \left[ \frac{c\tau}{\pi} + a \sqrt{\frac{c\tau}{\pi}} - \left( \frac{c\tau}{\pi} + a\rho \sqrt{\frac{c\tau}{\pi}} + a^2 \rho^2 \right) e^{a(1-\rho)\sqrt{\frac{c\tau}{\pi}}} \right] + \gamma H - \frac{P - \gamma H}{\rho^2} \right\} \cos^2 \psi \right\rangle^2 + \\ + \left\{ \frac{\alpha E(T_1 - T_2)}{a^2 \rho^2 (1-\nu)} \left[ \frac{c\tau}{\pi} + a \sqrt{\frac{c\tau}{\pi}} - \left( \frac{c\tau}{\pi} + a\rho \sqrt{\frac{c\tau}{\pi}} + \frac{a^2 \rho^2}{2} \right) e^{a(1-\rho)\sqrt{\frac{c\tau}{\pi}}} \right] + \frac{P - \gamma H}{\rho^2} \right\}^2 \sin^2 2\psi = \frac{2E\tilde{A}}{\pi l(1-\nu^2)}$$

где  $\rho = r/a$ ;  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения;  $a$  – радиус выработки;  $E$  – модуль Юнга;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $T_1$  и  $T_2$  – температуры соот-

ветственно стенки выработки и горных пород;  $c$  – температуропроводимость толщи горных пород;  $\tau$  – продолжительность действия температуры;  $r$  – расстояние от центра выработки до рассматриваемой точки;  $\gamma$  – объемный вес вышележащих пород;  $H$  – глубина заложения продольной оси выработки от поверхности;  $P$  – реактивное сопротивление крепи.

Таким образом, получено критериальное соотношение, описывающее предельное состояние породного массива в окрестности горной выработки, учитывающее многие влияющие факторы, в том числе и температурные изменения в горном массиве.

Произведенные расчеты по полученному критерию позволяют установить следующее. Поскольку для горных пород температурный коэффициент линейного расширения  $\alpha < 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$ , термонапряжения оказывают существенное влияние на предельное состояние породного массива в окрестности горной выработки, а следовательно, и по её устойчивости, только при больших (порядка  $100^\circ\text{C}$  перепадах температур). Влияние температуры на предельное состояние пород тем значительней, чем меньше уровень их трещиностойкости.

### Список литературы

1. Селиванов, Г.И. Методические основы формирования структуры геомеханического обеспечения технологий сжигания угля в подземных условиях (технология ПСУ) [Текст] / Г.И.Селиванов, Б.Ю. Давыденко, И.М. Загоршменный. – Москва: МГУ. – 1994. – 43 с.
2. Заславский, Ю.З. Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках шахт Донецкого бассейна [Текст] / Ю.З. Заславский. – Москва. Недра. – 1966. – 180 с.
3. Баклашов, И.В. Механика горных пород [Текст] / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия, – М.: Наука, 1975. – 272 с.
4. Алексеев, А.Д. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений [Текст] / А.Д. Алексеев, В.Н. Ревва, Н.А. Рязанцев – К: Наукова думка, 1989. – 168 с.

## НОВОЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

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

*ИПКОН РАН, г. Москва*

Известны многочисленные разновидности форм и масштабов воздействий на массив горных пород, приводящие к изменению его исходного состояния. Оно характерно тем, что параметры систем подземной и открытой разработки проектируются исходя из исходного состояния

массивов полезных ископаемых, так как предусмотреть в горном деле заранее различные ситуации, носящие, как правило, случайный характер, практически невозможно. Это создает проблему взаимодействия и адаптации основных процессов горного производства к условиям измененного состояния массива. Формы и виды воздействий носят статический и динамический характер.

Естественное состояние массива горных пород в процессе разработки полезных ископаемых претерпевает совокупность различного рода техногенных воздействий, важнейшими из которых при ведении горных работ являются сдвигание массива и непосредственное воздействие взрывных работ. В массиве происходят разнообразные, не связанные с взрывными работами процессы, присущие различным структурно-геологическим и горнотехническим особенностям, влияющие и изменяющие его начальное состояние. Известны многочисленные разновидности форм динамических явлений, относящиеся к геомеханике, приводящие, в конечном счете, к изменению физического состояния горного массива [1]. Сюда можно отнести такие, сказывающиеся на несущей способности массива (целика) факторы, как выбросоопасность массива, зоны повышенного горного давления, области разгрузки, трещины и разломы горных пород, территории опасного влияния подземных работ, места обрушения горных пород, провалов на земной поверхности, а также разработки с гидроразрывами и гидрорыхлением угольных пластов, и так далее. В результате появляется непредсказуемость, существенно изменяющая, например, характер склонности к обрушению исходного состояния массивов горных пород и углей. Возникает концентрация напряжений и деформаций в определенных местах и, как следствие, давление горных пород, что создает дегазацию и связанную с ней проблему внезапных выбросов угля и газов. Подобные явления, с учетом специфики и условий разработки, имеют место так же при разработке и рудных месторождений.

Практика добычи полезных ископаемых располагает способами решения вышеуказанной проблемы, в основе которых представлено направленное взрывание, зачастую своеобразно и мелкомасштабно применяемое, в частности, при разработке рудных месторождений. Дело в том, что каждая разновидность массового многорядного взрывания в масштабе контура блока неизбежно влечет изменение состояния массива за его пределами, что неизбежно вызывает последующую коррекцию его параметров. Своеобразие заключается в радикальности метода борьбы с этим явлением в виде образования специальной щели, то есть физического препятствия на пути влияющей на состояние массива взрывной волны. В этом случае, хотя направленность взрывного воз-

действия безусловно и имеет место при прохождении отраженной волны от границы щели по измененной части массива, она каждый раз ограничена пределами очередного взрыва.

Известны области и технологии применения способов направленно-го взрывания при разработке месторождений полезных ископаемых, связанные с:

- камуфлетным взрыванием, в частности, с камуфлетно-сотрясательным взрыванием на пластах, опасных по внезапным выбросам угля или газа с целью снижения давления горных пород, его дегазацией и предотвращением выбросов;
- с разработкой пластов, склонных к внезапным выбросам угля и газа, проведением вскрывающих выработок, бурением скважин через породную породу, заряданием их взрывчатым веществом и его взрыванием, бурением оконтуривающих скважин, при этом в них нагнетают водный раствор поверхностно-активного вещества в режиме гидрорыхления с целью снижения затрат на выемку угля и управления количеством выброшенного угля;
- разгрузкой удароопасных и структурно нарушенных участков рудных месторождений с целью повышения эффективности и безопасного ведения горных работ при их разработке. Для достижения направленного взрывного воздействия на зоны концентрации напряжений в горном массиве бурятся скважины, в них размещаются заряды ВВ и создаются вертикальные концентрированные заряды (ВКЗ) для управляемого в заданном направлении сотрясательного воздействия взрывом массива горных пород и разгрузки определенной его части;
- созданием разгрузочных щелей с помощью бурения разгрузочных скважин в стенках выработки и использованием энергии горного давления для разрушения межскважинных целиков. В результате бурения сближенных скважин в пределах области влияния формируется разгруженная зона, что приводит к перемещению максимума сжимающих напряжений от контура выработки вглубь массива пород и образованию защитной зоны, препятствующей проявлению горного удара;
- разгрузкой породного массива в сопряжениях горных выработок, проведением вблизи них технологической выработки, сооружением разгрузочной щели путем бурения из технологической выработки серии рассредоточенных скважин, закладки разгрузочной щели, созданием компенсационных узлов и элементов податливости крепи ствола;

- с камуфлетным взрыванием, приведением при этом горных выработок, камер различного назначения и удароопасных участков массива горных пород в неудароопасное состояние, созданием защитной зоны с помощью камуфлетно-сотрясательного взрывания с применением заглубленных зарядов ВВ, расположенных в области концентрации напряжений впереди забоя, разрушающих или пластически деформирующих окружающую среду для разгрузки массива от горного давления; но не вызывающих остаточных деформаций на поверхности;
- с защитой выработок от горного давления, бурением опережающих скважин по горным породам на определенном расстоянии от проектного контура выработки, размещением в них зарядов ВВ, формированием зоны разрушенных пород камуфлетным взрыванием пород за контуром выработки и проведением выработки ствола.

Анализ этих технологий взаимодействия процессов, с позиций системного подхода, общей концепции направленности, вызывает, с одной стороны, необходимость конкретизации функционирования некоторых ее аспектов как сложной системы, с другой – разработки инструмента ее реализации с элементами универсальности. Взаимосвязь рассматриваемых процессов основывается на использовании сочетаний характерных особенностей целенаправленного взрывного воздействия (управления) и критериев оценки состояния массива в разные пространственно-временные периоды. Это определяет научно-техническое направление, характеризующееся областью, технологией и способом применения в измененном массиве [1]. Оно базируется, в части взрывных и горно-технологических работ, на следующих известных и новых принципах:

- взрывная квазистатическая фаза процесса взрыва с ее до 60% энергии заряда распространяет свое действие на значительные расстояния и обуславливает, в частности, известный эффект предразрушения и его использование;
- достигается существенное расширение времени действия взрывного процесса на измененный массив сочетанием конструктивных особенностей способа и фактором подбора для него взрывчатых веществ с сильно растянутым импульсом взрыва, типа простейших разновидностей игданита, удовлетворяющих требованиям горного производства;
- направленный заряд конструктивно отличается (характеризуется) такими универсальными свойствами, как технологичность исполнения, масштабом величины зарядов и характером их расположения, особенностями короткозамедленного взрывания, разно-

образом конфигураций форм направленного развития взрывного процесса и другими возможностями при взаимодействии с геотехнологическими факторами измененного массива в интересах горного производства;

- изменяются, в режиме онлайн, отдельные параметры систем разработки с возможностью их влияния как на конструктивные особенности системы, так и на технологию в целом. Так, изменение порядка инициирования и некоторых других параметров взрыва, при очистной отбойке слоев блока, может существенно повлиять на технологию работ системы в целом.

В ИПКОН РАН были сформулированы соответствующие упруго-пластические задачи механики сплошной среды, заключающиеся в раскрытии причинно-следственных связей и закономерностей на стыке геомеханики и взрывного разрушения горных пород, решенные методом сглаженных частиц SPH (SmoothParticleHydrodynamics). Результаты исследования легли в основу разработки нового метода взрывных работ по нейтрализации деконцентрированными зарядами влияния аномалий состояния массива на горные разработки. В методе используется фактор эффективности короткозамедленного инициирования при взрывной отбойке путем использования его технических возможностей в направлении междурядных и внутрискважинных интервалов замедлений. В то время как современный уровень разработки техники и устройств для взрывных работ достиг возможности реализации технологии исполнения внутрискважинного замедления, тем не менее, исследование различных аспектов данного метода в условиях натуральных производственных условий весьма актуально и представляет крайне сложную задачу. В связи с этим выполнен анализ вариантов взрывной отбойки, а также конструкций скважинных зарядов на предмет изыскания новых более эффективных способов их реализации в современных условиях. В результате был разработан способ, характеризующийся одновременным сочетанием его взрывных особенностей и нетрадиционной конструкцией скважинного заряда. На его примере рассмотрены возможности расширения практического диапазона выбранных схем размещения зарядов. Пучок сближенных скважинных (деконцентрированных) зарядов, выбранный для целей исследования, обычно характеризуется одновременным взрыванием (детонацией) всего комплекта конфигурации его скважинных зарядов [2]. В данном исследовании (впервые) представлена гипотеза, заключающаяся в возможности достижения одинакового эффекта в двух различных конструкциях скважинных зарядов, но «действующих» в практически одинаковом диапазоне использования короткозамедленного инициирования (КЗВ). Дело в том, что «вертикальные»

расстояния между внутрискважинными короткозамедленными детонаторами в обычном скважинном заряде (в данном случае одинарном) и «горизонтальными» между параллельно сближенными скважинами пучка практически одинаковы. Это позволяет перенести исследование механизма КЗВ в зарядах с его «внутреннего» содержания на «внешнее» и для прояснения особенностей этих механизмов привлечь возможности компьютерного моделирования. В результате предложены схемы взрывания, характеризующие, с одной стороны, технологический отход от традиционной круговой формы взрывной волны, с другой – позволяющие использовать найденный в процессе численного эксперимента эффект влияния (взаимодействия) взрывных работ на геомеханическую обстановку разработки полезных ископаемых в сложных условиях.

### Список литературы

1. Викторов С.Д., Гончаров С.А., Иофис М.А., Закалинский В.М. Механика сдвижения и разрушения горных пород. /Отв. ред. акад. К.Н. Трубецкой; Ин-т проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН. – М.: РАН, 2019. – 360 с.

2. Еременко А.А. Совершенствование технологии буровзрывных работ на железорудных месторождениях Западной Сибири /Отв. ред. акад. К.Н. Трубецкой, Ин-т ИГД им. Н.А. Чинакала. – Новосибирск.: ИГД СО РАН, 2013. – 192 с.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ «СОТОВЫХ» ПРИРОДОПОДОБНЫХ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДАМИ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ\*

Высотин Н.Г.<sup>1</sup>, Галченко Ю.П.<sup>2</sup>, Косырева М.А.<sup>1</sup>, Лейзер В.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС»,  
<sup>2</sup> ИПКОН РАН, г. Москва

В горном деле меняются подходы к разработке и эксплуатации месторождений. В настоящее время существует особенность развития геотехнологических и геомеханических процессов – добыча полезного ископаемого в зоне техногенного разрушения литосферы и защита этой зоны от последствий геомеханического возмущения прилегающих участков всегда совмещены по времени. Поэтому очистная выемка неизбежно включает в себя необходимость выполнения дополнительных

---

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

процессов, обеспечивающих поддержание динамического равновесия всей горнотехнической системы [1].

В связи с этим одной из концепций развития новых геотехнологий является разработка и применение конвергентных горных технологий [1, 2], создание в разрабатываемых массивах природоподобных горнотехнических систем, которые способны обеспечить безопасность и повысить эффективность горных работ, в т.ч. в сложных горно-геологических условиях, а также при освоении глубоких горизонтов месторождений.

В научно-исследовательском центре «Прикладная геомеханика и конвергентные горные технологии» Горного института НИТУ «МИСиС» в рамках выполнения работ по проекту Российского научного фонда создан комплексный стенд для проведения физического моделирования геомеханических процессов во вторичных полях напряжений при разработке месторождений различных геологических типов новыми горными технологиями.

В качестве экспериментальной проверки сформулированных общих подходов создания и проектирования конвергентных горных технологий в настоящее время проводятся лабораторные эксперименты с использованием физических и численных моделей создаваемых в программном комплексе Map3D.

В результате исследований было установлено, что при формировании в горном массиве достаточно крупной неоднородности (например – отрабатываемого участка рудного тела) условия воспроизводства устойчивых динамических структур в литосфере будут определяться только релаксационными процессами на внешнем контуре неоднородностей [1, 2]. Поэтому опережающее формирование этого контура открывает реальную возможность преодоления обозначенного выше локального противоречия за счёт того, что при формировании и развитии зоны техногенного разрушения процессы добычи полезного ископаемого и защиты от последствий геомеханических возмущений литосферы разделяются во времени.

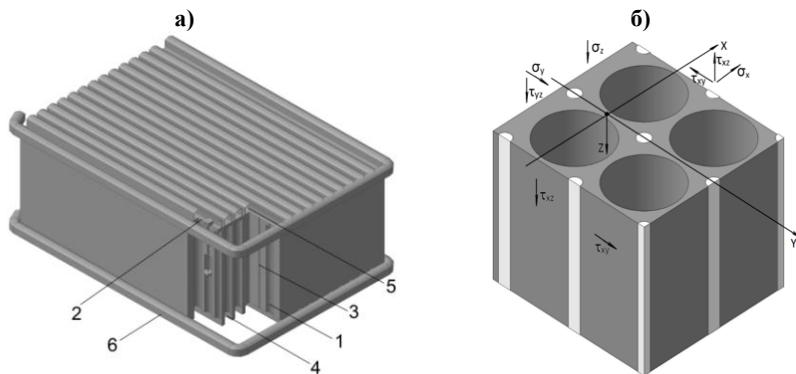
Это положение составляет содержание геомеханической основы разработки конвергентных горных геотехнологий, которая заключается в опережающем выделении зоны техногенного разрушения литосферы из общего поля вторичных изменений геомеханического состояния массива за счёт разделения во времени процессов добычи полезного ископаемого и процессов преодоления последствий геомеханического возмущения прилегающих участков литосферы.

Получение необходимых и достаточных объемов информации о физико-механических свойствах горных пород в наглядной физической

модели [3] и цифровом представлении значительно упрощает интерпретацию результатов исследований [4].

Поэтому одной из важных задач создания новой геотехнологии наряду с компьютерным моделированием является экспериментальное исследование, т.е. разработка физических моделей и их испытание с целью оценки моделируемого напряженно-деформированного состояния разрабатываемых горнотехнических систем.

Физическое моделирование использует теорию подобия и теорию размерности, согласно которым требуется определить свойства самого геоматериала и модели, количественные параметры напряжений деформаций, способ приложения нагрузок, способ построения модели, граничные условия, контроль и пр.. В представленной научной работе обсуждаются методы построения различных физических моделей (рис.) и их условия, а также параметры, которые необходимо точно определить.



**Рис. Модель проектируемой конвергентной природоподобной геотехнологии – выемочного участка месторождения камерно-целиковой системой разработки в сотовом исполнении с параллельным расположением очистных камер (а) и расчетная схема геомеханических характеристик физической модели с междублоковыми целиками (б):**

**1 – очистные камеры круглого сечения; 2 – буровая установка для очистной выемки; 3 – пилотные скважины очистных камер; 4 – выработки концентрационного горизонта; 5 – выработки вентиляционно-бурового горизонта; 6 – кольцевой панельный штрек; Z, X, Y – оси координат;  $\sigma_z, \sigma_x, \sigma_y$  — главные нормальные напряжения, МПа;  $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$  – касательные напряжения, МПа.**

Для реального подобия разрабатываемая модель должна быть описана как функционал всех соответствующих параметров. Как только функционал, включающий  $n$  величин, идентифицирован, теорема Бакингема говорит о том, что если существует  $q$  фундаментальных величин, то число  $m$  независимых отношений  $w$  определяется как  $m = n - q$ , и может быть определен измененный функционал, в котором включены только существенные безразмерные отношения. Бассетт [5] констатировал, что «размерный анализ позволяет экспериментатору осознать те факторы, которые игнорируются моделью», и что отклонения от полного подобия должны быть обоснованы и, если возможно, компенсированы аналитически [6].

Более продуктивным подходом может быть использование материалов, представляющих наилучшие и наихудшие вероятные состояния в прототипе, и режима нагрузки, которые позволят использовать результаты моделирования в качестве предельных параметров для оценки ситуации с прототипом.

На современном этапе развития науки и техники для физического моделирования геомеханических процессов в рамках проводимых работ по проекту Российского научного фонда осуществляется применение аддитивных технологий, имеющих широкие возможности для изготовления физических моделей. Положительные стороны предлагаемых технологий заключаются в управлении свойствами изготавливаемой модели, а также структурой, формой и размерами.

Для моделирования геомеханических процессов, происходящих во вмещающем массиве выработок и камер, в целиках необходимо определить, какие нагрузки приложить к модели, составить алгоритмы деформирования в несколько этапов и провести параллельный мониторинг [7].

В целях разработки конвергентных геотехнологий представлено экспериментальное обоснование метода физического моделирования геомеханических процессов во вторичных полях напряжений.

Метод основывается на применении аддитивных технологий (3D – печать) и горных пород как материала для изготовления физических моделей при моделировании геомеханических процессов. При этом учитываются явления самоподобия строения горных пород и условия подобия.

Хорошо откалиброванная модель позволяет на стадии проектирования горных работ прогнозировать поведение массива горных пород в зоне и вне зоны ведения очистных работ.

### Список литературы

1. Galchenko Yu. P., Eremenko V. A., Myaskov A. V., Kosyreva M. A. Solution of geoeological problems in underground mining of deep iron ore deposits // Eurasian Mining. — 2018. — № 1. —pp. 35-40.

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

3. Jiang Q., Feng X., Song L., Gong Y., Zheg H., Cui J. Modeling rockspecimens through 3D printing: Tentative experiments and prospects // Acta Mechanica Sinica – 2015. – 32(1). – pp. 524-535.

4. Глушихин Ф. П., Кузнецов Г.Н., Шклярский М.Ф. Моделирование в геомеханике. — М. Недра. — 1991. — 240 с.

5. Basset R. H. The use of physical models in design / General Report , Proc. VII European Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Brighton, U.K. Vol. 5: pp. 253-270.

6. Dunbavan M. Physical models in geomechanics Lect. Series No.53 1982 James cook University/ Australia.

7. Высотин Н.Г., Косырева М.А., Лейзер В.И., Аксенов З.В. Обоснование создания комплексного стенда для физического моделирования геомеханических процессов во вторичных полях напряжений в условиях разработки месторождений конвергентными горными технологиями // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 10. С. 131-145.

## **ОБОСНОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СПОСОБА ВЗРЫВОМАГНИТНОЙ ДИСТРУКЦИИ МАССИВА ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ПРИ ВЗРЫВНОЙ РУДОПОДГОТОВКЕ**

**Анисимов В.Н.<sup>1</sup>, Логачев В.И.<sup>2</sup>, Логачев И.И.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ИДГ РАН,

<sup>2</sup> ФИАН,

<sup>3</sup> МИРЭА, г. Москва

Возможность использования электромагнитных полей для разрушения кристаллических горных пород отмечалась ранее, как в работах авторов статьи, так и в работах других авторов [1-5]. Особо следует выделить фундаментальную работу ИПКОН РАН «Наночастицы в процессах разрушения и вскрытия геоматериалов»[6].

В нашей стране фундаментальные исследования в области создания сильных импульсных магнитных полей и результатов их воздействий на поликристаллические материалы проводились ранее в ФИАН и проводятся в настоящее время. Так новые возможности для практического использования открывают исследования по созданию сверхмощных магнитных полей, ведущиеся в ФИАН совместно с MIT (США) по созданию сильных магнитных полей до 100 Тл. [10.].

Актуальной задачей на сегодня является практическое использования результатов выше названных исследований при добыче, переработке и процессе деструкции прочных кристаллических горных пород как при взрывной так и последующем процессе рудоподготовки который характеризуется крайне низким коэффициентом использования энергии до 3% [1,3].

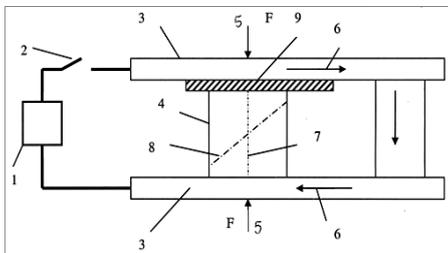
Известно, что пьезоэлектрические и магнитострикционные свойства таких кристаллических горных пород как железистые кварциты и др. позволяют преобразовывать энергию импульсного электромагнитного поля в поле упругих напряжений. Высокое содержание магнетита в горной породе (до 40 %) усиливает роль этих явлений. При определённых условиях напряжения в породе могут превысить предел прочности, что приведёт к её разрушению.

Магнетитовые железистые кварциты представляют собой породу темно-серого цвета с тонкой среднеполосчатой структурой. Главными минералами являются магнетит  $Fe_3O_4$  (28-30 %) и кварц (65-70 %). Магнитные свойства железистых кварцитов изменяются с изменением напряженности индуцирующего поля, состава, типа и количества ферромагнитного материала, размера зёрен, структуры и давления. Известна зависимость магнитной восприимчивости и коэрцитивной силы от размера зёрен минералов. На сегодня с учётом ранее полученных данных представляет практический интерес изучение совместного действия импульсного электромагнитного поля и механических нагрузок, возникающих при прохождении упругих волн напряжения в железистых кварцитах и влияние на их физико-технические параметры. Эти исследования проводились с использованием магнито импульсной установки в Шатурском филиале, ИТЭС РАН рис.1 [1,3,4].

Схема расположения основных элементов установки и образца показана на рис. 2.



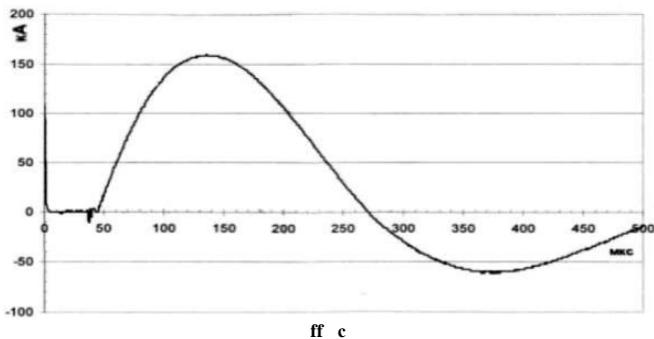
**Рис.1. Общий вид установки для исследования основных свойств железистых кварцитов в импульсном магнитном поле с индукцией до 1 Тл.**



**Рис.2. Схема расположения основных элементов установки и образца.**

1 – накопитель энергии;  
 2 – коммутатор тока; 3 – токопровод; 4 – образец; 5 – ось образца; 6 – направление тока в токопроводе магнитного диполя; 7 – ось анизотропии образца

Исследуемые образцы помещались в магнитное поле диполя, подключённого к генератору импульсного тока. Образец, как показано на рис.2, подвергался дополнительному сжатию вдоль его оси. Предварительно проводилось измерение сопротивления образцов постоянному току и поглощение упругих волн на частоте 0,3-6 МГц. Генератор тока создавал импульс, форма которого представлена на рис. 3.



**Рис. 3. Форма импульса тока в шине токопровода магнитного диполя**

После трёхкратного импульсного воздействия на каждом из образцов были обнаружены внешние признаки механической деструкции в виде трещин, мелких сколов, видимых невооружённым глазом.

Электросопротивления образцов и поглощения упругих волн до и после импульсного магнитного воздействия. Измерение электросопротивления образцов проводилось мегомметром Е-6-16 при зондирующем напряжении 500 В. Результаты измерения сопротивления образцов до обработки импульсным магнитным полем, после воздействия и спустя 4 месяца представлены в табл. 1

Таблица 1

Номер образца	Сопротивление R, кОм		
	До испытаний	После испытаний	Спустя 4 месяца
1	30000	190	900
2	540	0,1	3,5
3	280	0,23	2,7
4	14	0,035	0,2

Импульсное электромагнитное воздействие приводит к уменьшению сопротивления образца на 1-4 порядка.

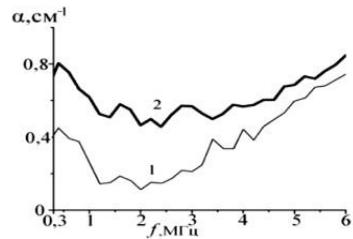
Исследовалось также поглощение упругих волн в диапазоне частот до 6 МГц, которое также приводит к образованию микротрещин в породе. На рис.4 приведена частотная зависимость коэффициента затухания  $\alpha$  продольных волн в железистых кварцитах до (кривая 1) и после (кривая 2) воздействия магнитного поля.

Из рисунка видно, что коэффициент затухания в этом частотном диапазоне в среднем увеличился в 2-2,5 раза. Так, например, значение коэффициента затухания на частоте 2 МГц до воздействия упругой волны составляло  $0,2 \text{ см}^{-1}$ , а после воздействия составляло  $0,5 \text{ см}^{-1}$ .

Было проведено сканирование по поверхности образца в режиме эхоскопии. Оказалось, что уровень структурного шума возрос в 2-3 раза для образцов, подвергнутых воздействию магнитного поля, что свидетельствует об изменении внутренней структуры образцов. Дальнейшее сканирование по поверхности образца позволило выявить наличие микротрещин, их локализацию и протяженность.

Проведенные эксперименты позволяют утверждать, что импульсное электромагнитное воздействие на железистые кварциты вызывает значительные структурные нарушения, связанные с возникновением и развитием новых макро- и микротрещин.

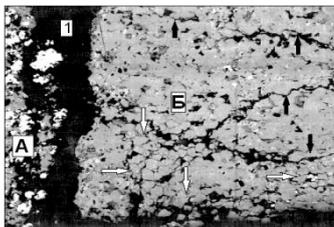
На рис.5 и рис.6 представлено исходное состояние поверхности образца железистого кварцита до и после воздействия импульсного магнитного поля.



**Рис.4. Поглощение ультразвука в образцах железистого кварцита до (кривая 1) и после (кривая 2) воздействия импульсного магнитного поля**



**Рис. 5. Исходный железистый кварцит.**  
Белое поле – магнетит,  
серое – кварц

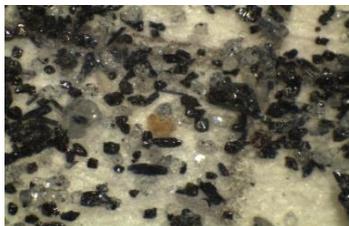


**Рис. 6. Состояние железистого кварцита после импульсного электромагнитного воздействия.** Макротрещина (1) на границе рудного (А) и нерудного (Б) прослоев в железистом кварците

Черными стрелками показаны некоторые трещины в массиве кварца. Белыми стрелками показаны области разрушений структуры интенсивной микротрещиноватости по границам зерен кварца, зёрна магнетита-белое, кварц – серое, черное – макро- и микротрещины и места выпадения зёрен, потерявших связь с матриксом.

На рис. 7 показаны раскрытые зерна магнетита и кварца, потерявшие связь с матриксом и выпавшие из образца при его обработке импульсным магнитным полем.

Таким образом, экспериментальные результаты показали, что во всём частотном диапазоне измерений образцы железистого кварцита,



**Рис.7. Раскрытые зёрна магнетита и кварца после импульсного электромагнитного воздействия.** Здесь хорошо видна естественная форма зёрен, полностью сохранивших свою морфологию

обработанные импульсным электромагнитным полем, претерпели достаточно сильные изменения по сравнению с первоначальным состоянием. Это отразилось в появлении системы микротрещин по границам рудных и нерудных слоёв, микротрещин по границам зёрен магнетит-магнетит, магнетит-кварц и кварц-кварц, а также в уменьшении скорости звука и увеличении коэффициента затухания.

Для объяснения полученных результатов была предложена «магнетокинетическая» модель, в основе которой лежит взаимодействие зёрен магнетита с матрицей кварца при прохождении высокоградиентного магнитного импульса через породу[4,5].

Есть основания полагать, что под действием мощного высокоградиентного электромагнитного импульса зерна магнетита и кварца поворачиваются и смещаются, и их перемещению препятствует породная матрица. В результате зерна магнетита деформируются и частично разрушают матрицу и межзеренные границы. Образуется развитая система новых микротрещин, на это указывает эффект увеличения поглощения ультразвука в диапазоне 0,5-5 МГц (рис. 4).

Основные силы, действующие на частицу и приводящие к магнитокинетическому эффекту, следующие: магнитная сила, обусловленная притяжением частицы магнитным полем; сила, вызванная магнитострикцией ферромагнетика; и др.[4].

При высокоградиентном импульсном электромагнитном воздействии перемещению зёрен магнетита под действием сил магнитного поля мешает плотная рудная матрица. Это приводит к импульсной деформации зёрен  $Fe_3O_4$ , их повороту по вектору магнитного поля с деструкцией межзеренных границ, возникновению разрушающих напряжений и к разрыву сплошности рудной матрицы преимущественно по границам зерен. Частично диспергированный магнетит заполняет часть микротрещин, образуя электропроводящую структуру и, соответственно, новые пути прохождения электрического тока. В результате резко падает электросопротивление образца.

Таким образом, можно предположить (в качестве рабочей гипотезы), что магнитокинетический эффект в железистых кварцитах- это ударный импульс в основном на зерна магнетита, перемещающихся под действием сил импульсного электромагнитного поля, сопровождающийся деструкцией материала и приводящий к изменению его физических свойств.

Наиболее простым способом создания необходимого импульсного магнитного поля является использование магнитного поля диполя (витка с током).

Расчёты магнитного поля диполя были выполнены ранее [1,2]. При расчётах считалось, что виток с током погружен в ферромагнитный материал ( $\mu=10$ ). Для расчета магнитного поля и его градиента использовались следующие выражения [7]:

$$H_r(r,z) = \frac{I}{2\pi} \frac{z}{r\sqrt{(a+r)^2+z^2}} \left[ -K(k) + \frac{a^2+r^2+z^2}{(a-r)^2+z^2} E(k) \right]$$

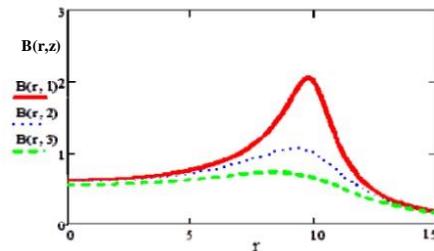
$$H_z(r,z) = \frac{I}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{(a+r)^2+z^2}} \left[ K(k) + \frac{a^2-r^2-z^2}{(a-r)^2+z^2} E(k) \right]$$

$$H_\phi(r,z) = 0,$$

где  $K^2 = \frac{4ar}{(a+r)^2 + z^2}$ ,  $K(k)$  и  $E(k)$  – полные эллиптические интегралы 1-го и 2-го рода,  $a$  – радиус витка (м),  $z$  – расстояние (м) по оси витка перпендикулярно его плоскости,  $r$  – радиальная координата (м),  $I$  – ток (А),  $H$  – напряженность магнитного поля (А/м).

Расчёты, выполненные на основании этих формул, позволяют получить распределение магнитного поля и его градиента во всём пространстве и оценить его воздействие на породу. При расчётах индукции магнитного поля  $B$  ( $B = \mu_0 H$ ) радиус витка варьировался от 1 м до 10 м, координата  $z$  – от 1 м до 3 м, ток принимался равным  $10^6$  А.

Зависимость модуля индукции магнитного поля  $B$  (Тл) от радиуса  $r$  для витка радиусом 10 м представлена на рис. 8.



**Рис. 8. Зависимость модуля вектора индукции магнитного поля  $B(r, z)$  от радиуса для трех значений координаты  $z$  (1 м, 2 м, 3 м)**

Как видно из рисунка, магнитное поле в приосевой области слабо зависит от координаты  $z$ , в то же время резко возрастает при уменьшении координаты  $z$  в области кругового тока. В этой области становится существенным градиент магнитного поля. При уменьшении радиуса витка область больших градиентов увеличивается.

Расчёты магнитного поля и его градиента витка с током позволяют оценить результаты его силового воздействия на основные компоненты породы, содержащей кварц и магнетит, оценить напряжения, возникающие на границах кварца и зёрен магнетита в слоистой структуре. Рассмотрим этот процесс подробнее.

В импульсном электромагнитном поле направленная магнитная сила притяжения минерального зерна к источнику поля определяется по формуле [8]:

$$F_M = \mu_0 \chi m H \text{grad} H, \quad (2)$$

где  $F_M$  – сила воздействия на породу со стороны магнитного поля (Н);  $\mu_0$  – магнитная постоянная, равная  $1,26 \cdot 10^{-6}$  Гн/м;  $\chi$  – удельная магнитная восприимчивость частиц магнетита,  $\chi = 5 \times 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/кг;  $m$  – масса зерна (агрегата зёрен в слоях) (кг);  $H$  – напряженность магнитного поля  $10^7$  А/м;  $\text{grad}(H)$  – градиент напряженности магнитного поля ( $10^8$  А/м<sup>2</sup>).

Для оценок рассмотрим зерно магнетита массой 1 г кубической формы с ребром  $a=5,85$  мм и площадью грани куба  $0,34$  см<sup>2</sup>. Сила, действующая на это зерно, составляет порядка  $\approx 630$  Н. (для магнитного поля порядка 1 Тл.) Соответствующее напряжение больше 18 МПа, что соответствует пределу прочности кварцита на сжатие [9].

Аналогичные оценки силы притяжения ( $F_m$ ) и механических напряжений ( $\sigma$ ) в зависимости от размеров зерна магнетита представлены в таблице 2.

**Таблица 2**

a (см)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$F_m$ (Н)	3,15	25,12	85,05	201,6	392,5	678,2
$\sigma$ (МПа)	3,15	6,28	9,45	12,56	15,70	18,84

### **Выводы**

Полученные оценочные расчёты и анализ позволяют сделать вывод о том, что высоко градиентное импульсное магнитное поле может быть использовано для деструкции кварцосодержащих горных пород в массиве, как в процессах буровзрывных работ, так и в процессах взрывной и в последующей рудо подготовке [11].

Предложенный метод прошел предварительную апробацию в производственных условиях Коробковского и Лебединского месторождений КМА. При внедрении метода взрывомагнитной деструкции (взаимодействие импульсного магнитного поля с одновременным наложением упругих импульсов волн напряжений, генерируемых скважинными зарядами, ВВ) он обеспечит: улучшение технологических показателей последующего передела рудной массы; снижение энергозатрат и потерь полезных компонентов в хвостах обогащения; значительный экономический эффект; решение сложившихся крайне острых геоэкологических проблем при добыче и последующей глубокой переработке железистых кварцитов, как в регионе КМА так и других горнорудных регионах страны [1,4,11].

### **Список литературы**

1. Анисимов В.Н О взрывомагнитной деструкции сложноструктурных железистых кварцитов с учетом геолого-геофизических особенностей и условий рационального недропользования Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал) № 6 – 2018 г. – С. 80-97.
2. Анисимов В.Н., Логачев И.И. О возможности использования высокоградиентных магнитных полей при деструкции железистых кварцитов в массиве. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). № 1 год: 2017 страницы: 210-216.

3. Анисимов В.Н. Взрывомагнитная деструкция кристаллических материалов (горных пород) различными импульсными динамическими воздействиями. Издательство Военно-инженерной Академии им. Н. Е. Жуковского, 2008. – С.128.

4. Anisimov V N, Morozov V N. « Ferruginous Quartzite Destruction under High Explosion and Magnetic Effect» /Proceedings of the 6th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction Metallurgical Industry Press. Cina-Dalays, 2009, p. 209-212.

5. Петч Н. Металлографические аспекты разрушения / Разрушение. Т.1. Под ред. Г. Либовиц. – М.: Мир, 1973. – С. 376-420.

6. Чантурия В.А., Трубецкой К.Н., Викторов С.Д., Бунин И.Ж. Наночастицы в процессах разрушения и вскрытия геоматериалов. Российская академия наук Институт проблем комплексного освоения недр ИПКОН РАН Москва 2006. – С.215.

7. Тамм И.Е. «Основы теории электричества». Москва. Физматлит. 2003. – С. 300.

8. Кармазин В.И., Кармазин В.В. Магнитные методы обогащения. М., Недра, 1978. С. 255.9.Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. – М. Недра. 1975. –С. 36-49.

10. Мощные источники магнитного поля. Промышленные ведомости №5-6. Июнь 2013 г. ФИАН-информ.

11. Anisimov V.N., Adamchuk A.M., Uvarov V.M., Scherbakov A.Y. Environmental safety in mining and processing of mineral raw materials under the conditions of rational nature management as exemplified by the kursk magnetic anomaly region Indian Journal of Science and Technology. 2016. Т. 9. № 46. – С. 107486.

## **ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА**

**Закоршменный А.И., Блохин Д.И., Закоршменный И.М.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

В связи с интенсивно развивающейся инфраструктурой современных мегаполисов все острее встает вопрос надежной гидроизоляции возводимых подземных сооружений и конструкций. Гидроизоляция тоннелей преследует две взаимосвязанные цели – обеспечение долговечности и сохранение от разрушения конструкции тоннеля, недопущение проникновения подземных вод в его внутреннее пространство.

Самой высокой водонепроницаемостью обладают обделки из чугунных тубингов. Однако через швы между тубингами, отверстия для болтов в тоннель может проникать вода.

Гидроизоляция сборных обделок из железобетонных имеет свои особенности, выражающиеся образующимися после сборки колец и восприятия ими нагрузок трещинами в теле блоков и вблизи межблочных швов. Для гидроизоляции применяются растворы с содержанием бентонитовой глины и различные смеси с повышенными водонепроницаемыми свойствами, от удачного выбора которых зависит эффективность гидроизоляции обделки.

Для первичного нагнетания рекомендуется применять растворы на основе цемента и песка, для контрольного – на основе цемента (чистые цементные и с мелкодисперсными заполнителями) [1]. Следует отметить, что такой важный показатель тампонажного раствора как «выход тампонажного камня» согласно нормативной документации [1] составляет диапазон от 95 до 100 %, что подразумевает получение в процессе набора прочности тампонажом до 5% пустот. При наличии за обделкой гидростатического давления грунтовых вод наблюдаются активные протечки (рис. 1). В этом случае является обязательным проведение комплекса работ по контрольному нагнетанию за обделку. До этого необходимо выполнить работы по герметизации стыков обделки для ликвидации утечек через них тампонажного раствора. Процесс включает в себя забивку по периметру тубингов деревянных клиньев (рис. 2). Получается, что процесс заполнения технологического зазора между породным массивом и обделкой тоннеля повторяется как минимум дважды. Учитывая, что в качестве контрольного нагнетания рекомендуется применять чистый цемент с водой в пропорции 1:1, можно с уверенностью сказать, что такой состав в процессе набора прочности дает существенную усадку.

Следует отметить и отдельно прокомментировать установленную в нормативном документе [1] минимальную прочность тампонажного камня для разных видов обделок, которая составляет 5 МПа, при этом не учитывается такой важный геомеханический параметр, как глубина заложения подземного тоннеля. Более того, на основании пособия по проектированию метрополитенов [2] вертикальные и горизонтальные нагрузки от горного давления в условиях, при которых сводообразование невозможно, принимаются от давления всей толщи грунтов над тоннельным сооружением. Вертикальные и горизонтальные нагрузки при расчетах подземных сооружений принимаются равномерно распределенными. С учетом средневзвешенного удельного веса грунта в геологическом строении Москвы около  $25 \text{ кН/м}^3$  и максимальной глубины залегания тоннелей порядка 75 м, с учетом коэффициента надежности по вертикальным нагрузкам получается не более 2 МПа. Таким образом, не понятно требование минимальной прочности от 5 МПа, при фактически необходимой около 2 МПа, в то время, когда наиболее важным



**Рис. 1. Активная фильтрация воды через стыковое соединение между двумя тубингами**



**Рис. 2. Герметизация стыковых соединений между тубингами перед контрольным нагнетанием раствора (В/Ц=1)**

параметром для тампонажного состава является ускоренный набор прочности во избежание его размыва за обделкой водой и отсутствие усадки при формировании тампонажного камня.

Рассматривая комплекс работ по герметизации стыков тубингов в соответствии с нормативным документом [3] можно сказать, что процесс является не только не эффективным с точки зрения скорости, надежности и долговечности выполненных работ, но и вредным для здоровья человека. Используемый для чеканки швов быстрохватывающийся уплотняющий состав (БУС) включает в себя 10% асбеста, что является сильным активатором хронических заболеваний органов дыхания. С точки зрения безопасности здоровья применение таких составов недопустимо.

Рассматривая установленные требования по подготовке канавок стыковых соединений, то они заблаговременно не более чем за 8 часов перед чеканкой швов должны быть очищены от грязи и ржавчины пескоструйной обработкой. При этом, уборка отработанного песка из лотка тоннеля, как правило, заполненного водой, представляет технологические трудности (рис. 3). В большинстве случаев из-за отставания сроков сдачи объекта, зачастую чеканочный шнур просто вдавливают в канавки и замазывают БУСом (рис. 4).

С практической точки зрения не является эффективным способ контроля качества чеканки шва по глухому звуку лопатки чеканочного молотка.

По всем описанным выше случаям хочется отметить, что существует множество разработок в области двухкомпонентных тампонажей для нагнетания за обделку, позволяющих достигать выход тампонажного камня в диапазоне 100-102%, что само собой отклоняет необходимость в контрольном нагнетании. Что касается герметизации стыковых соеди-

нений блоков обделки, то существующие расширяющиеся герметики, с механизированным заполнением стыка быстросхватывающим ремонтным материалом могут существенно повысить производительность и эффективность работ.



**Рис. 3. Установка чеканочного шнура на неочищенные от ржавчины тубинги**



**Рис. 4. Вид на чеканочный свинцовый шнур в стыковом соединении тубинга**

В тоже время, существующие на сегодня прогрессивные решения текущих задач не могут быть включены в строительные проекты по причине отсутствия задокументированных положительных результатов об эффективности их применения на опытных участках.

### **Список литературы**

1. ВСН 132-92 Правила производства и приемки работ по нагнетанию растворов за тоннельную обделку.
2. Пособие по проектированию метрополитенов // Государственный проектно-изыскательский институт «Метрогипротранс» / Утверждено государственной корпорацией «Трансстрой» – М.: Изд-во малое предприятие «Вельти», 1992 г.
3. ВСН 130-92 Правила производства и приемки работ по герметизации стыков и отверстий сборной тоннельной обделки при закрытом способе строительства.

## **ВЛИЯНИЕ МОЩНЫХ ВЗРЫВОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ (ГОРНЫЕ ПОРОДЫ) С ПОЗИЦИЙ КВАНТОВО-КИНЕТИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ**

**Анисимов В.Н.**

*ИДГ РАН, г. Москва*

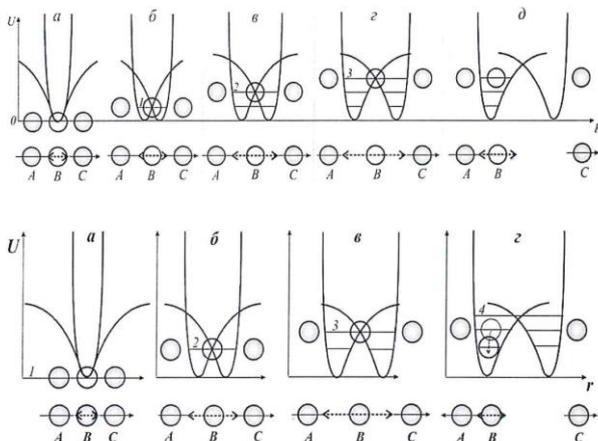
Процесс деструкции горных пород как поликристаллических систем под воздействием упругих волн (в том числе при массовых взрывах зарядов ВВ) сопровождается генерацией электромагнитных импульсов,

возникающих при деструкции кристаллических решеток породообразующих минералов. При наложении внешнего электромагнитного импульса с вектором напряженности, противоположным вектору электростатического поля, внутри субмикротрещин возникает дополнительное усилие электростатического взаимодействия, которое суммируется с магнитоэлектрическим. Эти взаимодействия способствуют более интенсивному росту субмикротрещин в поликристаллической среде, что подтверждается и экспериментальными данными.

Рассмотрим процесс разрушения одномерной цепочки атомов с квантово-механических позиций (рис. 1).

На рис. 1, *a* представлен фрагмент из трех идентичных атомов *A*, *B*, *C*, входящих в бесконечную линейную цепочку атомов, в которой каждый атом расположен в симметричной потенциальной яме и его колебания в положении равновесия контролируются в первую очередь потенциалом отталкивания, создаваемым ближайшими соседними атомами. На рис. 1 для простоты изображения показана только потенциальная яма атома *B*, создаваемая соседними атомами *A* и *C*, которые находятся в таких же потенциальных ямах.

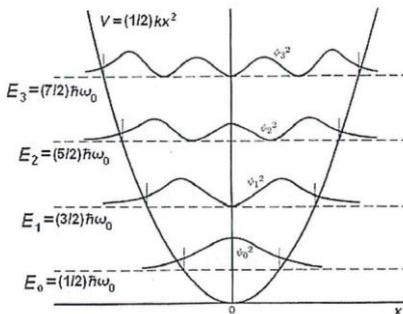
В исходном ненагруженном состоянии все атомы в цепочке находятся в положении с минимальной для данных условий энергией, значению которой соответствует условный нулевой уровень (рис.1, *a*).



**Рис. 1. Расположение и энергетическое состояние атомов *A*, *B* и *C* в исходном ненагруженном состоянии (*a*), по мере растяжения цепочки атомов (*б – г*) и в момент разрыва цепочки (<3>; 1, 2 и 3 – возбужденные уровни энергии атомов**

На рис. 2 дано классическое представление параболической симметричной потенциальной ямы с равномерным распределением энергетических уровней для гармонического осциллятора. Такая модель потенциальной ямы применима только для основного уровня и не предполагает какого-либо смещения центра тяжести квантовой частицы от начального положения равновесия. При значительных деформациях, приводящих к разрушению твердого тела, классическая модель не отражает реального энергетического состояния частицы и ее смещения от исходного положения равновесия.

**Рис. 2. Потенциальная яма квантовой частицы в параболическом приближении с равномерно распределенными энергетическими уровнями гармонического осциллятора**



При приложении к атомной цепочке растягивающего напряжения атомы приобретают дополнительную энергию и при достижении определенного значения этой энергии переходят на первый возбужденный уровень (положение 1 на рис. 1, б). Расстояние между атомами увеличивается, потенциалы взаимодействия между атомами также возрастают, энергетические стенки исходной потенциальной ямы раздвигаются и в ней образуются два минимума, разделенные потенциальным барьером. В этом энергетическом состоянии каждый атом находится в метастабильном положении одновременно в обоих минимумах. Соответственно амплитуда его колебаний увеличивается, что на рис. 1. в нижней его части показано пунктирной стрелкой для атома В. Если в этом состоянии снять растягивающее напряжение, все атомы в цепочке вернуться в исходное нулевое положение, т.е. деформация будет упругой.

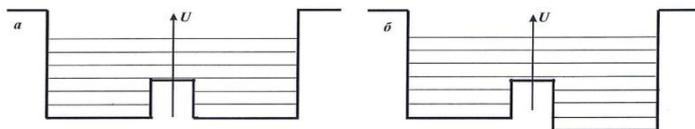
По мере роста растягивающих усилий ширина энергетической ямы увеличивается, ширина потенциального барьера между обоими минимумами возрастает, но атомы могут туннелировать через пока еще узкий потенциальный барьер и таким образом взаимодействовать между собой, сохраняя целостность цепочки. При достижении в процессе деформации энергии уровня 2 атомы переходят на этот уровень в следующее метастабильное положение между двумя минимумами (рис. 1, в).

Дальнейшая деформация цепочки атомов происходит таким же образом (рис. 1, г), но при этом ширина потенциального барьера между двумя минимумами еще более увеличивается и при дальнейшей деформации какой-либо атом уже не может преодолеть широкий потенциальный барьер и локализуется в одном из минимумов (атом *B* на рис. 1, д). В этот момент наступает разрыв связи между атомами (атомы *B* и *C*) и разрыв атомной цепочки в это месте.

После разрыва локальной атомной связи напряжение деформации и энергия атомов в обеих частях атомной цепочки уменьшаются и атомы переходят на более низкий энергетический уровень (уровни 7 и 2 на рис. 1), если сохраняются остаточные напряжения, или на исходный нулевой уровень в случае полной релаксации напряжений деформации.

Двойные потенциальные ямы могут иметь идентичные или различающиеся по глубине минимумы и обладают определенными свойствами. На рис. 3 показаны простейшие модели двойных ям.

В обычном стационарном состоянии двойные ямы характерны для ядер дислокаций, зон деформаций и, особенно, для границ кристаллитов, где наблюдается максимальная плотность дислокаций и нарушений периодичности кристаллических решеток. Такие ямы в стационарном состоянии имеют постоянный дипольный момент, который взаимодействует с внешним электромагнитным полем.



**Рис. 3. Модель симметричной (а) и несимметричной (б) двойной потенциальной ямы с равномерно расположенными энергетическими уровнями воздействующим на кристаллическое тело**

Ансамбль идентичных двойных ям, находящихся в тепловом равновесии, обладает средней поляризуемостью, определяемой преобладанием числа систем в низшем состоянии над числом систем в высшем состоянии, так как оба состояния имеют равные и противоположные поляризуемости. В кристаллах идентичные состояния могут группироваться в микро области, образуя домены с различными направлениями поляризуемости. При наложении на кристалл механических напряжений и импульсного электромагнитного поля на жесткие диполи двойных потенциальных ям и на домены с противоположно направленной поляризацией действуют пары сил с моментом  $M$ :

$$M = [p_e E] \quad (1)$$

стремящиеся повернуть диполи и домены в направлении вектора напряженности поля, что приводит к образованию деклинаций и разрушению атомных связей в первую очередь по границам зерен как наиболее слабой составляющей породного матрикса.

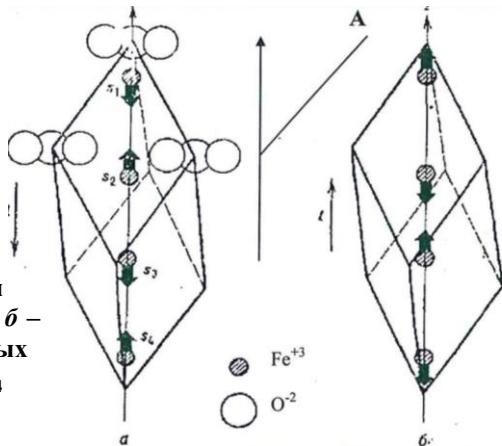
Кроме того, на жесткий диполь в однородном электрическом поле действует сила  $F$ :

$$F = grad(p_e E) = p_e dE/dx \quad (2)$$

где  $dE/dx$  – изменение поля  $E$  на единицы длины вдоль оси диполя. Сила  $F$  направлена вдоль  $dE/dx$  и стремится переместить диполь в область больших значений  $E$  поля, создавая растягивающие усилия между диполями с противоположной поляризуемостью [9].

При обработке горных пород, содержащих минералы, обладающие пьезоэффектом (кварц, турмалин, титанат бария, сегнетова соль, цинковая обманка и др.), за счет разделения положительных и отрицательных электрических зарядов и образования диполей на поверхности кристаллитов, при механической деформации и воздействии электромагнитного поля также возникают растягивающие напряжения и механические моменты, дающие свой вклад в разрушении породы по границам зерен.

Аналогичные эффекты возникают и при совместном воздействии механическими напряжениями и электромагнитным полем на ферромагнитные минералы (магнетит, мартит, магнезит, ильменит, титаномагнетит, оксиды марганца и кобальта и др.), у которых совместно с электрическими диполями эффективно взаимодействуют с электромагнитным полем магнитные диполи и домены рис.4.



**Рис.4. Элементарная магнитная ячейка:  $a$  и  $b$  – направление магнитных моментов ионов  $s_1-s_4$  в доменах;  $A$  – ось анизотропии**

Для обнаруженных новых явлений: «магнит кинетического эффекта» в железистых кварцитах и эффекта падения электросопротивления на 1-4 порядка в результате воздействия импульсного электромагнитного поля, возникла возможность объяснить их и с позиций квантовой теории поля [1].

Так, например, в работе [5,7] приведена линейная зависимость холловского сопротивления от магнитного поля (рис. 4), где видим последовательность так называемых холловских плато, на которых  $\rho_{xy}$  равно универсальной константе

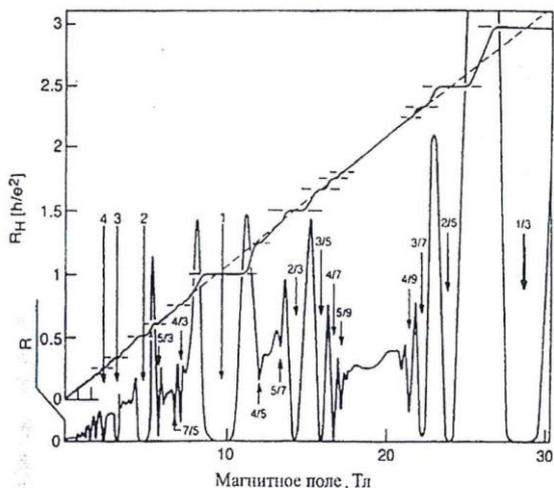
$$\rho_{xy} = \frac{1}{\nu} \frac{h}{e^2}, \quad (3)$$

где  $\nu$  – независимой от всех микроскопических деталей (включая точное значение магнитного поля).

С каждым из этих плато связано поразительное падение диссипативного сопротивления  $\rho^{\wedge} \rightarrow 0$ , которое в областях плато уменьшается на 13 порядков величины. Очевидно, что система проходит через некоторую последовательность фазовых переходов в высоко идеализированные без диссипативные состояния. Так же как в сверхпроводнике, без диссипативное состояние поддерживает незатухающие токи. Это явление можно продемонстрировать на образцах, имеющих геометрию диска Корбино, показанную на рис. 5.

Приложенный дополнительный магнитный поток через диск производит, вследствие индукции Фарадея, зависящее от времени азимутальное электрическое поле. Возникающий импульс тока направлен под прямым углом к полю  $E$  и создает радиальную поляризацию заряда, как показано на рис. 6. Эта поляризация вызывает постоянное радиальное электрическое поле, которое, в свою очередь, служит причиной возникновения постоянных азимутальных токов. Измерение методом крутильного магнитометра [5,7] показало, что при очень низких температурах токи могут не затухать в течение  $\sim 10^4$  секунд. После этого времени малая величина позволяет радиальным зарядам постепенно диссоциировать. Можно считать, что азимутальные токи постепенно по спирали уходят на внешний край вследствие того, что холловский угол (между током и электрическим полем) меньше  $90^\circ$  (на  $\sim 10^\circ$ ).

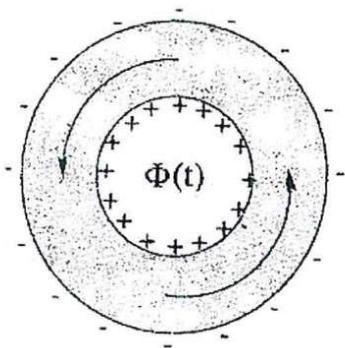
Показано, что потенциал случайно расположенных примесей (подразумеваемая наличие андерсоновской локализации) является необходимым условием появления холловских плато.



**Рис. 5.** Экспериментальные данные по транспорту в режиме целочисленного и дробного квантового эффекта Холла показывают области плато в холловском сопротивлении  $R_H$  и связанные с ними провалы в диссипативном сопротивлении  $R$  (области на рисунке обозначены стрелками). Числа обозначают факторы заполнения уровней Ландау, при которых возникают различные особенности (из работы [5])

Полное объяснение обнаруженного в наших экспериментах нового физического явления с рабочим названием – «квантово-кинетический эффект» в кристаллических горных породах, связанного с резким снижением электросопротивления на 3-4 порядка, в частности для магнетитовых кварцитов, под воздействием мощных импульсов высокоградиентных магнитных воздействий, с позиций квантовой механики требует дальнейших теоретических и экспериментальных исследований на базе современной сильноточной аппаратуры, нанометрии, вычислительной техники. Эти исследования является следующей нашей научной задачей. [1], [2], [3], [4], [9], [10].

Таким образом на процесс деструкции горных пород под воздействием одновременных импульсных электромагнитных и упругих динамических волновых воздействий при взрывной отбойке породы влияют механические, квантовомеханические, разнообразные электрические и магнитные свойства минеральных фаз, составляющих породу, что не наблюдается при традиционных механических методах разрушения.



**Рис. 6. Незатухающий ток, циркулирующий в приборе с геометрией диска Корбино в режиме квантового эффекта Холла. Радиальное электрическое поле поддерживается зарядами, которые не могут переместиться обратно, поскольку  $a \wedge$  почти равна нулю. Эти заряды возникают вследствие импульса радиального тока, связанного с азимутальным электрическим полем, которое создано приложенным потоком  $\langle D(t) \rangle$**

Такой широкий и многосторонний комплекс воздействия на минеральные компоненты позволяет включить в процесс разрушения не используемые ранее свойства минеральных фаз и, в результате этого, повысить эффективность процессов деструкции породы и раскрытия зерен минералов.

Следует сделать особый акцент на практическом использовании обнаруженных в кристаллических горных породах (железистых кварцитах), новых явлений протекающих под воздействием одновременных импульсных электромагнитных и упругих динамических волновых воздействиях. Эффект деструкции межзерновой кварцевой матрицы, содержащей например зёрна магнетита, способствует раскрытию межзерновых границ и, соответственно, нарушению генетического контакта включений  $Fe_3O_4$ ,  $Fe_2O_3$  и других включений в кварцевой матрице. Есть основа-

ния утверждать, что этот эффект и эффект снижения электросопротивления можно направленно использовать в технологическом извлечении минералов из кристаллических горных пород и в других процессах: в частности извлечения магнетита и других тонковкрапленных минералов из кристаллических горных пород; в создании новых процессов малооперационной ресурсосберегающей технологии взрывной рудоподготовки; в технологических процессах связанных с бурением скважин и проходки горных выработок в сложноструктурных массивах крепких горных пород, а также в геофизике при разведке, зондировании недр и при решении геоэкологических проблем, связанных с добычей и переработкой полезных ископаемых [6], [8], [11].

## Список литературы

1. Анисимов В.Н. Взрывомагнитная деструкция кристаллических материалов (горных пород) различными импульсными динамическими воздействиями. Издательство Военно-инженерной Академии им. Н. Е. Жуковского, 2008. С.128.
2. Анисимов В.Н., Логачев И.И. О возможности использования высокоградиентных магнитных полей при деструкции железистых кварцитов в массиве. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). № 1 год: 2017 страницы: 210-216.
3. Анисимов В.Н. О взрывомагнитной деструкции сложно структурированных железистых кварцитов с учетом геолого-геофизических особенностей и условий рационального недропользования Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал) № 6 2018 г. С 80-97.
4. Anisimov V N, Morozov V N. «Ferruginous Quartzite Destruction under High Explosion and Magnetic Effect» /Proceedings of the 6th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction Metallurgical Industry Press. Cina-Dalayn, 2009, p. 209-212.
5. Stormer H.L. Physica B177, 407 (1992).
6. Чантурия В.А., Трубецкой К.Н., Викторов С.Д., Бунин И.Ж. Наночастицы в процессах разрушения и вскрытия геоматериалов. Российская академия наук Институт проблем комплексного освоения недр ИПКОН РАН Москва 2006. С.215.
7. Eisenstein J.P., Stormer H.L., Narayanamurti V., Cho A.Y., Gossard A.C., and Tu C.W., Phys. Rev. Lett. 55, 875 (1985).
8. Анисимов В.А. Обоснование разработки железнорудных месторождений взрывными воздействиями с учетом геолого-геофизических особенностей и условий рационального недропользования.
9. Анисимов В.Н., Логачев В.И., Логачев И.И. Использование высокоградиентных электромагнитных полей для разрушения поликристаллических материалов на примере железистых кварцитов. Номер 11, 2019г. Краткие сообщения по физике ФИАН.
10. Мощные источники магнитного поля. Промышленные ведомости №5-6. Июнь 2013 г. ФИАН-информ.
11. Anisimov V.N., Adamchuk A.M., Uvarov V.M., Scherbakov A.Y. Environmental safety in mining and processing of mineral raw materials under the conditions of rational nature management as exemplified by the kursk magnetic anomaly region Indian Journal of Science and Technology. 2016. Т. 9. № 46. С. 107486.
12. Анисимов В.Н., Смольяков А.Р. Анализ и перспективы воздействий импульсных электромагнитных и одновременных упругих волн напряжений при рудоподготовке железистых кварцитов. ГИАБ, №8 2007, стр. 13-24.

# МЕТОДИКА К ОЦЕНКЕ ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА В БЛИЖНЕЙ ПРИКОНТУРНОЙ ЗОНЕ КАРЬЕРА

Аленичев И.А.<sup>1</sup>, Рахманов Р.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> БВР ООО «Полюс Проект», г. Красноярск

<sup>2</sup> ИПКОН РАН, г. Москва

Технологией буровзрывных работ производится не только дробление горных пород до требуемой кондиции куска взорванной горной массы, но и оформляется конечный контур карьера. В ходе оформления контура должен меняться подход к буровзрывным работам исходя из приоритета обеспечения безопасности горных работ. Однако, на многих карьерах, взрывы, производимые вблизи предельного контура карьера, продолжают проектироваться по общепринятым параметрам размещения и заряжания скважин без разделения на рабочий и приконтурный блоки.

Основные аспекты повреждения борта карьера от производства массовых взрывов, в зависимости от механизма разрушения можно разделить на две группы. Первый механизм – образование новых и расширение существующих трещин в ненарушенном массиве, второй – смещение по поверхностям неблагоприятно ориентированных трещин и разломов.

Первый механизм является эффектом так называемой ближней зоны взрыва (непосредственный контакт взрывающегося блока с охраняемым участком массива). И здесь необходимо рассматривать комплексное воздействие на массив как взрыва отрезной щели, так и приконтурного блока, способных «навести» дополнительную трещиноватость. Основными факторами, которые способствуют образованию новых трещин и расширению существующих в ближней зоне, являются высокая амплитуда скоростей смещения частиц породы и запредельное давление газообразных продуктов детонации взрывчатого вещества.

Второй механизм характерен для дальней зоны взрыва (сотни и более метров от взрыва). Дальняя зона характеризуется относительно небольшими скоростями смещения, неспособными привести к образованию или расширению трещин, но в совокупности с низкими частотами, характерными для этих зон, возможно возникновение опасных смещений по поверхности неблагоприятно ориентированных трещин и разломов, способных вызвать обрушение отдельного уступа или борта в целом.

Таким образом, для оценки зоны разрушения вокруг скважинного заряда необходимо понимать, какие значения реальных скоростей смещения частиц породы порождает взрыв заряда. Дробление массива про-

исходит очень близко к взрывной скважине, поэтому скорость смещения частиц породы зачастую невозможно измерить на таком близком расстоянии, не повредив при этом измерительное оборудование. На глубоком золотодобывающем карьере «Восточный» проведены серия экспериментальных взрывов [1]. Идея эксперимента заключалась в фиксации единичной формы волны от взрыва скважины без наложения сигналов друг на друга.

Интерпретация вибрации в ближней зоне отличается от классических оценок, характерных для дальней зоны взрыва, где основным критерием является приведенное расстояние, учитывающее расстояние измерительной станции от источника взрыва ( $R$ , м) и заряд ВВ в ступени замедления ( $W$ , кг). Объясняется это тем, что в дальней зоне наблюдения заряд рассматривается как точечный источник, поскольку расстояние измерения значительно больше длины колонки заряда. В ближней же зоне нельзя игнорировать длину заряда, а следует учитывать суммарный вклад всех единичных зарядов в общий вибрационный эффект.

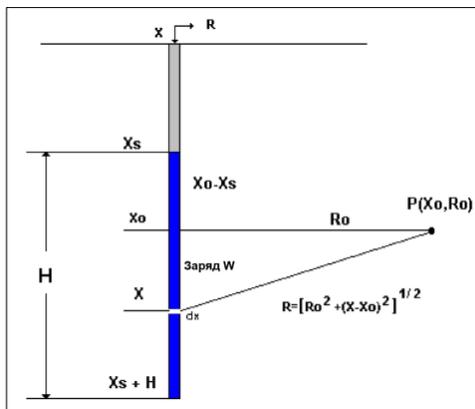
Наилучшим образом для интерпретации вибрации в ближней зоне подходит модель Holmberg and Persson (шведский метод). Модель Н&Р впервые была опубликована в 1978 г. [2] и по сей день является одним из основных инструментов инженеров взрывников и геотехников по оценке зон разрушения вокруг единичного скважинного заряда [3-5]. В ней учитывается геометрия расположения источника вибрации (конструкция скважинного заряда) относительно точки наблюдения (рис. 1). Общую зависимость определения скорости смещения, исходя из модели Н&Р, можно представить следующим образом:

$$PPV = K \left[ \left( \frac{P}{R_0} \right) \left( \arctan \left( \frac{H+X_S-X_0}{R_0} \right) + \arctan \left( \frac{X_0-X_S}{R_0} \right) \right) \right]^\alpha,$$

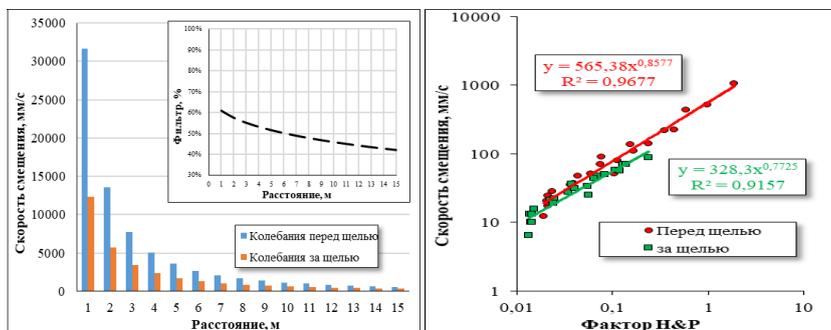
где  $K$  — коэффициент грунтовых условий, зависящий от свойств пород в точке исследования и от типа ВВ;  $\alpha$  — показатель степени затухания колебаний;  $P$  — вместимость ВВ в одном метре скважины, кг;  $R_0$  — расстояние от источника колебаний до исследуемой точки в плане, м;  $H$  — длина заряда ВВ, м;  $X_S$  — длина забойки, м;  $X_0$  — глубина расположения исследуемой точки, м

На рис. 2 представлена комплексная оценка полученных в результате эксперимента скоростей смещения частиц горной породы с определением коэффициента фильтрации отрезной щели для одного из экспериментальных взрывов. Построение зависимости скорости смещения от фактора Н&Р позволяет определить эмпирическую зависимость затухания колебаний с расстоянием для конкретного участка карьера с получением коэффициентов  $K$  и  $\alpha$ , которые в дальнейшем будут участвовать в моделировании зон дробления, а также оценить, насколько предвари-

тельное шелеобразование снижает вибрацию за предельным контуром карьера. В зависимости от расстояния до отрезной щели и от конструкции скважинного заряда фильтрация может изменяться.



**Рис. 1. Определение вибрации в исследуемой точке массива относительно конструкции заряда (Holmberg and Persson, 1978 [2]) Fig. 3. Determination of vibration at the research point of the rock mass relative to the charge design (Holmberg and Persson, 1978 [2])**



а)

б)

**Рис. 2. Комплексная оценка скорости смещения частиц породы с определением коэффициента фильтрации отрезной щели: а) результаты измерений для одиночных зарядов скважин экспериментального блока; б) полученные математические зависимости**

Несмотря на свою простоту применения модель Н&Р обладает рядом недостатков, которые вносят сильный консерватизм в параметры БВР. Основным недостатком является то, что модель не учитывает динамику взрывного процесса. В динамических моделях передача энергии горной породе должна учитывать скорость детонации ВВ (D), а также скорость распространения продольной волны в породе ( $V_p$ ). Модель Н&Р предполагает бесконечное значение D. В действительности, соотношение D и  $V_p$  имеет большое значение. Вторым недостатком является то, что модель не учитывает расположение инициатора (промежуточного детонатора) в скважине и предполагает взрыв всей скважины одновременно. Именно по этой причине разрушение вокруг скважины представляется в форме эллипса со значительным расширением в верхней и нижней частях заряда. Реальная форма разрушения с учетом расположения промежуточного детонатора и свободной поверхности должна напоминать воронку с постепенным расширением от торца скважины к устью. В идеале, модель Н&Р несколько переоценивает вибрацию в ближней зоне взрыва, тем самым подтверждая выводы о консервативности данной модели.

Перечисленные выше недостатки не умоляют ценности модели Н&Р. Правильно откалиброванная модель позволит прогнозировать и оптимизировать параметры БВР не только на приконтурных, но и на рядовых рабочих блоках. Калибровка модели связана с установлением реальных критериев разрушения пород. В мировой практике принято вводить так называемый коэффициент динамичности, повышающий сопротивляемость горных пород взрывным нагрузкам. Вопрос калибровки полученной модели в горно-геологических условиях карьера «Восточный», в настоящее время находится в стадии исследования. При этом в рамках данного направления, считаем целесообразным изучить и взаимно увязать теорию газодинамического действия взрыва с учётом замедлений между взрываемыми скважинами и механизмов разрушения горных пород. Применение приведённого подхода к определению параметров буровзрывных работ для приконтурной зоны позволит оптимизировать схемы взрывания для глубокого карьера и повысит безопасность горных работ.

### Список литературы

1. Аленичев И. А., Рахманов Р. А., Шубин И. Л. Оценка действия взрыва скважинного заряда в ближнем поле с целью оптимизации параметров буровзрывных работ в приконтурной зоне карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 4. – С. 85–95. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-4-0-85-95.

2. Holmberg R., Persson P-A. The Swedish Approach to Contour Blasting – Proceedings of the 4th Conference on Explosives and Blasting Technique, Ed. Konya, C.J., Society of Explosives Engineers, New Orleans, Louisiana, 10-15th February, 1978, pp. 113-127.

3. Tannant D. D., Peterson J. Evolution of blasting practices at the Eka-ti™ diamond mine – 17<sup>th</sup> International Mining Congress and Exhibition of Turkey, 2001, pp. 297-304.

4. Hustrulid W. Blasting principles for open pit mining. Volume 1 – General design concept, 1999, 372 p.

5. Shrey A., Kaushik D. Estimation of near-field peak particle velocity: A mathematical model. Journal of Geology and Mining Research, September 2010, Vol. 2(4), pp. 68–73.

## **РАЗВИТИЕ МИКРОТРЕЩИН И ДЕЗИНТЕГРАЦИЯ ОБРАЗЦОВ УГЛЕЙ ПРИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

**Кочанов А.Н., Бунин И.Ж., Долгова М.О.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

Создание максимально безопасных и эффективных условий работы при подземной добыче угля невозможно без прогнозирования катастрофических событий в виде горных ударов или внезапных выбросов угля и газа. Теоретические и экспериментальные исследования, направленные на решение проблемы внезапных газодинамических явлений на шахтах, проводятся уже десятки лет, но механизм внезапного разрушения угля, характерный для этого явления в полной мере не понятен до сих пор. Так, дискуссионным является вопрос о роли микроструктуры угля и свободного и/или связанного (адсорбированном, абсорбированного и растворенного в твердом веществе) газа на динамику такого разрушения.

Ранее в [1-3] предприняты попытки изучения структуры углей и особенностей их разрушения при различных видах воздействия. В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния нетеплового воздействия мощных (высоковольтных) наносекундных импульсов [2-5] на процесс образования и развития микротрещин в образцах природных углей различных типов. Электромагнитную импульсную обработку минеральных проб проводили на воздухе с использованием экспериментального лабораторного стенда (ИПКОН РАН; НПП ФОН, г. Рязань) [5] при стандартных условиях и следующих параметрах высоковольтных наносекундных импульсов:

вид импульсов – видеоимпульсы; длительность импульса — 10 нс, амплитуда напряжения на активном электроде  $\sim 25$  кВ, напряженность электрического поля  $\sim 10^7$  В $\times$ м $^{-1}$ , энергия в импульсе — 0,1 Дж, частота повторения импульсов 100 Гц; диапазон изменения времени электроимпульсной обработки  $t_{\text{обр}} = 60 - 300$  с («доза» электромагнитного излучения — число импульсов  $N_{\text{имп}} = 6 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^4$ ). Образцы углей представляли собой фрагменты неправильной формы размером от 5 до 10 мм, отобранные как из выбросоопасных, так и невыбросоопасных пластов. Исследования изменений структуры поверхности углей до и после воздействия МЭМИ выполнены методом растровой электронной микроскопии (РЭМ, растровый электронный микроскоп JEOL–JSM-6610LV, ИПКОН РАН). Для изучения внутренней структуры образцов до воздействия использовали метод рентгеновской компьютерной микротомографии (РКМТ, микротомограф SkyScan 1272, МГУ), — метод, получивший широкое распространение для изучения элементов структуры различных материалов, в том числе минералов, горных пород и руд.

При обработке цифровых изображений поверхности угольных образцов до и после воздействия, полученных с помощью электронной микроскопии, основное внимание уделялось микротрещиноватости. Установлено, что в отдельных образцах как из выбросоопасных, так и невыбросоопасных пластов при выборочном анализе их поверхности до электромагнитного воздействия присутствовали немногочисленные микротрещины, величина раскрытия которых составляла 0,2-0,3 мкм. После воздействия МЭМИ образование микротрещин происходило преимущественно в образцах из выбросоопасных пластов. В отдельных образцах образовывались многочисленные микротрещины, раскрытие которых достигало 1,5-2,0 мкм.

Методом РКМТ получены изображения (срезы) внутренней структуры образцов углей из выбросоопасного пласта шахты Березовская (Кузбасс) и невыбросоопасного пласта шахты Комсомольская (Воркута). Основное отличие состоит в том, что первый образец имел сеть микротрещин, а во-втором микротрещины не наблюдались, то есть уголь из выбросоопасного пласта обладал значительно большей степенью исходной нарушенности, чем уголь невыбросоопасного пласта. Методом РКМТ получены изображения внутренней структуры образца угля по трем взаимно-перпендикулярным направлениям с отдельными микротрещинами после обработки МЭМИ. В отдельных образцах из выбросоопасного пласта (Кузбасс) прослеживалась система протяженных микротрещин длиной до 5,0-6,0 мм и с величиной раскрытия до 30-40 мкм. Следует отметить тот факт, что для образцов, на поверхности которых после воздействия МЭМИ методом РЭМ обнаружены много-

численные трещины, по результатам компьютерной микротомографии объемной структуры этих же образцов микротрещин не обнаружено. Таким образом, образование микротрещин происходило преимущественно в поверхностном слое фрагментов угля. По всей видимости, развитие микротрещин на поверхности образцов может быть связано с проявлением скин-эффекта – уменьшением амплитуды электромагнитных волн по мере их проникновения вглубь проводящей среды, в результате чего диссипация энергии электромагнитного поля происходит не равномерно по сечению образца, а преимущественно в поверхностном слое.

Далее рассмотрим результаты исследований по дезинтеграции образцов углей, которые были подвергнуты мощному динамическому воздействию (взрывом) [6]. Первая группа образцов была представлена антрацитом (шахта 50 лет Октябрьской революции). Внезапные выбросы угля и газа на этой шахте не наблюдались. Вторая группа образцов угля отобрана на шахте им. Калинина, газоопасность пласта 25 м<sup>3</sup>/т, пласт особо опасный по внезапным выбросам. В результате динамического воздействия образцы, помещенные в специальные ампулы сохранения, оказались разрушены до отдельных частиц. С помощью лазерной спектроскопии в воздушной среде было проанализировано их распределение в диапазоне размеров от 0,3 до 10 мкм. Анализируя это распределение, можно отметить, что образцы угля из выбросоопасного пласта отличались повышенным содержанием субмикронных частиц размером порядка 0,3 мкм, которое составляло почти 80% от их общего числа.

Таким образом, в результате исследований установлено, что электромагнитное импульсное воздействие может приводить к образованию в угле отдельных микротрещин, величина раскрытия которых для условий эксперимента составила 1,5-2,0 мкм. Образование микротрещин в результате воздействия МЭМИ происходило преимущественно для образцов выбросоопасных пластов. При дезинтеграции в условиях мощного динамического воздействия образцы угля из выбросоопасного пласта отличались повышенным содержанием субмикронных частиц порядка 0,1 мкм. Эти отличия в характере процесса дефектообразования и дезинтеграции образцов углей различных типов, возможно, связано с их петрофизическими особенностями как гетерогенной системы, содержащей твердую составляющую (фазу) и газообразные продукты. Полученные результаты представляют интерес для выяснения механизма внезапных выбросов угля и газа.

*Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ проект № 18-05-00912.*

## Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Рубан А.Д., Викторов С.Д., Малинникова О.Н., Одинцев В.Н., Кочанов А.Н., Учаев Д.В. Фрактальная структура нарушенности каменных углей и их предрасположенность к газодинамическому разрушению // ДАН РФ. 2010. Т.431. №6. С.818-821.
2. Подгаецкий А.В., Бунин И.Ж., Эпштейн С.А. Влияние комбинированной (криогенной и электромагнитной импульсной) обработки на механические свойства каменных углей // ГИАБ. 2009. №3. С.159-167.
3. Малинникова О.Н., Одинцев В.Н., Кочанов А.Н., Бунин И.Ж., Долгова М.О. Микроразрушение в образцах углей в результате электромагнитного импульсного воздействия // Труды XXII Международного симпозиума «Упорядочение в минералах и сплавах» ОМА-22. Ростов-на-Дону – пос. Шепси, 9-14 сентября 2019. Фонд науки и образования. 2019. Вып. 22. Том.1. С. 93-95.
4. Чантурия В.А., Бунин И.Ж., Ковалев А.Т. Механизмы дезинтеграции минеральных сред при воздействии мощных электромагнитных импульсов // Известия РАН. Серия физическая. 2004. Т. 68. № 5. С.629-631.
5. Бунин И.Ж. Теоретические основы воздействия наносекундных электромагнитных импульсов на процессы дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов и извлечения благородных металлов из руд // Дисс. ... д-ра техн. наук. – М.: ИПКОН РАН, 2009. 324 с.
6. Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Одинцев В.Н. Фрагментация образцов углей при интенсивном динамическом воздействии // Известия РАН. Серия физическая. 2019. Т.83. №6. С.743-746.

## ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА ТРАНСПОРТНО- ПЕРЕСАДОЧНОГО УЗЛА

Негурица Д.Л.<sup>1</sup>, Терешин А.А.<sup>2</sup>, Медведев Е.А.<sup>2</sup>, Слободин К.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> МГРИ,

<sup>2</sup> ИНТСС НИУ МГСУ,

<sup>3</sup> НТЦ «Геотехническое сопровождение в строительстве»  
ИНТСС НИУ МГСУ, г. Москва

Необходимость развития и реновации транспортной структуры г. Москвы ставит задачи по геомеханическому обеспечению строительства многофункциональных центров с подземной частью в районах с развитой инфраструктурой в мегаполисе для обеспечения безопасности строительства и окружающей застройки и инженерных сетей, попадающих в зону влияния строительства [1].

Геологическое строение площадки строительства Многофункционального центра с автовокзалом принято по результатам инженерно-геологических изысканий, выполняемых до начала проектирования и строительства [2].

В геоморфологическом плане участок расположен в пределах водораздельной водно-ледниковой равнины. Преобразованный за период застройки рельеф участка – ровный, с небольшим уклоном в восточном направлении.

Участок работ расположен на асфальтированной территории, включающей старое здание автовокзала. Подземное пространство осложнено большим количеством инженерных сетей. Вдоль западной границы площадки проходят пути оборотного тупика станции метрополитена. Инженерно-геологические условия площадки строительства относятся ко II (средней) категории сложности. Участок строительства является потенциально-опасным по возможности развития карстово-суффозионных процессов. Другие негативные процессы, кроме подтопления и сезонного промерзания, отсутствуют [3].

Здание имеет 6 надземных этажей + технический, подземных этажей – 5.

Проектируемая подземная часть здания в плане имеет прямоугольную форму габаритами (в осях) 217 x 70 м, материал несущих конструкций – монолитный ж/б, шаг несущих конструкций 9,0 м.

Глубина котлована от поверхности составляет 24 м, ограждение которого выполняется монолитной траншейной стеной в грунте толщиной 800 мм.

Стена в грунте при возведении подземной части и в период эксплуатации воспринимает горизонтальные нагрузки со стороны грунта, а также нагрузки от колонн надземной части и пяти перекрытий, опирающихся на стену по всему периметру подземной части здания и рассчитана на вертикальную нагрузку от веса перекрытий и строительной нагрузки от складываемых на них стройматериалов и малогабаритной техники в строительный период, а также на постоянную нагрузку от перекрытий и в период эксплуатации здания [4][5].

Глубина стены в грунте составляет 53 м при условии заглубления стены в водоупорный слой глин не менее 2 м.

В целях минимизации влияния на окружающую территорию и существующие здания и коммуникации строительство подземной части проектируемого здания ведётся методом «сверху – вниз» («top-down»).

При строительстве подземной части здания методом «сверху – вниз» в качестве распорных конструкций, обеспечивающих прочность и устойчивость стены в грунте при разработке котлована, используются

диски перекрытий подземных этажей строящегося здания. Перекрытия устраиваются по мере разработки грунта в котловане и опираются на временные колонны из металлопроката.

Временные колонны выполняются по сетке проектируемых колонн подземной части здания до начала разработки грунта в котловане и после разработки грунта и бетонирования плит перекрытия, они обетонируются и работают в составе постоянных колонн здания в эксплуатационный период.

Стена в грунте распирается по всему контуру дисками перекрытий толщиной 500 мм.

Такая схема строительства подземного пространства проектируемого здания обеспечивает минимальные горизонтальные деформации стены в грунте и, как следствие, минимальные дополнительные осадки окружающей территории и расположенных в зоне влияния сооружений и коммуникаций.

Для снижения деформаций, усилий и величины заглубления стены в грунте ниже дна котлована путем предварительного закрепления толщи грунтов в зоне пассивного давления создается с поверхности земли до начала работ по откопке котлована геомассив из грунтоцементных элементов с повышенными прочностными характеристиками методом струйной цементации («Jet-grouting»).

В процессе нового строительства и после его окончания должен проводиться геомеханический мониторинг перемещений и деформаций строящегося здания и существующих зданий и коммуникаций, находящихся в зоне влияния нового строительства [6]).

Геомеханический мониторинг – система геодезических и маркшейдерских наблюдений по специальной программе за подземными конструкциями строящегося здания, наблюдения за осадками и перемещениями фундаментов существующих зданий и сооружений, попадающих в зону его влияния, а также за осадками прилегающей территории и за уровнем подземных вод [7].

Для проведения мониторинга деформационных процессов необходимо осуществить прогноз изменения состояния строящегося объекта и сооружений в зоне его влияния в период строительства и эксплуатации который в практике строительства в условиях города Москвы осуществляется методом конечных элементов, в зависимости от геологических условий строительства с использованием разных моделей грунта. В случае превышения допустимых величин сдвижений и деформаций осуществляется разработка мероприятий по обеспечению сохранности существующих зданий и сооружений в зоне влияния строительства [7].

Задача геомеханических расчетов, выполняемых методом конечных

элементов – дать прогноз влияния строительства многофункционального центра на окружающую территорию и инженерные коммуникации.

При моделировании выполняются следующие работы:

1. Изучение имеющейся технической документации по объектам.

2. Построение конечно-элементной геомеханической модели массива грунта, включающей в себя возводимый объект и окружающую застройку.

3. Выбор расчетных параметров грунта на основе инженерно-геологических изысканий.

4. Расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтов основания в объемной и плоской постановках с учетом взаимодействия с подземной частью проектируемого здания.

5. Анализ расчетов НДС с учетом поэтапного строительства.

6. Построение изолиний компонент НДС, в том числе изолинии компонент напряжений и перемещений в грунтовом массиве.

7. Анализ полученных результатов расчетов с допустимыми и предельными величинами деформаций для объектов, попадающих в зону влияния строительных работ.

Расчеты выполняются в плоской постановке в программном комплексе PLAXIS 2D и в объемной постановке в комплексе PLAXIS 3D.

Для моделирования механического поведения конструкций ограждения котлована, распорных конструкций и инженерно-геологических элементов при изменении их напряженно-деформированного состояния, были использованы упругая модель и модель упрочняющегося грунта (Hardeningsoilmodel). Упругая модель использовалась для моделирования работы конструктивных материалов (бетон, металл) элементов ограждения котлована.

Геомеханический мониторинг выполняется по специально разработанной программе с целью контроля и обеспечения сохранности близрасположенных зданий и коммуникаций на стадии строительства объекта и после его завершения. Основными задачами мониторинга является – определение фактического влияния строительства на состояние охраняемых подземных коммуникаций и вмещающего их массива грунта и своевременное выявление сверхпрогнозных деформаций и повреждений подземных коммуникаций, установление причин их возникновения, определение степени опасности фактических деформаций для нормального функционирования охраняемых коммуникаций.

В ходе проведения мониторинга необходимо обеспечить принятие своевременных мер по нейтрализации или ликвидации последствий негативных воздействий от возникающих чрезмерных деформаций, сооружений и грунтового массива.

Мониторинг позволяет установить эффективность выполняемых защитных мероприятий, уточнить исходные расчетные модели, данные инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий, произвести, корректировку прогнозных расчетов и, при необходимости, защитных мероприятий.

Наблюдение за осадками сооружений, попадающих в зону влияния строительных работ, начинается до начала работ по устройству подземной части проектируемого здания. При этом необходимо обеспечить сохранность реперов для обеспечения комплексности мониторинга. [8]

При устройстве подземной части здания под защитой стены в грунте могут возникать дополнительные «технологические» деформации стены и осадки поверхности земли, вызванные как незначительными отклонениями и погрешностями при производстве строительных работ, так и серьезными нарушениями нормативных и технологических требований.

### Список литературы

1. Трубечкой К.Н., Иофис М.А. Состояние и проблемы освоения подземного пространства города Москвы // Маркшейдерский вестник. – 2007. – № 4 (62). С. 27-30.

2. ГОСТ 24846-2012. «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений», 2013.

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

4. СП 22.13330.2011 – «Основания зданий и сооружений».

5. СП 70.13330.2012 – «Несущие и ограждающие конструкции».

6. СП 126.13330.2012 «СНиП 3.01.03-84 Геодезические работы в строительстве»

7. Neguritsa D. The problems of monitoring the deformation processes in the integrated development of the underground space of metropolitan cities // E3S Web of Conferences 56, 02027 (2018). DOI: 10.1051/e3sconf/20185602027

8. Терешин А.А., Негурица Д.Л., Кирков А.Е. Восстановление опорных реперов наблюдательных станций при деформационном мониторинге // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2017. – Т. 18. – №1. С. 14-19.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

---

---

## ТЕХНОЛОГИЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ САМОХОДНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ МАШИН ПРИ ПЕРЕХОДЕ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА К НОВОМУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ УКЛАДУ\*

Каплунов Д.Р., Радченко Д.Н., Бондаренко А.А.

*ИПКОН РАН, г. Москва*

Переход к новому технологическому укладу предусматривает изменение требований к горнотехническим системам, в первую очередь – внедрение новых принципов их функционирования [1]. Поэтому, дальнейшее развитие работ в области подземной геотехнологии сопряжено с модернизацией существующего шахтного оборудования, его совершенствованием путем создания нового технологического уклада с переводом горных машин на электрический привод, их эволюции в направлении искусственного интеллекта и систем с дистанционным управлением технологическими процессами.

Во всем мире эффективность потребления электрической энергии горными предприятиями неразрывно связана с переходом на альтернативные источники энергии. Причем, солнечная и ветровая энергия на горных предприятиях Чили, Австралии, Канады – это уже традиционные способы энергоснабжения горного оборудования, включая горные машины с электроприводом.

На сегодняшний день в горной машиностроительной промышленности широко представлены различные технологии энергообеспечения самоходных аккумуляторных машин с переходом на альтернативные источники энергии непосредственно в подземных условиях [2-3]. В рамках энергообеспечения аккумуляторных горных машин предложена технология автономного электропитания, направленная на увеличение срока службы аккумулятора и повышение использования вырабатываемой энергии исследования, базировались на результатах анализа циклов работы ПДМ и автосамосвалов с поиском путей энергосбережения при работе горных машин в подземных условиях. Одно из широко известных решений данной проблемы основано на рекуперации кинетической энергии движущегося вниз по уклону груженого автосамосвала с использованием накопленной энергии.

---

\* Исследования выполняются при поддержке РФФИ (грант18-05-00114\_a)

Другим направлением совершенствования геотехнологий в усложняющихся условиях разработки месторождений при техническом переоснащении рудников является обеспечение самоходных аккумуляторных машин электроэнергией, полученной путем преобразования кинетической энергии шахтных гидротоков в электрическую. Полученную на малых гидроэлектрических установках энергию преобразуют и накапливают в аккумуляторах самоходных горных машин.

Подземные рудники, как правило, имеют разветвленную сеть вертикальных, наклонных и горизонтальных горных выработок, скважин, по которым происходит движение самотечных водоотливных потоков и потоков закладочной смеси, направляемой в пустоты отработанных камер [4,6,7].

Проведенными исследованиями доказана возможность реализации технологии полного экологического цикла транспортирования горной массы за счет перехода на самоходные аккумуляторные машины и внедрение систем энергоснабжения на основе возобновляемого источника энергии [4,5].

Предложенная технология энергообеспечения [5] базируется на создании в условиях рудника локальных энергосистем, которые включают в себя использование возобновляемого источника энергии, получаемого путем улавливания энергии рудничных гидротоков с последующим преобразованием, накоплением и передачей полученной энергии для зарядки самоходных аккумуляторных машин и станций.

Принципиально эти системы устроены следующим образом: на каждом вышележащем горизонте подземные воды собираются в водоотливных канавах горизонтальных выработок и перепускаются на нижний горизонт через специальные скважины или выстоящие. Падающие самотеком шахтные гидротоки являются самостоятельным источником для воспроизводства электроэнергии на руднике. Возможность съема возобновляемой энергии определяется схемой расположения горных выработок, высотой перепуска и конструкцией шахтных гидротурбин [8]. Далее кинетическая энергия, преобразованная в электрическую, используется для энергоснабжения зарядной станции горных машин. Выполненные исследования показали, что при применении горных машин с электрическим приводом зарядная станция может представлять собой батарею аккумуляторов горных машин, обслуживаемых талью для оперативной замены отработавших аккумуляторов горной техники. Цикл преобразования энергии повторяется, что возможно ввиду циклического характера работы горных машин в условиях подземного рудника.

Конструктивные параметры зарядных станций организованы так, что энергоспроизводящие узлы и зарядные станции перемещаются в

пространстве вслед за развитием фронта горных работ. В результате, места генерации энергии и питания аккумулирующих станций совмещаются в единую энергетическую систему, что позволит не только обеспечить бесперебойное электроснабжение зарядных станций, но и сокращение длины силовых электрических кабелей, минимизируя потери электроэнергии в сетях [5].

Так как приток подземных вод в подземное пространство является постоянным и неизбежным следствием техногенного изменения недр, использование энергии этого локального источника значительно снижает потребность во внешнем электроснабжении, а в части питания самоходных аккумуляторных горных машин может способствовать отказу от внешнего потребления.

Применение самоходных аккумуляторных горных машин, позволит сократить производственные выбросы в атмосферу, как например выбросы выхлопных газов систем ДВС и в разы снизить потребление электрической энергии на вентиляцию.

Развитие роботизированных геотехнологий, переход на автоматизированные, самоходные аккумуляторные горные машины с элементами искусственного интеллекта является важным направлением при переходе к новому технологическому укладу подземного рудника. Поэтому, создание полного экологического и сбалансированного цикла транспортирования горной массы при переходе на самоходное аккумуляторное горное оборудование в комплексе с зарядными станциями, питающимися от возобновляемых источников энергии, является не только актуальной, но и инновационной, геотехнологией.

### Список литературы

1. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Перспективные направления развития комбинированной геотехнологии в свете совершенствования технологического уклада горного производства // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле, 2019. – № 3. – С. 7-22.

2. Электронный ресурс: <https://patents.google.com/patent/CN106660461B/en?q=Charging+station+mining&oq=Charging+station+mining> Датаобращения 07.09.2020.

3. Электронный ресурс: <https://patents.google.com/patent/AU2017252183A1/en?q=Charging+station+mining&oq=Charging+station+mining> Датаобращения 07.09.2020.

4. Radchenko D.N., Bondarenko A.A. Mining engineering system as an energy asset in industry 4.0 // E3S Web of Conferences, Rudenko International Conference «Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems», RSES 2018; Irkutsk; Russian Federation; Volume 58, , № 01009, 10 October 2018.

5. Каплунов Д.Р., Радченко Д.Н., Бондаренко А.А. Патент на изобретение Способ электропитания горных машин в условиях подземных рудников. Заявка на получения патента на изобретение № 2017136683 от 16.09.2020 г.

6. Каплунов Д.Р., Лейзерович С.Г., Томаев В.К. Энерговоспроизводство при подземных закладочных работах // Горный журнал, 2013. – № 4. – С. 62-66.

7. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Возобновляемые источники энергии как георесурс в системе техногенного преобразования недр // Горный журнал, 2015. – № 9. – С. 72-75.

8. Туркин И.С., Князькин Е.А., Бондаренко А.А. Исследование технологии производства электроэнергии от потоков гидросмесей для повышения энергоэффективности освоения золоторудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2020. – № 3. – С. 138-150.

## **К ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ ОБ АНКЕРНОМ КРЕПЛЕНИИ СТЕНКИ И КРОВЛИ ВЫРАБОТКИ**

**Трофимов В.А., Филиппов Ю.А.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

### **Введение**

Анкеры широко используются в качестве эффективного метода укрепления стенок и потолочин туннелей и горных выработок различного назначения. В этих проектах, когда анкер установлен в скважине, пробуренной в массиве, взаимодействие анкера и породы на поверхности имеет тенденцию сдерживать деформацию и ослабление пластов, окружающих выработку, делая анкера одной из важнейших компонент в системе крепления выработки. Тем не менее, контактные характеристики взаимодействия анкера и массива до сих пор на сформулированы в полной мере. Чтобы оптимизировать усиливающее воздействия анкера, необходимо провести исследование механического поведения анкера в различных горно-механических условиях.

Среди различных типов анкеров наиболее практичными являются полностью залитые анкера не только из-за их простой установки и хороших укрепляющих свойств, но и из-за низкой стоимости. Полностью залитый анкер — это анкер вставленный в скважину и зацементированный по всей длине. При этом вся суммарная система укрепления состоит из четырех основных элементов: скальная порода, усиливающий элемент, внешнее зажимное приспособление и внутреннее зажимное приспособление. Полностью залитый анкер представляет собой собст-

венно усиливающий элемент в виде стального стержня с резьбой на внешнем конце, внешнее зажимное приспособление (пластинку – face-plate) и гайку.

Эффект скрепления между болтом и массивом в основном зависит от внутреннего сцепления, которое связано с залитым материалом, например, смолой или цементным раствором. В соответствии с различными материалами для заливки, полностью залитые анкера можно разделить на два основных типа: залитые цементным раствором и болты, залитые смолой. Поскольку метод заливки и время отверждения для этих двух типов болтов различны, формирование механизмов роста прочности также различно.

Был проведен ряд исследований, посвященных изучению передачи нагрузки для полностью залитых анкеров. В основном используется метод испытание на вытягивания анкера, через прикрепленные к нему тензометрические датчики.

Трудность осуществления точного моделирования обусловлена сложными механизмами формирования прочности межфазной связи, которая является следствием комбинированного действия адгезии, механической блокировки (interlock) и осевого трения. Проблема может быть существенно упрощена если напряжения взаимодействия определяются по возможности меньшим набором факторов. Были введены билинейная или трилинейная конститутивная модель проскальзывания (рисунок 1), из которой был получен ряд решений в замкнутой форме для полностью залитых болтов. Однако, до некоторой степени линейная модель сцепления-скольжения приводит к нереальным результатам, поскольку эксперимент показывает, что напряжение связи и относительное скольжение фактически связаны нелинейно. Схема нелинейной модели связи при проскальзывании была выдвинута показана на рисунке 1.

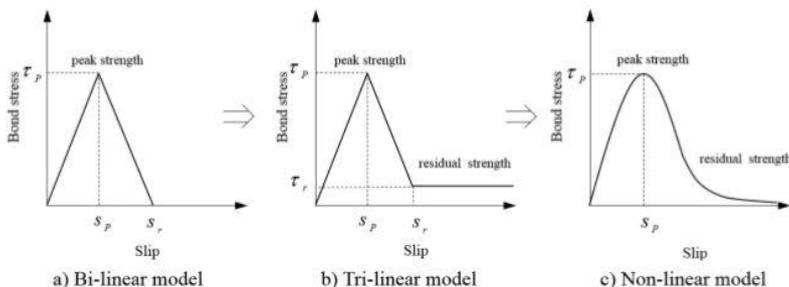


Fig. 1. Evolution of the bond-slip model.

Рис. 1. Модели деформирования материала межфазной связи

Однако было обнаружено, что вышеупомянутые модели, действующие на всем протяжении анкера, являются идеализациями; теоретический анализ и практические измерения показали, что связь с учетом проскальзывания колеблется вдоль анкера на разных его участках, что указывает на необходимость дополнительного изучения происходящих процессов.

Исследования поведения анкера *in situ* показали, что в случае натуральных экспериментов имеются существенные отличия от экспериментов на вытягивание. Полевые эксперименты по мониторингу анкеров в экспериментальном туннеле Kielder привели к теории нейтральной точки, которая предлагала, что генерируются два сдвиговых напряжения в противоположные стороны на обеих сторонах нейтральной точки. Один сегмент анкера тянет его к границе выработки, в то время как нагрузка на другой сегмент толкает анкер вглубь массива. Проверенные на практике положения усложнили представления о механическом поведении анкера.

В дополнение к аналитическому методу, ряд численных методов были предложены для описания *in situ* поведения анкеров чтобы избежать непосредственного решения нелинейных дифференциальных уравнений, и некоторые из этих методов были внедрены в *discontinuous* алгоритмы анализа деформаций (DDA) для применения для более сложных сценариев.

В заключение следует отметить, что существует несколько препятствий для анализа полностью залитых болтов. Во-первых, практическую характеристику проскальзывания трудно уловить, а предыдущие модели – идеализации.

Во-вторых, сложные взаимодействия между массивом, цементным раствором и анкерами часто требуют моделей с многочисленными параметрами и формулами, что является неудобным в применении. Наконец, неоднородная деформация во вмещающем массиве в целом еще явно непонятна. Это исследование направлено на решение вышеупомянутых проблем и предлагает простые, надежные и точные аналитические модели для полностью закрепленных анкеров в испытаниях на вытягивание и в натуральных условиях.

Исследования, связанные с оценкой особенностей разрушения, особенно в геомеханике, составляют важный класс задач. Это весьма сложная задача, подходы к решению которой сформировались лишь в последнее время. Подходы к решению таких задач весьма разнообразны, однако по большей части, не отражают реальные процессы, протекающие в разрушающейся среде. В основе их лежат многие допущения, заранее предопределяющие зоны возникновения разрушения и характер его последующего протекания. В частности, практически все методы

оценки устойчивости откосов основаны на поиске некоей поверхности сдвигающейся с последующей оценкой силового равновесия по ней.

Всякое разрушение, как правило, связано с формированием некоей поверхности, на которой локализовано это разрушение, и положение которой определяется свойствами материала и условиями нагружения. При этом ее положение заранее не выделяется в пространстве, т.е. она формируется непосредственно в процессе разрушения, как в динамическом, так и квазистатическом режиме.

Отметим появление метода SSR (Stress Strength Reduction), позволяющего исследовать устойчивость горнотехнических конструкций без предварительного задания поверхности сдвигающейся. Он основан на итерационном процессе постепенного уменьшения прочностных параметров материалов, слагающих массив, и отслеживании величины выбранного маркера. Простой в своей идеологии, он стал возможен только после создания мощных вычислительных средств и программных продуктов.

Рассматриваемые задачи успешно могут быть решены в рамках мезомеханического подхода, который фактически представляет решение динамической задачи деформирования с медленно изменяющимися параметрами среды и соответствующих нагрузок.

### **Выводы**

В представленной работе используется достаточно распространенный подход, суть которого состоит в выборе того или иного критерия разрушения и соответствующих критериальных значений параметров, входящих в этот критерий. После нахождения напряженно-деформированного состояния исследуемой области и применения выбранного критерия, определяется некая область, в которой материал считается разрушенным. Эта область – зона разрушения. Точнее ее следует назвать зоной начального разрушения ввиду того, что материал в ней в определенной степени меняет свои деформационно-прочностные свойства, а действующие нагрузки сохраняются неизменными. При повторном расчете зона разрушения может изменить свои размеры и конфигурацию.

## **РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ СКВАЖИННОЙ ЭНДОСКОПИИ В ГОРНОМ ДЕЛЕ В ИПКОН РАН**

**Варганов А.З., Федоров Е.В.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

В течение последних десятилетий видеоэндоскопия заняла прочное положение среди методов исследования и контроля состояния и свойств природных и техногенно измененных массивов горных пород. В насто-

ящее время метод нашел широкое применение в горном и нефтегазовом деле, а так же и в подземном строительстве. Основной технологический объект, для исследования и контроля состояния которого применяется метод – скважины различных конструкций и назначения [1,2].

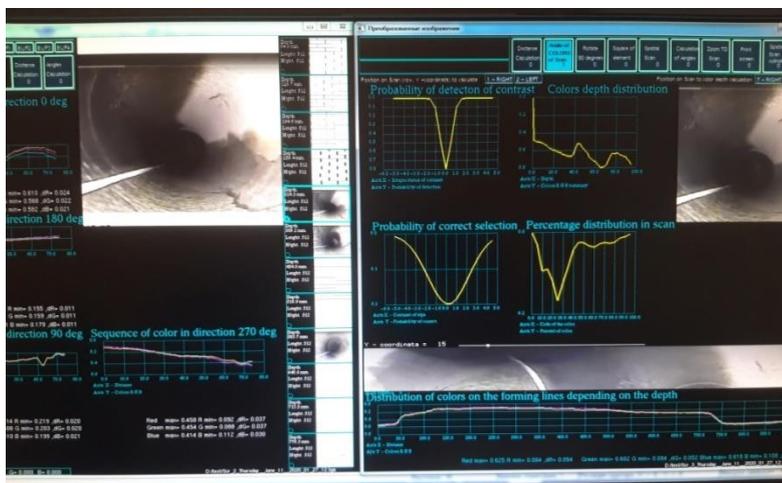
Можно выделить следующие основные группы задач, для решения которых методы видеоэндоскопии показали свою эффективность при исследовании закрепленных и незакрепленных скважин [3-8]: исследование и контроль состояния обсадной колонны, изучение геологического строения массивов горных пород в естественном и техногенно измененном состоянии, выявление различных типов нарушений в массиве, исследование трещиноватости, изучение напряженно-деформированного состояния приконтурных пространств горных выработок различного назначения и др.

В ИПКОН РАН исследования в области развития видеоэндоскопии массивов горных пород ведутся в последнее время по двум направлениям – разработка нового поколения аппаратного обеспечения скважинной видеоэндоскопии и разработка методов и средств анализа видеоматериалов, полученных при выполнении измерений.

Анализ изображений является основой всех методов интерпретации результатов видеоисследований и является в настоящее время универсальной технологией получения знаний о природных и антропогенных объектах различной природы. Широкое внедрение информационных сетей, обеспечивающих доступ к видеоинформации различного генезиса обеспечило стремительный рост нового направления мета-исследований, опирающихся на комплексный анализ 2D изображений, получаемых на натуральных объектах. Технологической основой качественной системы анализа изображений является система быстрого и качественного получения детальных 3D данных по ограниченному набору входной информации. Эти данные, имеющие зачастую различное происхождение, должны быть объединены в одну структуру с обеспечением заданного разрешения. Разработка и всестороннее тестирования этого технологического ядра является в настоящее время одной из наиболее актуальных задач обеспечения эффективного моделирования в видеоисследованиях [9-11].

В ИПКОН РАН создан и проходит тестирование программный комплекс исследования видеоизображений, полученных при видеоконтроле (видеоэндоскопии) скважин и иных подземных видеоматериалов. Математическая основа разрабатываемого программного комплекса – реконструкция изображений методом заполнения недостающей пространственной информации на основе имеющейся статистики. Такой метод нашел широкое применение в технической и медицинской эндоскопии.

Его основой являются библиотеки априорных изображений объектов, выполненных в стандартных условиях, а так же алгоритмы, обеспечивающие идентификацию объектов, зафиксированных на исследуемых изображениях как качественно, так и количественно.



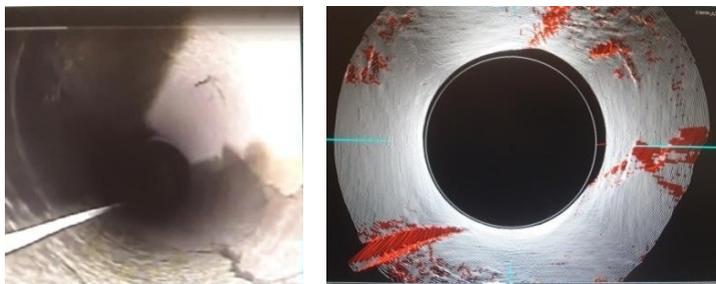
**Рис. 1. Общий вид базового экрана программного комплекса**

На первом этапе исследований были сформированы комплексы изображений априорных объектов как искусственной так и натуральной природы. Базовые алгоритмы реконструкции были использованы из открытых источников. Выполненные в ИПКОН расчеты с использованием упомянутых алгоритмов реконструкций изображений, а так же данные специалистов ДВФУ, выявили ряд существенных недостатков этих алгоритмов: 1) низкая точность, 2) высокие требования к вычислительным ресурсам, 3) потеря информации при выполнении перемасштабирования. Упомянутые недостатки привели к практической невозможности расчета ключевых статистических параметров трехмерных структур по двумерным данным, поэтому важнейшей задачей исследований стал подбор новой группы алгоритмов, разработанных в последнее время в ведущих научных центрах, а так же частичная разработка оригинальных алгоритмов с учетом специфики решаемых задач.

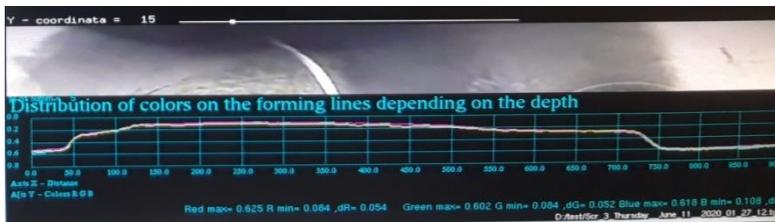
При разработке программного комплекса и выполнении тестирования на модельных данных высокую эффективность показали алгоритмы разработки ВМК МГУ и ДВФУ, в том числе: параллелизация вычислений при реконструкции, использование машинного обучения при распознавании образов для перехода от двумерных объектов к трехмерным

(на основе библиотеки опорных и априорно доказанных изображений), комбинирование в одном алгоритме статистических аппроксимаций и корреляционных функций и их перемасштабирования. Некоторые используемые алгоритмы были разработаны в ИПКОН, в частности это алгоритмы получения линейных, с равномерным разрешением разверток, для фронтальных камер с различными углами зрения, построение рельефов с использованием стереоэффектов, а так же систем визуализации и представления результатов в различных системах координат. Отдельный алгоритм разработан для выделения и оконтуривания (с вычислением площадей) зон изображений по контрастному изменению интенсивности/яркости и компонентов цвета.

Сервисные алгоритмы собственной разработки обеспечивают возможность выполнения измерений в натуральных и относительных масштабах размеров и углов объектов на изображениях, склейки различных изображений и их разверток, анализ интенсивности цветов попиксельно в разложении RGB. Сервисные алгоритмы разработки ИПКОН обеспечивают так же импорт, экспорт и преобразование изображений.



**Рис. 2. Базовое изображение и реконструкция поверхностной структуры обсаженной скважины**



**Рис. 3. Анализ цветности в приведении к базовым цветам RGB на скорректированной развертке изображения скважины**

Задачами текущего этапа исследований является всестороннее тестирование и дооснащение высококачественными алгоритмами разработанного программного комплекса, верификация получаемых данных несколькими алгоритмами и доведением комплекса до состояния промышленно используемого приложения с широким внедрением в практику измерений.

Еще одной важнейшей задачей исследований в настоящее время так же является – как для проведения реконструкций, так и для моделирования – установление априорного соответствия видеоизображений и геологических (в широком смысле геотехнологических) параметров и характеристик среды.

В дальнейшем необходимо создать коллекцию образцов горных пород и конструкционных материалов с известными видеохарактеристиками, что позволит получить важную дополнительную информацию о репрезентативности источника исследуемого изображения (образца) и его статистической стационарности.

### Список литературы

1. Диагностика нефтяных и газовых скважин системами телеинспекций <https://vistaros.ru/stati/teleinspektsiya-truboprovodov/diagnostika-neftyanyih-i-gazovyih-skvazhin.html>

2. Оборудование для контроля скважин. Телеинспекция, каротаж. <https://www.z-tec.ru/product-category/categories/teleinspektsiya-techeiskateli-trassoiskateli/teleinspektsiya/oborudovanie-dlya-kontrolya-skvazhin-teleinspektsiya-karotazh>

3. Варганов А.З., Захаров В.Н., Малинникова О.Н., Федаш А.В., Петров И.В. Исследования, мониторинг и контроль строения и свойств недр мегаполисов и зон градопромышленных агломераций. Часть 2. Общие правила производства работ: Методические рекомендации. – М., изд. ИПКОН РАН, 2017 – 204 с.

4. Варганов А.З., Новиков Е.А., Шкуратник В.Л., Ермолин А.А. Устройство для наблюдения стенок буровой скважины. Патент РФ. Заявка №2009 109 766/03 от 19.03.2009 г., Авт. Свид. RU 238 7826 С1

5. Вознесенский А.С., Набатов В.В., Петерс III. Скважинные видеозонды и их использование для задач геотехнологии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – №9. – С. 5-12.

6. Способ определения динамики процессов деформирования породы горного массива и устройство для его реализации <http://www.findpatent.ru/patent/262/2624746.html>

7. Внутрискважинный способ определения направления действия и значений главных напряжений <http://www.findpatent.ru/patent/259/2598009.html>

8. Внутрискважинный способ определения зон повреждения горных пород <http://www.findpatent.ru/patent/258/2583032.html>

9. Крылов С., Насонов А.В. Регуляризирующие методы интерполяции изображений АРГАМАК-МЕДИА, Москва, 2014, 100 с.

10. Anoshina N.A., Sagindykov T.B., Sorokin D.V. A method for generation of synthetic 2D and 3D cryo-EM images. Programming and Computer Software, Vol. 44, No. 4, 2019, pp. 240–247.

11. Павельева Е.А. Использование фазовой информации в обработке изображений в: Труды 26-й международной конференции по компьютерной графике и зрению Графикон 2016. 2016, с. 476–483.

## **ОСОБЕННОСТИ ОТРАБОТКИ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ СИСТЕМОЙ С САМООБРУШЕНИЕМ**

**<sup>1</sup>Бекбергенов Д.К., <sup>2</sup>Джангулова Г.К., <sup>2</sup>Касымканова Х.М.**

<sup>1</sup> *ИГД им. Д.А. Кунаева,*

<sup>2</sup> *КазНУ имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

В настоящее время на Донском горно-обогатительном комбинате основной объем добычи руды осуществляется подземным способом на шахтах «Молодежная» и «10 лет независимости Казахстана (ДНК)», сданной в эксплуатацию в 2001 г. В поле шахты «ДНК» сосредоточено 84% хромитовой руды Донского ГОКа. Лишь незначительная их часть залегает на глубине от 250 до 400 м от поверхности. Основной объем располагается по существующей классификации на средних (до 600 м) и больших (от 600 до 1500 м) глубинах.

Учитывая геомеханические и геотехнические особенности отработки рудных залежей на глубоких горизонтах и особенно рудных тел месторождений «Миллионное» и «Алмаз-Жемчужина» шахты «ДНК», изучение поведения массива в процессе очистных работ, характера формирования зон обрушения, развития геомеханических процессов, формирования давления на крепь горных выработок, а также выбор наиболее рациональных технологических схем отработки рудных залежей является важным фактором.

Большая мощность рудных тел месторождений хромитов, разрабатываемых подземным способом, и слабая устойчивость рудного массива и вмещающих пород обусловили в свое время выбор системы с самообрушением руды и налегающего массива. В настоящее время она применяется на обеих шахтах. Однако основные запасы шахты «ДНК» залегают на более глубоких горизонтах, чем на «Молодежной» и отработка их сопровождается большим давлением в менее устойчивых породах.

При обработке рудных залежей системой с самообрушением, над очистной камерой формируется зона разрыхленных пород налегающего массива. Данное явление нами рассматривается как процесс развивающийся во времени с учетом геотехнических особенностей налегающих пород и массива в целом.

С развитием очистных работ при обработке мощных рудных залежей формируется обширная область обрушения, где характер проявления основных геотехнических процессов выравнивается и будет практически однозначным по всей площади [1].

Рассмотрим отдельный элемент, когда высота очистной камеры равна  $h_k$ , а коэффициент разрыхления пород налегающей толщи –  $k_p$ .

$$h_{об} = h_{св} + h_k \text{ или } h_{об} = h_{св} \cdot k_p \quad (1)$$

Предложенная выше зависимость дает расчетную величину обрушенных пород для условий, когда степень их разрыхления соответствует значению  $V \cdot k_p$ , где  $V$  – объем обрушенных пород в массиве. В реальных условиях, в процессе сводообразования, происходит уплотнение обрушенных пород под действием сил собственного веса, влияния шахтной воздушной среды и сопутствующих геохимических процессов. В результате уплотнения пород обрушенной массы, над сводом образуется свободное пространство, заполняемое последующими обрушениями, что приводит к постепенному росту высоты свода обрушений до возможного предела воздействий геотехнических процессов, обусловленных преимущественно силовыми факторами.

Расчет процесса сводообразования обрушенных пород производится поэтапно, начиная с определения первоначального свода обрушения  $h_{св}$  для конкретных параметров очистного пространства, в частности, высоты камеры  $h_k$  и степени разрыхляемости пород налегающей толщи, выраженной коэффициентом разрыхления  $k_p$ , используя для этого соотношение (1).

Обрушенная масса пород под действием собственного веса уплотняется, образуя свободное пространство, которое заполняется последующим обрушением. Среднее значение уплотнения  $D$  определяется по следующей аналитической схеме. Величина напряжения по среднему сечению свода обрушенных пород будет равна:

$$\sigma_{с.ж} = \frac{\gamma h_{об}}{2k_p} \quad (2)$$

Здесь  $\gamma$  – объемный вес пород в массиве.

Далее по графику, рисунок 1 определяется относительное сжатие (уплотнения)  $D$  в процентах [2-4]. В этом случае величина усадки обрушенных пород определяется, решая уравнение

$$h_{yc} = h_{об} \cdot D \quad (3)$$

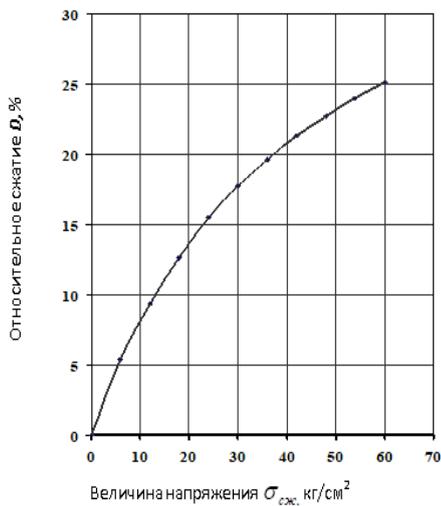
На следующем этапе исследований находим величину свода обрушений  $h'_{ce}$ , образуемого в результате заполнения пространства за счет усадки обрушенных пород  $h_{yc}$ .

$$h'_{ce} = \frac{h_{yc}}{k_p - 1} \quad (4)$$

В результате суммарная высота обрушенных пород будет равна:

$$h'_{об} = h_{об} + h'_{ce} \quad (5)$$

Далее по изложенной выше методической схеме находим относительное сжатие слоя обрушенных пород  $h'_{об}$  при степени его разрыхления  $k_p$



**Рис. 1. График относительного сжатия в зависимости от величины напряжений**

По графику, рисунок 1, находим относительное уплотнение с учетом действия дополнительных сил вторичного обрушения, обозначив его  $D'$ . Используя полученные данные, определяем дополнительное уплотнение обрушенных пород  $D_{доп}$  за счет последующего обрушения, которое будет равно:

$$D_{доп} = D' - D \quad (6)$$

Используя соотношение (6), находим величину усадки  $h'_{yc}$  слоя обрушенных пород  $h'_{об}$  под действием вторичного обрушения:

$$h'_{yc} = h'_{об} \cdot D_{доп} \quad (7)$$

Последующие этапы формирования свода обрушенных пород с учетом усадки решаются по аналогичной схеме до установления минимальных значений  $h_{yc}$ . При выполнении практических расчетов минимальное значение  $h_{yc}$  вполне допустимо в пределах 1-2м., так как ошибка в этом случае будет менее одного процента, это значительно меньше точности исходных расчетных данных.

В соответствии с разработанной методической схемой развития процесса формирования свода обрушения пород налегающего массива, проводятся численные расчеты по определению его величины для различных технологических условий, а именно, для очистных камер различной высоты. Заметим, что общая методическая схема развития процесса, согласно которой производится поэтапный расчет геомеханических изменений, с успехом использовалась и в других расчетах разрушения массива горных пород [5,6]. Разработанная здесь методическая схема является исходным положением для решения вопросов сводообразования при отработке очистных камер под обрушенным массивом.

## **ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАБОТЫ СТВОЛОПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА 1СПКВ-8,0 ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СТВОЛА НА ТАЛИЦКОМ ГОК**

**Аверин Е.А., Наумов Ю.Н.**

*ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный завод», г. Тула*

На данный момент при походке вертикальных шахтных стволов наиболее прочные позиции занимает буровзрывной способ. Однако его сравнительно низкая эффективность [1], а также такие внешние факто-

ры как уменьшение объемов минеральных ресурсов на небольших глубинах залегания [2] и повышающиеся требования к безопасности при строительстве глубоких шахт [3] вынуждают горные предприятия осваивать технологию ведения горнопроходческих работ механизированным способом.

Отвечая на возникшие вызовы, ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный завод» разработал стволопроходческие агрегаты АСП-7,0 и АСП-8,0 для строительства шахтных стволов на калийных рудниках на Верхнекамском и Гремяченском месторождениях [4]. Эти машины орошо зарекомендовали себя при проходке стволов по породам с пределом прочности на одноосное сжатие до 35 МПа. Однако уже сейчас очевидна тенденция развития рынка стволопроходческих машин в направлении разработки и внедрения машин для проходки стволов по породам более высокой прочности. В результате продолжительной работы впервые в истории современной России разработано семейство комбайнов типа СПКВ (см. рисунок), предназначенных для механизированного сооружения шахтных вертикальных стволов с монтажом крепи различного диаметра в породах прочностью до 120 МПа.



**Общий вид комбайнов типа  
СПКВ в сборочном цехе  
ООО «СОЭЗ»**

Производительность по разрушению в различных зонах разработки забоя вычислялась путем деления объема пород, отгруженного на поверхность, определяемого по количеству бадей объемом 5 м<sup>3</sup> за определенный период, на продолжительность периода разработки определенной зоны забоя (при забурировании, в центральной зоне и на периферии, включая технологические венцы). Средняя производительность на слой вычислялась как средневзвешенная по объему вырабатываемой при разработке определенной зоны породы величина. Для определения фактически достигнутой технической производительности комбайна время отгрузки согласно приведенным выше данным анализа принято равным фактическому типовому значению  $T_{отгр} = 10,7$  мин, а производительность по разрушению принята как среднее значение производительности для конкретной горной породы. Результаты вычислений приведены в таблице.

Таблица

Свойства породы			$Q_{разр}$	$T_{разр}$	$T_b$	$C_{см}$	$C$
$f$	$a$	Примеры пород					
3-4	Да	Аргиллит с прослоями песчаника до 26 см	0,27	18,5	23,5	0,6	1,8 (54)
	Нет	Алевролит, аргиллит	0,45	12	17	0,9	2,7 (81)
4-6	Да	-	-	-	-	-	-
	Нет	Известняк	0,32	16	21	0,7	2,1 (63)
6-7	Да	Песчаник	0,18	28	33	0,45	1,35(40,5)
	нет	Известняк	0,3	17	22	0,7	2,1 (63)

В таблице представлены следующие величины:  $f$  – коэффициент крепости пород по М.М. Протодьяконову;  $a$  – абразивность (качественная оценка – да/нет);  $Q_{разр}$  – производительность по разрушению, м<sup>3</sup>/мин;  $T_{разр}$  – время, затрачиваемое на разрушение 5 м<sup>3</sup> горной породы (наработка на бадью), мин;  $C_{см}$  – темпы проходки в смену (8 часов), м/смена;  $C$  – темпы проходки, м/сутки (м/мес).

Полученные результат демонстрируют перспективность применения стволопроходческих комбайнов типа СПКВ, в частности комбайна 1СПКВ-8,0, для проходки стволов в породах прочностью, как минимум до 7 единиц по шкале М.М. Протодьяконова включительно, в том числе абразивных. Данное заключение основывается на том, что достигнутые темпы проходки не уступают традиционному в настоящее время буровзрывному способу, а на слабых породах значительно превосходя их.

### Список литературы

1. McCoy N. New technology to replace drill and blast // Inside Mining. – 2017. – Т. 10. – № 4. – С. 22-23.
2. Fairhurst C. Some Challenges of Deep Mining // Engineering. – 2017. – Т. 3. – № 4. – С. 527-537.
3. Mazaira A., Konicek P. Intense rockburst impacts in deep underground construction and their prevention // Canadian Geotechnical Journal. – 2015. – Т. 52. – № 10. – С. 1426-1439.
4. Results of studies of shaft boring machine operation in vertical shaft construction at upper Kama potash deposit / A.B. Zhabin, A.D. Fomichev, J.N. Naumov, D.J. Solovyh // Eurasian mining. 2016. – № 1. – С. 29-32.

# УЧЕТ СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СУЛЬФИДНЫХ РУД ПРИ ОЦЕНКЕ ВЗРЫВООПАСНОСТИ ПЫЛИ

**Федотенко В.С., Митишова Н.А., Гавриленко В.В.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

Развитие мировой экономики характеризуется прогрессирующим увеличением потребления минерально-сырьевых ресурсов. В ключевых стратегических для страны задачах важнейшая роль принадлежит месторождениям колчеданных руд цветных и благородных металлов [1-2]. На горных предприятиях, разрабатывающих месторождения колчеданных руд, одним из основных факторов опасности являются взрывы сульфидной пыли. В промышленных условиях образование пыли, ее накопление, и, как следствие, возможный взрыв приводят к возникновению аварийной ситуации, которая является одной из причин нарушения жизнедеятельности рудника и сопровождается значительным экономическим, социальным и экологическим ущербом для горнопромышленного предприятия. Инициатором возникновения взрыва сульфидной пыли, в первую очередь, являются взрывные работы. Весомая роль в развитии аварийных ситуаций принадлежит человеческому фактору, связанному с нарушением правил безопасности персоналом рудника [3-4]. Безопасность производства взрывных работ в забоях, опасных по взрыву пыли, обеспечивается осуществлением ряда специальных мероприятий, выбор которых в современных условиях требует серьезного научного подхода на базе проведения фундаментальных исследований условий пожаро-взрывобезопасности при освоении месторождений колчеданных руд.

Обзор состояния исследуемого вопроса, свидетельствует, что даже руды с содержанием серы менее 35 %, могут представлять опасность по фактору взрыва сульфидной пыли, хотя в лабораторных условиях рудничная пыль с содержанием серы менее 35 % не взрывается. Для выявления причины отмеченного явления и последующей разработки технических решений, направленных на обеспечение безопасности ведения подземных горных работ, было выполнено исследование изменения содержания серы в различных фракциях сульфидной пыли, полученных в результате первичной дезинтеграции колчеданных руд и пород. Для этого в рамках исследования была сформулирована гипотеза о том, что в результате первичного разрушения сульфидов происходит неравномерное распределение серы в пробах различных классов крупности.

Для проверки сформулированной гипотезы на первом этапе было выполнено исследование, включающее измерение содержания серы для сульфидных руд и пород различных классов крупности, полученных в

результате первичного измельчения руд месторождений Новый Сибай, Сентачан и Шануч.

Пробоподготовка включала:

а) изготовление геологических шлифов и анализ минерального состава проб руды и пород;

б) измельчение образцов с помощью лабораторной щековой дробилки до фракции -5-0 мм;

в) дезинтеграцию до крупности -250-0 мкм в лабораторной конусной дробилке ВКМД10;

г) подготовку фракций, крупность -40; -71+40; -100+71; -125+100; -160+125; -200+160; -250+200 мкм. Для этого материал загружался в сита просеивающей машины, время просеивания составляло 40 мин, интервал просеивания – 10 минут, амплитуда – 2 мм;

д) для РФА пробы каждой фракции засыпали в специальные кюветы и накрывали пленкой.

Фракции -40; -71+40; -100+71; -125+100; -160+125; -200+160; -250+200 мкм подготавливались для каждого типа руд и пород.

Исследования были выполнены для фракций руд, подвергнувшихся только первичной дезинтеграции. Данное уточнение является ключевым в рамках исследуемого вопроса, так как позволяет оценить аналогичные результаты первичного дробления после проведения взрывных работ в условия подземной разработки сульфидных руд и установить характер распределения содержания серы в различных классах крупности пылевых частиц.

По данным анализа результатов, полученных в ходе измерения содержания серы в различных классах крупности частиц, полученных после первичного измельчения руд и пород месторождений Новый Сибай, Сентачан и Шануч, и проведения исследований образцов методом оптической микроскопии установлено:

1. Для руд с мелкозернистым, вкрапленным строением характерно перераспределение содержания серы таким образом, что содержание серы выше в мелких фракциях – -40; -71+40; -100+71 мкм. По мере увеличения крупности исследуемых фракций содержание серы снижается до значений, близких или ниже среднего по образцу. В таких рудах, при переизмельчении и формировании мелких фракций в различных технологических процессах, вероятность формирования взрывоопасного облака пыли выше, чем в крупнозернистых массивных рудах и породах.

2. Строение минерала, содержащего серу, а именно величина его зерен, определяет возможность увеличения содержания серы в мелких фракциях с размером частиц – -40 мкм, образованных в результате первичного разрушения руды, и, следовательно, указывает на потенциальную опасность возгорания сульфидной пыли при среднем содержании серы в массиве горных пород менее 35%.

3. Во всех образцах пыли руд и пород, крупностью свыше 100 мкм, содержание серы, выдержано и близко к среднему значению.

4. Для пород, характеризующихся крупнозернистым, массивным строением, характерно незначительное изменение содержания серы во фракциях различной крупности, образованных в результате первичного измельчения сульфидов.

Учитывая, что сульфиды являются преимущественно хрупкими минералами, в процессах бурения, взрывания, обрушения и первичной дезинтеграции горных пород, сульфидные минералы с наибольшей хрупкостью будут подвержены большему разрушению, что влечет за собой повышение распределение серы в пылевых аэрозолях и представляет особую опасность при разработке сульфидных месторождений.

Значимость полученных результатов о перераспределении содержания серы при дезинтеграции колчеданных руд и пород приобретает особое значение для обеспечения безопасности горных работ с учетом наращивания производственных мощностей и масштабного вовлечения в процесс добычи колчеданных руд с более низким содержанием полезным компонентов.

### **Список литературы**

1. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2018 году. – М.: 2019. – 423 с.

2. Рыльникова М.В., Айнбиндер Г.И, Митишова Н.А., Гаджиева Л.А. Исследование закономерностей возгорания сульфидных руд и пород при комбинированной разработке месторождений // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2020. – № 2. С. 139–155.

3. Параманов Г.П. Предупреждение взрывов сульфидной пыли на колчеданных рудниках. СПб.: СПГГИ, 1999. 130 с.

4. Горинов С.А., Маслов И.Ю. Возгорание пылевоздушных смесей под ГИАБ (научно-технический журнал). – 2017. - № 12 (спец. выпуск 33). – С. 13-22.

## **УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СКВАЖИННОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ НА ЗАВЕРШАЮЩЕЙ СТАДИИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УГЛЯ**

**Есина Е.Н.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

Для угледобывающих предприятий характерно сокращение минерально-сырьевой базы, переход горных работ на более глубокие горизонты, сопровождающуюся усложнением горно-геологических и горно-технических условий, ростом динамических проявлений горного давле-

ния [1-3]. При этом значительная часть угольных месторождений находится на завершающей стадии их освоения. В тоже время, анализ мирового опыта и результатов выполненных исследований свидетельствует, что месторождения полезных ископаемых, даже на завершающем этапе разработки балансовых запасов, имеют значительные остаточные георесурсы, которые могут быть эффективно вовлечены в промышленное использование[4-5]. Это трудноизвлекаемые запасы на больших глубинах, на удаленных участках месторождения, запасы в различного рода охранных, барьерных, несущих и предохранительных целиках, в зонах обрушения.

Так, устойчивость развития горнотехнической системы на завершающей стадии освоения запасов месторождения возможно добиться путем вовлечения в эксплуатацию неосвоенных георесурсов комбинированием различных физико-технических геотехнологий. Весьма актуальным на завершающей стадии освоения угольных месторождения является внедрение ресурсосберегающей скважинной гидродобычи, исключая непосредственное присутствие людей в зоне ведения горных работ. Основными преимуществами скважинной геотехнологии являются: снижение риска аварий, вследствие отсутствия горнорабочих в непосредственной зоне ведения работ и исключения внезапных выбросов и взрыва угля, угольной пыли и шахтного метана; отказ от строительства капитальных угольных разрезов и шахт; улучшение состояния окружающей среды ввиду отсутствия неконтролируемых выбросов метана в атмосферу ввиду герметичности процессов скважинной добычи в недрах и поверхностного передела продуктов освоения метаноносных угольных пластов, возможности закладки хвостов обогащения угля и отходов бурения скважин в отработанное пространство угольных пластов, отсутствие крупнотоннажных твердых отходов производства.

Так, при разработке сильно обводненных и высокосольных угольных пластов внедрение скважинной гидродобычи исключает экологические последствия от воздействия горных работ за счет подготовки гидросмеси непосредственно на месте залегания полезного ископаемого и оставления в выработанном пространстве пустой породы [6]. Весьма перспективным направлением применения ресурсосберегающей скважинной геотехнологии является освоение месторождений полезных ископаемых, подверженных газодинамическим явлениям [7].

При этом, эффективное применение скважинной геотехнологии, особенно на завершающей стадии освоения угольных месторождения, определяется ее комплексным геомеханическим обеспечением.

Отличительной особенностью геомеханического обеспечения скважинной геотехнологии является дистанционность процесса выемки полезного ископаемого и связанное с этим отсутствие возможности визуальных наблюдений и регистрации проявлений развития деформационных процессов непосредственно в зоне ведения добычных работ. Для определения параметров выработанного пространства, оценки полноты освоения запасов с учетом установленных закономерностей развития геомеханических процессов решается обратная геомеханическая задача, предусматривающая контроль геотехнологических параметров по наблюдаемым сдвигениям и деформациям земной поверхности [8-10].

Для эффективного управления геомеханическими процессами при скважинной геотехнологии необходимо обеспечить получение оперативной информации о характере и параметрах геомеханических процессов, происходящих в толще горных пород и на земной поверхности. Например, при неравномерном ведении скважинной гидродобычи угля в недрах формируются неотработанные целики, что не обеспечивает плавного оседания кровли и влечет неравномерные проявления прогнозируемых деформаций земной поверхности.

Развитие методологии геомеханического обеспечения скважинной геотехнологии с установлением особенностей формирования и развития выработанного пространства при гидродобыче угля является актуальной научно-технической проблемой, решение которой базируется на выборе рациональных параметров горнотехнических систем, позволяющих качественно управлять геотехнологическими процессами, что в целом обеспечивает безопасную и эффективную доработку запасов угольных месторождений на завершающей стадии.

Основой для разработки теории управления геотехнологическими и геомеханическими процессами при скважинной гидродобыче угля является установление механизма деформирования углепородного массива при размыве высоконапорной струей воды и откачке гидросмеси по скважинам на поверхность. При таком подходе к освоению угольных месторождений возможно обеспечить достаточно полное и безопасное освоение недр и минимизировать негативное техногенное воздействие горных работ на окружающую среду.

### **Список литературы**

1. Каплунов Д.Р., Качурин Н.М., Фридендер Г.В., Ганин М.П. Комплексное освоение угольных и техногенных месторождений Подмосковского угольного бассейна // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2019. – № 4. С. 113-123.

2. Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых / под ред. акад. К.Н. Трубецкого. — М.: ИПКОН РАН, 2012. 276 с.

3. Качурин Н.М., Ефимов В.И., Воробьев С.А. Методика прогнозирования экологических последствий подземной добычи угля в России // Горный журнал. №9. 2014. С. 138-142.

4. Рыльникова М.В., Струков К.И., Есина Е.Н. Обеспечение устойчивого развития горнотехнической системы на завершающей стадии подземной разработки жильных золоторудных месторождений Урала // Устойчивое развитие горных территорий. — 2018. — Т.10. — № 4 (38). С. 518-525.

5. Rylnikova M.V., Strukov K.I. Peculiarities of technological development at the closing stage of mining of proven reserves // Eurasian Mining. — 2017. — № 2. С. 8-11.

6. Арнс В.Ж., Бабичев Н.И., Башкатов А.Д., Гридин О.М., Хрулёв А.С., Хчян Г.Х. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых — М.: Издательство «Горная книга». — 2007. 295 с.

7. Рубан А.Д., Артемьев В.Б., Забурдяев В.С., и др. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов: Справочное пособие / Под общ. ред. А.Д. Рубана, М.И. Щадова. — М.: Издательство «Горная книга». — 2010. — 500 с.

8. Трубецкой К.Н., Иофис М.А., Есина Е.Н. Особенности геомеханического обеспечения освоения месторождений, склонных к газодинамическим явлениям // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2015. — №3. — С 64-71.

9. Есина Е.Н. Особенности управления геомеханическими процессами при скважинной гидродобыче угля. Маркшейдерия и недропользование. — № 4 — 2010г. С. 7-8.

10. Иофис М.А. Научные основы управления деформационными и дегазационными процессами при разработке полезных ископаемых. — М.: ИПКОН РАН. — 1984. — 230 с.

## **К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ**

**Побегайло П.А.<sup>1</sup>, Крицкий Д.Ю.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ИМАШ РАН, г. Москва

<sup>2</sup> АО «СУЭК-Красноярск»

**Введение.** Не смотря на то, что исследованию карьерных экскаваторов в условиях эксплуатации с целью повышения их надежности, а также и для изучения особенностей протекающих при этом процессов, посвящены сотни страниц десятков капитальных трудов, многие теоре-

тические и практические вопросы так и не нашли еще своего удачного разрешения. В число таких вопросов входит и важнейшая научная проблема разработки каркаса системы экспресс – диагностики указанных машин, которая в режиме «24/7» будет способствовать нахождению экскаваторов в состоянии гомеостаза, занимая к тому же, по ряду вопросов, промежуточное положение между офисными приложениями и тяжелым САПРом.

На наш взгляд, очевидно, что в дальнейшем углублении и расширении нашего знания вокруг очерченной проблематики лежит ключ к совершенствованию как самих карьерных экскаваторов, так и тех процессов открытых горных работ в которые эти машины вплетены.

Отметим, что настоящая работа была начата нами не так давно и сейчас находится в самом начале своего пути. Представлению первых полученных нами на сегодня результатов и посвящен настоящий доклад.

**Основной текст.** В рамках разработки каркаса системы экспресс – диагностики карьерных экскаваторов нами с коллегами были поставлены, рассмотрены и решены следующие задачи [1 – 8 и многие др.]:

- проанализированы как отказы, так и ремонты экскаваторов драглайнов как в советское время, так и сейчас (выявлен серьезный пул проблем при эксплуатации техники с истекшим нормативным сроком службы в условиях отсутствия заводской поддержки);
- при этом выявлена ритмичная структура распределения ряда характеристик отказов элементов экскаваторов, хорошо описываемая средствами гармонического анализа, и тесно связанная с биоритмами человека (предложена мера качества ремонтных служб предприятия названная нами энтропией);
- выявлены т.н. «слабые» места несущих металлоконструкций экскаваторов драглайнов и роторных комплексов;
- путём обобщения трудов ряда авторов предложена классификация дефектов несущих металлоконструкций экскаваторов – драглайнов и роторных машин;
- улучшен подход к получению экспериментальных данных по реальным сварным швам рассматриваемых машин;
- предложен инженерный подход к оценке теоретического коэффициента концентрации напряжений (ТКК) в сварном шве для разных их типов;
- поставлена задача о применении сценарного подхода (на базе теории графов) к оценке состояния стрел экскаваторов драглайнов;

- проанализированы существующие методы неразрушающего контроля и построен комплексный подход для надстроек и стрел экскаваторов драглайнов при главенствующей роли акустико-эмиссионного подхода (нашими коллегами проведены при этом необходимые натурные эксперименты);
- выведено уравнение движения системы «тяговая лебедка – ковш» экскаватора драглайна удобное для применения в рамках системы экспресс – диагностики;
- - намечены к развитию некоторые идеи в части реорганизации информационных цепочек в системах управления на горных предприятиях;
- осуществлена смычка исследований ТКК с оценкой состояния металла несущих металлоконструкций экскаваторов драглайнов;
- проведен анализ проблемы налипания грунта к элементам горных машин;
- развит подход к оценке скорости износа зубьев ковшей, включающий также и капитальный анализ литературы по этой теме;
- для экскаваторов с гидравлическим приводом предложен подход к оценке удельных давлений под гусеницами с учетом усилия на зубьях ковша;
- предложена методика оценки энергопотребления при экскавации механической лопатой;
- предложен первый вариант структуры системы экспресс – диагностики карьерных экскаваторов, построенный вокруг понятия гомеостаза экскаватора.

**Заключение.** В настоящем тексте, максимально кратко, представлены основные результаты, полученные при разработке каркаса системы экспресс – диагностики карьерных экскаваторов. Основными итогами этой работы на сегодня являются:

1. Выявлены многочисленные лакуны и частные неточности в имеющихся моделях и подходах к анализу карьерных экскаваторов и их подсистем в условиях эксплуатации.

2. Эксплуатация карьерных экскаваторов с истекшим нормативным сроком существования является серьезной научной проблемой.

3. Разработаны основные элементы структуры (каркаса) системы экспресс – диагностики карьерных экскаваторов, построенные вокруг понятия гомеостаза экскаватора.

4. С разной степенью проникновения рассмотрены отдельные частные задачи, составляющие «наполнение» системы экспресс – диагностики.

Отметим также, что рассмотрение вопросов синтеза системы экспресс – диагностики карьерных экскаваторов тесно связано с иным нашим направлением исследований – с созданием методологии проектирования одноковшовых гидравлических экскаваторов на ранних стадиях проектной деятельности [9 и др.].

### Список литературы

1. Комиссаров А.П., Побегайло П.А., Шестаков В.С. Методика экспресс анализа энергопотребления при экскавации горных пород // ГИАБ, 2014, № 12, с. 138-141.

2. Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю. Элементы системы экспресс диагностики состояния карьерных экскаваторов в условиях эксплуатации: блок оценки концентраторов напряжений в металлоконструкциях со стыковыми швами // ГИАБ. 2018. S.50. с. 216-229. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-50-216-229

3. Обоснование выбора точек контроля металлоконструкций экскаваторов драглайнов / Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю., Мутыгуллин А.В., Шигин А.О. // Уголь. 2018. №.6. с. 48—53. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-6-48-52.

4. Комплексный подход к безопасной эксплуатации элементов металлоконструкций карьерных экскаваторов / Крицкий Д.Ю., Шигин А.О., Бовин К.А., Побегайло П.А. // ГИАБ. 2017. S.32. с. 307-319. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-38-307-319

5. Побегайло П.А. Метод экспресс-анализа удельных давлений под гусеницами экскаваторов при копании // «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности»: XV Международная научно-техническая конференция. Чтения памяти В.Р. Кубачека. / УГГУ. Екатеринбург. 2017. с. 87-90.

6. Организация мониторинга стрел экскаваторов-драглайнов в режиме эксплуатации / Крицкий Д.Ю., Мутыгуллин А.В., Шигин А.О., Бардаков В.В. // Горный журнал. 2018. №.2. с. 91—96. DOI: 10.17580/gzh.2018.02.13

7. Уточнение инженерной методики оценки скорости износа элементов рабочих органов экскаваторов / Гадолина И.В., Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю., Любиша П. // Надёжность, 2019. Том 19. Номер 1 (68). с. 18-23. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2019-19-1-18-23>

8. Kritskij D.Yu., Tyurin, S.I., Kovaleva, A.A., Gil'Manshina, T.R. Manganese steel structure effect on the performance characteristics of large-size cast product parts. // Ugol – 2018. – № 7. – с. 9-12.

9. Побегайло П.А. Мощные одноковшовые гидравлические экскаваторы: методология проектирования рабочего оборудования (на ранних стадиях проектирования). М.: СвР-АРГУС, 2017. 210 с.

# РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ПОДВЕСНОГО УСТРОЙСТВА ПОДЪЁМНОГО СОСУДА

Гусева И.П., Гылымұлы С.

*НИТУ «МИСиС», г. Москва*

Подъёмные установки со шкивами трения начали внедряться на горнодобывающих предприятиях с 19 века. С тех пор проведено большое количество исследовательских и опытно-конструкторских работ по повышению надежности, безопасности и эффективности рудничного подъёма. Вопросами рудничных подъёмных установок занимались многие учёные, так как современные подъёмные установки представляют собой сложное энергомеханическое стационарное оборудование, которое является основным транспортным звеном, связующим подземные горные выработки с поверхностью [2].

Задача обеспечения безопасной эксплуатации шахтного подъёма была и остаётся приоритетной для горнодобывающего предприятия. Канаты шахтных подъёмных установок подвержены коррозионному и механическому износу, испытывают воздействие влаги и агрессивной среды и динамические воздействия подъёмных сосудов при их движении по стволу, и в связи с этим требуют постоянного контроля их состояния [8,9].

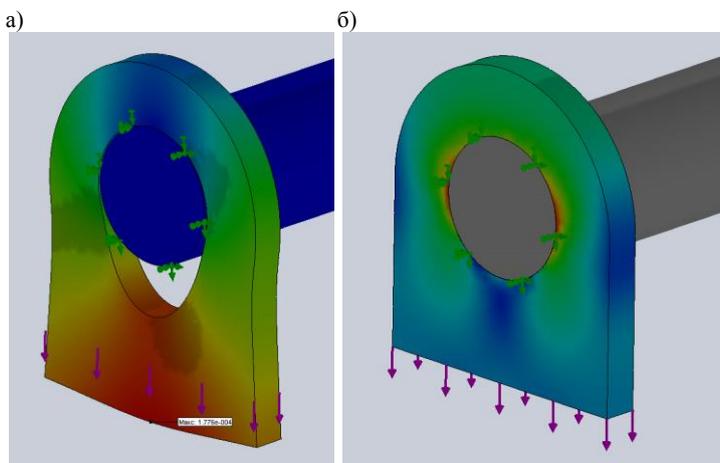
Одним из направлений повышения технического уровня и улучшения эксплуатационных характеристик рудничного подъёма является применение ленточных тяговых органов взамен традиционных стальных канатов круглого сечения [1,3,4,7]. Внедрение такого технического решения позволит уменьшить габариты и массу привода, увеличить срок службы и грузоподъёмность тяговых органов, снизить динамические нагрузки в переходных режимах [5,6].

Применение тягового органа нового типа предопределяет изменение конструкций или параметров основных узлов подъёмных установок, например, необходимы подвесные устройства нового типа. Нами была рассмотрена конструкция барабанного подвесного устройства, в котором барабан, огибаемый ленточным тяговым органом, крепится через шкворень к подвесному кронштейну подъёмного сосуда. Для обоснования параметров данного устройства необходимо изучение нагрузок, которые возникают в рабочих режимах. Нами рассматривался наиболее нагруженный элемент кронштейна, который фиксирует, посредством шкворней, положение барабана подвесного устройства в пространстве.

Для реализации моделирования деформаций под действием усилий, возникающих при работе подъёмной системы, использовалась програм-

ма SolidWorks. При моделировании принимались некоторые допущения. Система закреплялась на жёсткой неподвижной оси (шкворень принимался неподвижным и абсолютно жестким). К самому кронштейну с распределением по нижней грани прикладывались статические усилия от концевой нагрузки, обусловленной массой загруженного подъемного сосуда.

Для анализа напряженно-деформированного состояния данного элемента были приняты следующие исходные данные: диаметр шкворня – 20...100 мм, толщина проушины – 20...100 мм; материал модели – легированная сталь, модуль упругости – 143000 Н/мм<sup>2</sup>. На рис. 1 показаны эпюры деформаций (а) и напряжений (б) кронштейна подвесного устройства.



**Рис. 1. Примеры эпюр деформаций (а) и напряжений (б) кронштейна подвесного устройства**

Анализ напряженно-деформированного состояния элемента показал, что наибольшая нагрузка приходится на боковые части проушины, а наибольшие перемещения – в нижней части исследуемого элемента кронштейна. Выполнение экспериментальных нагружений элементов при помощи цифровой модели позволило выявить, что самое высокое перемещение составило 0,724 мм, а самое высокое напряжение, возникшее при моделировании, не превышает 323,8 Н/мм<sup>2</sup>.

Определение запаса прочности показало, что самое минимальное составляет 1,92.

## **Заключение**

В работе получена цифровая модель элемента кронштейна подвесного устройства барабанного типа скипа подъемной установки с ленточным тяговым органом.

Использование программы SolidWorks в проведении исследований, связанных с напряженно-деформированным состоянием, позволяет отобразить эпюры напряжений деформированной детали.

Экспериментальные результаты, полученные при помощи разработанной цифровой модели, позволяют провести анализ данных напряженно-деформированного состояния кронштейна подвесного устройства и выявить зоны с максимальными напряжениями. На основании этих данных можно определить наиболее рациональные параметры подвесного устройства в целом или изменить его конструкцию.

## **Список литературы**

1. Belmas I.V., Kolosov D.L., Onyshchenko S.V., Kolosov A.L. Stress-strain state of rubber-cable tractive element of tubular shape// Науковий Вісник Національного Гірничого університету. 2018. № 2. С. 60-69.

2. Гришко А.П. Стационарные машины. Том 1. Рудничные подъемные установки. — М.: Изд. Горная книга — МГГУ, 2008 — 477с.

3. Бельмас И.В., Данияров Н.А., Танцура А.И., Белоус Е.И., Балабаев О.Т. Контроль состояния тросов резинотросового тягового органа// Труды Университета. 2016. № 2 (63). С. 76-78.

4. Вагин В.С., Филатов А.М., Курочкин А.И. Снижение динамичности передвижных проходческих подъемных установок с безредукторным гидроприводом// Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 3 (47). С. 25-29.

5. Зотов В.В. Определение области использования подъемных установок с ленточным тяговым органом// Горный информационно-аналитический бюллетень — Москва, Издательство МГГУ, 2005. № 10. — С. 277-280.

6. Зотов В.В., Кузиев Д.А., Рыжов И.М. Основные направления повышения технического уровня шахтных подъемных установок// Горная промышленность. 2014. № 2 (114). С. 111.

7. Кантович Л.И., Вагин В.С., Курочкин А.И. Перспективы создания малогабаритных передвижных проходческих подъемных установок// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № S1. С. 396-417.

8. Трифанов Г.Д., Князев А.А., Филатов А.П., Лаук В.В. Опыт эксплуатации шахтных подъемных установок, оснащенных системами непрерывного контроля// Безопасность труда в промышленности. 2019. № 6. С. 52-58.

9. Трифанов Г.Д., Зверев В.Ю., Вагин Е.О., Архипов Е.В. Оценка влияния кинематических параметров подъемных установок на динамические нагрузки в канатах// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 7. С. 103-110.

## **К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ СКВАЖИННОЙ ГИДРОТЕХНОЛОГИИ НА ЗОЛОТОНОСНЫХ РОССЫПЯХ**

**Гевало К.В.**

*ХФИЦ Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск*

Началом развития скважинной гидротехнологии можно считать открытие эрлифтного водоподъема в 1797 г. германским горным инженером Карлом Лошером. Вследствие слабого развития компрессорной техники того периода эрлифтный способ гидроподъема развития не получил и был вытеснен насосным способом. Однако, статус технологии скважинная гидродобыча приобрела лишь в 1932 году в США работами инженера Э. Клайтора и в 1936 г. в СССР П.М. Тупицыным был предложен способ скважинной гидродобычи (СГД) – один из вариантов скважинной геотехнологии, в результате использования которого, через скважины на поверхность земли поступают разрушенные на месте залегания горные породы и руды в виде гидросмеси. Только спустя 30 лет была начата разработка технологии СГД в горном Бюро США и, начиная с 1964 г., сотрудниками ГИГХСа на месторождениях фосфоритов в Прибалтике [1,2].

Природные россыпные месторождения золота на современном этапе их освоения характеризуются рядом специфических особенностей, в частности сложностью залегания и строения, территориальной удаленностью от освоенных районов, преобладанием мелкого золота и др. Неизбежен поиск альтернативных объектов золотодобычи. Ими, в первую очередь, являются, глубокозалегающие россыпи и накопленные за многолетний период эксплуатации природных золотороссыпных месторождений техногенные погребенные россыпные образования [3].

Практика последних лет показывает снижение объема добычи из россыпных месторождений традиционными способами. Россыпная золотодобыча ведется в отдаленных районах со слабой инфраструктурой на объектах с небольшими промышленными и прогнозными запасами золота и характеризуется высокой зависимостью от погодных условий и сезонностью работ. Использование технологии скважинной гидродобычи перспективно здесь как на небольших глубинах, так и при освоении погребенных россыпей золота, залегающих на значительных глубинах [4].

Самым прогрессивным и наиболее рентабельным способом разработки описанных выше месторождений является скважинная гидродобыча. Данный способ добычи полезных ископаемых основан на превращении разрабатываемой горной массы в гидросмесь на месте залегания путем гидромеханического воздействия и транспортирования ее на поверхность в виде пульпы по трубам. Дезинтегрированные струей во-

ды гидромонитора пески подаются на поверхность в виде гидросмеси и далее гидротранспортируется в приемный бункер обогатительной фабрики или формируют карту намыва для складирования. Обработка тела залежи может осуществляться одиночными камерами с оставлением межскважинных целиков или сплошным забоем в отступающем порядке с управляемой посадкой покрывающих пород. Возможен вариант управления горным давлением путем закладки отработанных камер отходами обогащения или пустыми породами с последующей обработкой межкамерных целиков. После обработки участка производится его рекультивация, которая заключается в ликвидации добычных скважин, уборке и планировке, посадке леса или сеянии трав [5].

За время изучения технологии скважинной гидродобычи по средствам анализа литературных источников как отечественных, так и зарубежных авторов, можно сделать вывод, что большинство научно-исследовательских работ по СГТ посвящено сравнительно узким вопросам технологии. Теория процессов СГТ находится в настоящее время в ранней стадии своего развития и имеет все недостатки, свойственные этой стадии. Главный из них – отсутствие системы физически обоснованных понятий, в качестве которых используются утверждения, не имеющих экспериментального подтверждения. Примером этого может служить широко распространенное мнение об определяющей роли величины затопления на степень напорности гидроэлеватора в процессе подъема гидросмеси, величины начального участка струи в процессе струеформирования, скорости перемещения струи по забою в процессе гидроразмыва, глубина потока при самотечном гидротранспортировании. Взаимосвязь разрушающих скоростей фильтрации в процессе пульпоприготовления и возникших при этом гидравлических сопротивлений порового слоя с учетом гидравлической крупности всасываемого твердого. Фундаментальные исследования движения газожидкостных смесей по вертикальным трубам справедливы только для условий маломасштабных искомых потоков, где различные области существования известных форм движения газожидкостной смеси соизмеримы как по времени, так и по длине перемещения, чего нет в реальных потоках подъемной трубы эрлифта, где различные области существования известных форм движения газожидкостной смеси соизмеримы как по времени, так и по длине перемещения, чего нет в реальных потоках подъемной трубы эрлифта, определяющей формой существования газожидкостной смеси является снарядная. Критериальные коэффициенты моделирования потоков (Фруда, Рейнольдса) при работе эрлифта в условиях СГД должны учитывать не менее двух геометрических параметров (диаметр трубы и ее длину), которые неоднозначно влияют на произво-

длительность эрлифтного подъема и как определяющим критерием подобия существовать не могут при ведении очистных работ на глубинах свыше 100 метров, где масштабный фактор является одним из определяющих производительность эрлифта [6-8].

Эти технологические процессы тесно взаимосвязаны между собой и в своей совокупности представляют решение уникальной задачи – совмещение разноструктурных процессов в единый технологический цикл добычи полезных ископаемых через скважины с учетом различных горно-геологических требований к процессу СГД [9].

Нашей непосредственной задачей является устранение указанных выше недостатков и тем самым создание такого способа разработки месторождений полезных ископаемых, который позволит осуществить рациональную и комплексную добычу полезного ископаемого, с минимальным негативным воздействием на окружающую среду, минимизировать человеческий фактор при добыче полезного ископаемого, снижение затрат на подготовку объекта и увеличение производительности труда.

### Список литературы

1. Арнс В. Ж. и др Скважинная гидродобыча полезных ископаемых: учебное пособие. – М.: Горная книга. 2007 – 295 с.
2. Копылов, А.Б. Краткий анализ современного состояния скважинной геотехнологии // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2010. – С. 189-194.
3. Литвинцев В.С. О ресурсном потенциале техногенных золотоносных месторождений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013 – С. 118-126.
4. Рочев В.Ф. О возможности применения скважинной гидродобычи на золотоносных россыпях Южной Якутии // Горный журнал. 2016 – С. 50-52.
5. Гевало К. В. Обзор технологии скважинной гидродобычи для разработки глубокозалегающих, погребенных и обводненных россыпных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. 2019 № 7 С. 53-59.
6. Малухин Н.Г. Развитие теории и методов расчета скважинной гидро-технологии и их реализации при разработке месторождений полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008 – С.267-273.
7. Старцев В.А. Физико-механическое обоснование параметров гидромониторной разработки россыпей направленным бурением скважин // автореферат дис. кандидата техн. наук. Екатеринбург. 2018 – 22 с.
8. Горшенин Н.Е. Моделирование работы агрегата для скважинной гидродобычи руд на примере Бакчарского рудопроявления // Известия Томского политехнического университета. 2011. – С. 95-198.
9. XII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» (Москва : Российский государственный геологоразведочный университет, 8–10 апреля, 2015 г.) : в 2 т. : доклады / ред. коллегия: В.И. Лисов, В.А. Косьянов, О.С. Брюховецкий. – Т. 2. – М. : МГРИ-РГГРУ, 2015. – 546 с.

# **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ПОДГОТОВКИ К СЕЛЕКТИВНОЙ ВЫЕМКЕ РУД СЛОЖНОГО ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА**

**Чебан А.Ю.**

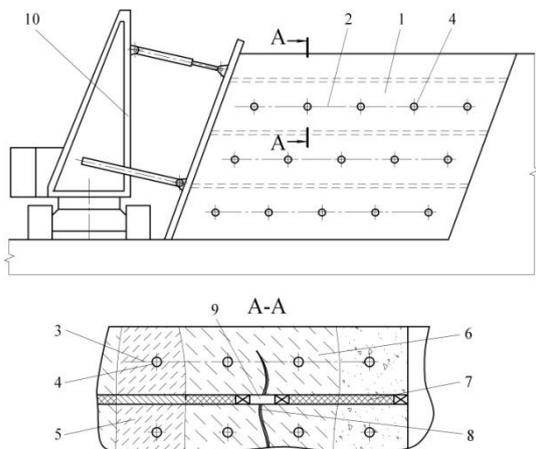
*ХФИЦ Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск*

Сложноструктурные месторождения характеризуются существенной вариативностью содержаний полезных компонентов и сложными морфолого-структурными параметрами рудных тел, что обуславливает необходимость глубокого селективного воздействия при подготовке к выемке, непосредственно выемки и последующей переработки [1-3]. Полезные компоненты неравномерно распределены в границах таких месторождений, согласно данным [4] 80-90% их запасов содержится в 10-25% объема руды. Таким образом, оставшаяся часть рудной массы ведет к снижению качества богатых руд, снижению в 2-3 раза среднего содержания полезного компонента и коэффициента извлечения на 15-25%, удорожанию процесса переработки и росту себестоимости конечного продукта [5]. Так при разработке золоторудных, медно-золоторудных, медно-молибденовых, молибдено-вольфрамовых месторождений штокверкового типа возникают проблемы с обеспечением полноценного извлечения полезных компонентов по всей технологической цепочке в связи с существенно различными содержаниями полезных компонентов и физико-техническими параметрами руд [1].

Не смотря на активное развитие средств механического рыхления, в основном подготовка прочных горных пород к выемке ведется с применением взрывания [6-7]. Недостатками взрывного способа рыхления сложноструктурных массивов является перемешивание руд различных сортов между собой и с пустыми породами, переизмельчение рудной массы. Снизить вышеуказанные недостатки возможно за счет совершенствования буровзрывных работ путем локализации, концентрации и интенсификации данного процесса в частности за счет ряда известных мероприятий [8-9]. Дальнейшего улучшения качества БВР возможно добиться за счет более равномерного распределения зарядов ВВ в объеме блока при дифференцированном взрывном воздействии на участки рудного массива с различными прочностными характеристиками и тектонической нарушенностью [10], а также комбинированием взрывного и механического рыхления. Это обеспечит сохранение качества богатых ценным компонентом рудных интервалов, возможность повышения извлечения их на стадии сепарации (рудосортировки), более эффективное воздействие взрыва на разнопрочностные и разнокачественные участки разрабатываемого массива, уменьшение выхода шлама и переизмель-

ченных зерен благородных металлов, снижение количества недораскрытых минеральных зерен в недостаточно проработанных взрывом отдельностях.

Институтом горного дела ДВО РАН предлагается способ комбинированной подготовки к селективной выемке высокоценных руд сложно-го вещественного состава. При осуществлении способа ведется сопровождающая эксплуатационная разведка посредством поинтервального опробования горизонтальных скважин малого диаметра для последующей дифференциации массива горных пород по качеству полезного ископаемого. Обуривание блока 1 осуществляется послойно рядами 2, 3 горизонтальных скважин 4 в двух взаимно ортогональных направлениях с выделением рудных интервалов 5, 6, отличающихся содержанием ценных компонентов, степенью тектонической нарушенности, прочностными свойствами, структурно-текстурными параметрами и вещественным составом.



**Рис. Схема подготовки рудного массива к селективной выемке**

Ортогональное расположение цилиндрических зарядов ВВ 7 обеспечивает изотропные формы нагружения массива и позволяет добиться более равномерного дробления. Подготовка зарядов 7 эмульсионных взрывчатых веществ осуществляется в соответствии с параметрами выявленных рудных интервалов 5, 6. При этом участки скважин 4, проходящие через рудные интервалы 5 с повышенным содержанием ценных компонентов, заряжают ослабленными зарядами для осуществления

щадящего взрывания с целью их структурного ослабления. В участках скважин 4, проходящих через интервалы с интенсивной тектонической нарушенностью 8, оставляют воздушные промежутки 9. После заряжания блока 1 осуществляют монтаж мобильного укрытия 10 со стороны откоса уступа, и производят короткозамедленное взрывание. Затем осуществляется селективная (последно-порционная) выемка горной массы взорванного блока 1 выемочным агрегатом с параметрами ковша, соответствующим размерам выемочных качественно однородных порций, с последующей выгрузкой их в отдельные транспортные средства, бункеры или штабели. Выемку структурно ослабленного щадящим взрывом выемочного элемента, выделенного по интервалу 5, с повышенным содержанием ценным компонентов осуществляется механическими средствами, например стреловым карьерным комбайном [7].

Предлагаемый способ подготовки руд к выемке позволяет обеспечить глубокодифференцированное воздействие на структурные элементы рудного массива, дает возможность максимально сохранить его природную структуру и обеспечить эффективную селективную выемку и последующую раздельную переработку, включая рудоподготовку и собственно процесс извлечения.

### Список литературы

1. Юматов Б.П., Байков Б.Н., Смирнов В.П. Открытая разработка сложноструктурных месторождений цветных металлов. – М.: Недра, 1973. – 192с.
2. Дронов Н.В. Дифференцированное оконтуривание и оценка запасов рудных месторождений. – Фрунзе: Илим, 1988. – 120с.
3. Чебан А.Ю. Технология разработки сложноструктурного месторождения апатитов и выемочно-сортировочный комплекс для ее осуществления // Записки Горного института. 2019. Т. 238. С. 399-404.
4. Батугин С.А., Черный Е.Д. Теоретические основы опробования и оценки запасов месторождений. – Новосибирск: Наука, 1998. – 344с.
5. Батугина Н.С., Гаврилов В.Л., Ткач С.М., Гаврилов В.И. Кластерная организация россыпных месторождений Якутии и использование ее особенностей в геотехнологиях // Горный журнал. 2019. №2. С. 17-20.
6. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Шуклин А.С. Экспериментальные исследования физических процессов избирательной выемки руд и пород при разработке пологих жил // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. №2. С. 75-81.
7. Чебан А.Ю. Способ и оборудование для открытой разработки маломасштабных крутопадающих месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т.15. №3. С. 18-23.

8. Секисов Г.В., Шевкун Е.Б., Якимов А.А., Мерзликин Н.В. Технология взрывного разрушения горных пород при производстве открытых горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2002. №11. С. 187-188.

9. Трубецкой К.Н., Викторов С.Д., Закалинский В.М., Осокин А.А. Крупномасштабное взрывное разрушение массивов горных пород состояние и перспективы применения // Горный журнал. 2016. №10. С. 64-69.

10. Секисов А.Г., Шевченко Ю.С., Лавров А.Ю. Перспективы использования шахтного выщелачивания при разработке золоторудных месторождений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. №1. С. 116-123.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКИ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ**

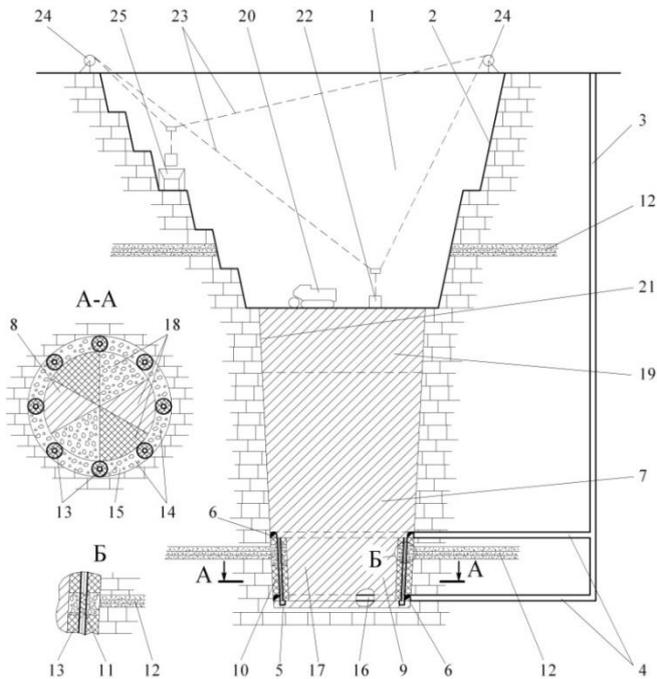
**Чебан А.Ю.**

*ХФИЦ Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск*

Усложняющиеся горнотехнические и горно-геологические условия разработки месторождений твердых полезных ископаемых предопределяют необходимость совершенствования открытых, подземных и комбинированных геотехнологий, а также горного оборудования [1-3]. Проблематике разработки месторождений алмазов подземным и комбинированным способами уделяется значительное внимание. Под руководством академика РАН К.Н. Трубецкого разработан комплекс технологических решений, обеспечивающих повышение безопасности и эффективности подземной разработки месторождений этого типа [1, 4]. Также существенный вклад в решение данной проблемы внесли ученые Якутии [5-6]. При этом освоение месторождений может сопровождаться процессами, ведущими к увеличению влажности горных пород, растворению пластов содержащих карбонатные минералы, прорывами воды и вывалами горной массы [7]. Для безопасной подземной разработки необходима защита горных выработок от природных рассолов с последующим их водоотведением, а также выполнение ряда других мероприятий, в частности оставления охранных целиков. Основными источниками поступления воды в подземные рудники являются водоносные горизонты, затопленные карьеры, обводненные разломные зоны.

Институтом горного дела ДВО РАН предлагается комбинированная технология доработки коренных месторождений алмазов [8]. При приближении карьера 1 к границам предельного контура 2 осуществляется одновременное проведение горных выработок – ствола 3, капитальных штреков 4, дренажного штрека 5, кольцевых выработок 6 и др. для от-

работки рудного тела 7 подземным способом (рис.). Из кольцевых выработок 6, располагающихся по периметру трубки 8, на высоту этажа 9 формируются восстающие 10 путем бурения скважин малого диаметра с их последующим расширением. При этом, на основании данных геологоразведки, восстающие 10 проводятся преимущественно по зонам рудного тела 7 с содержащими кристаллы ювелирных классов. В восстающих размещаются дренажные трубы 11 для перепуска рассолов с вышележащих водоносных горизонтов 12 в дренажный штрек 5, после чего восстающие 10 заполняются твердеющей закладкой с целью превращения их в искусственные целики 13. С применением щадящего взрывания производится последовательное рыхление приконтурных участков 14, располагающихся между искусственными целиками 13, с выпуском руды и последующим заполнением полученных пустот комбинированной закладкой с использованием продуктов рентгенлюминесцентной сортировки руды.



**Рис. Схема комбинированной разработки коренного месторождения алмазов**

Искусственные целики 13 и приконтурные участки 14 с комбинированной закладкой формируют по периметру рудного тела защитный слой 15. Из кольцевых выработок 6 проводятся выработки доставочного горизонта 16, и с использованием технологии шадящего взрывания панель 17 обрабатывается поблочно 18 на всю высоту этажа с последующей закладкой. В случае нахождения в панели участков руд с кристаллами ювелирных классов возможна их предварительная селективная выемка механическим способом либо выемка с применением специальных способов [9]. Далее проводится повторный технологический цикл отработки этажами в восходящем порядке до нижней границы охранного целика 19 (потолочины). Охранный целик разрабатывается в холодное время года с применением машины послойного фрезерования 20 с формированием высокого уступа 21. Разрыхленная горная масса собирается в специальные контейнеры 22 и канатной системой подъема 23, включающей три лебедки 24 установленные на дневной поверхности карьера 1, подается на перегрузочный пункт 25, расположенный на его промежуточном горизонте, что обеспечивает снижение затрат на транспортировку руды, вынимаемой при отработке охранного целика.

Предлагаемый способ комбинированной разработки коренных месторождений алмазов повышает безопасность ведения горных работ с обеспечением отвода природных рассолов через дренажные трубы искусственных целиков за счет формирования защитного слоя по периметру рудного тела, обрабатываемого подземным способом. А также увеличивает эффективность горного производства посредством обеспечения повышения сохранности алмазов ювелирных классов за счет применения локальной механической выемки руды.

### Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Новые подходы к проектированию ресурсовоспроизводящих технологий комплексного освоения рудных месторождений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2011. №3. С. 58-66.
2. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Комбинированная разработка рудных месторождений. М.: Горная книга. 2012. 344с.
3. Тарасов П.И., Журавлев А.Г., Фурин В.О. Обоснование технологических параметров углубочного комплекса // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 9. С. 2-10.
4. Патент РФ №2709846. Способ подземной разработки кимберлитовых трубок / Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Галченко Ю.П.
5. Зырянов И.В., Зотеев О.В., Барышников В.Д., Пуль В.В. Выбор и обоснование состава наблюдений и критериев безопасности при геомеханическом мониторинге на руднике «Интернациональный» // Горный журнал. 2019. №2. С. 21-27.

6. Ермаков С.А., Федоров Л.Н. Новые способы разработки малообъемных алмазных месторождений и доработки подкарьерных запасов алмаза // Наука и образование. 2015. №4. С. 62-67.

7. Дроздов А.В., Крамсков Н.П., Гензель Г.Н. Особенности гидрогеомеханического мониторинга под водными объектами на алмазных месторождениях Западной Якутии // Вестник ИрГТУ. 2011. №1 (48). С. 72-79.

8. Патент РФ №2664281. Способ разработки кимберлитовых месторождений / Рассказов И.Ю., Секисов Г.В., Секисов А.Г., Чебан А.Ю., Хрунина Н.П.

9. Секисов Г.В., Секисов А.Г., Зыков Н.В., Лавров А.Ю. Оконтуривание рудных тел с выделением переходных зон как основа для выбора параметров БВР, схем селективной выемки и раздельной переработки разносортных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. №S1-1. С. 312-323.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОТКРЫТО-ПОДЗЕМНОГО СПОСОБА РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА**

**Федорин В.А., Шахматов В.Я., Шишков Р.И.**

*ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово*

Освоение угольных месторождений Кузбасса базируется на новых научных концепциях и принципах строительства технологических объектов структурно-сетевой теории вскрытия пологих угольных пластов. В 2019 г. на 40 шахтах Кузбасса работали комплексно-механизированные забои с общей добычей свыше 85 млн. т угля. В среднем более 2 млн. т на один забой, использующий модульную геотехнологическую структуру вскрытия и подготовки угольных пластов [1]. Это позволяет разработать технологические решения по автономным шахтоучасткам модульной структуры (по сленгу проектировщиков «шахта-лава») для действующих разрезов с комбинированной (открыто-подземной) разработкой пологих пластов по концепции «Интеллектуальная шахта угольного разреза» [2]. Выделяется необходимая и достаточная горно-технологическая структура вскрытия и подготовки шахтоучастка, адаптированная к технологической схеме отработки угольного разреза, для одного высокопроизводительного очистного забоя и простого воспроизводства горных работ по комбинированной геотехнологии на угольных пластах мощностью 3-5 и более метров.

В Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН разработаны модульные горно-технологические структуры шахтоучастков, адаптированные к комбинированным технологиям добычи угля, защищенные 15 патентами на изобретения Российской Федерации [3]. Эти нематериальные активы –

интеллектуальная собственность в виде патентов на изобретения – представляют особую ценность для бизнеса, ориентированного на проведение научных исследований и коммерциализацию результатов интеллектуальной деятельности. Особенно это важно для РФ как члена ВТО.

Научно-технологическое обеспечение комплексного освоения угольных месторождений должно быть направлено на создание и совершенствование комбинированных геотехнологий с соответствующей интеллектуальной собственностью, ориентированной на инновационную составляющую патентного портфеля, стоимость которого может во много раз превышать стоимость иного имущества угледобывающей компании. Поэтому интеллектуальная собственность может рассматриваться как перспективный кредитный инструмент комплексного освоения недр [4].

Основой исследований авторов являются научно-методические разработки специалистов ИПКОН РАН [5], ИГД СО РАН [6] применительно к комбинированной (открыто-подземной) геотехнологии комплексного освоения угольных месторождений. Для визуализации модели объектов в трехмерном пространстве используется компьютерная технология на основе системы MINEFRAME (ГоИ КНЦ РАН) с модернизацией для угольных месторождений.

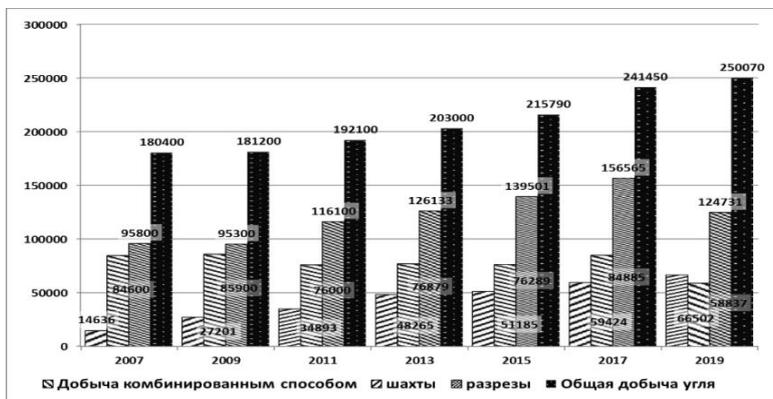
Применительно к угледобывающей промышленности комбинированные геотехнологии – это совокупность знаний о совмещении в пространстве и во времени открытого и подземного способов разработки угольных месторождений, закономерностях поведения системы «угольный разрез-подземные выработки» в массиве горных пород, технических, экономических, экологических и организационных взаимосвязях технологических процессов при добыче угля.

Технологический комплекс комбинированной разработки угольных месторождений рассматривается как совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения открытых и подземных работ для выполнения в регламентированных горно-геологических условиях добычи угля заданных технологических процессов или операций в расширенном воспроизводстве геотехнологического потенциала угольной промышленности России.

Практическое применение комбинированного способа разработки в Кузбассе началось с 2000-х годов благодаря научно-методическому обоснованию комбинированной физико-технической геотехнологии в Институте угля СО РАН (д.т.н. Ялевский В.Д., д.т.н. Федорин В.А.) [7] и технико-экономическому обоснованию инвестиций для шахты «Сибиргинская» угольного разреза «Сибиргинский» (Гипроуголь, г. Новосибирск) и угольного разреза «Моховский» (шахта «Байкаимская»). В настоящее время в Кузбассе работают 11 угледобывающих предприятий открыто-

подземным способом. В 2019 году добыча угля комбинированным способом составила 66502 тыс.т. или более 26 % от общей добычи 250070 тыс.т. в Кузбассе (рис. 1). Подземным способом добыто 58837 тыс.т., открытым способом — 124731 тыс.т.

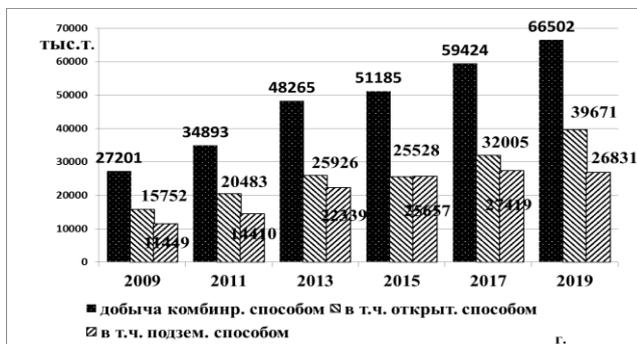
Область применения схем вскрытия и подготовки полей угольных разрезов по модульной горнотехнологической структуре комбинированного способа охватывает, практически, весь диапазон условий действующих, проектируемых, и перспективных разрезов на пологих пластах Кузбасса [8]. Особенно целесообразна она для разработки первоочередных подземных участков при предельном коэффициенте вскрыши разреза, так как предусматривает увеличение срока существования угледобывающего предприятия без значительных капитальных затрат в условиях рационального использования недр. Целесообразно применение комбинированной разработки при дренаже поля разреза для угольных месторождений со сложными гидрогеологическими условиями, где требуется взаимная увязка горной и дренажной частей проекта угольного разреза.



**Рис. 1. Годовая добыча угля в Кузбассе по способам разработки (открытый, подземный, комбинированный)**

С 2007 г. по 2019 г. добыча угля в Кузбассе комбинированным способом увеличилась в 4 с лишним раза с 14 до 66 млн. т в год.

Проведен также анализ добычи угля в Кузбассе комбинированным способом разработки с выделением, как открытого способа добычи, так и подземного по модульной геотехнологической структуре шахтоучастков на угольных разрезах с использованием единой производственной инфраструктуры угледобывающего комплекса (рис. 2).



**Рис. 2. Структура добычи угля в Кузбассе комбинированным (открыто-подземным) способом, тыс.т/год**

Установлено, что добыча на модульных шахтоучастках угольных разрезов за 10 лет была увеличена в 2 с лишним раза (с 12,4 до 26,8млн.т). Открытым способом при комбинированной технологии добыча угля была увеличена в 2,5 раза (с 15,8 до 39,6млн.т).

Установлена высокая эффективность комбинированного способа разработки угольных пластов с прибылью выше среднего по Кузбассу в 1,5 раза.

### Список литературы

1. Угольная промышленность Кузбасса. Основные показатели работы. Ежемесячный сборник № 12. АО ИВТ. Кемерово – 2019. – 80 с.
2. Федорин В.А., Шахматов В.Я., Михайлов А.Ю. Инновационная шахта угольного разреза//Научное издание «Научные разработки и использование минеральных ресурсов»: науч. журнал/ Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. ред В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2018. – С. 306-313.
3. Федорин В.А., Шахматов В.Я., Анферов Б.А., Кузнецова Л.В. Открыто-подземный способ разработки угольных месторождений Кузбасса./Научный журнал «Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук». (ИГД СО РАН им. Н.А. Чинакала. гл. ред. ак. Курленя М.В. г. Новосибирск). Том 5, – № 1. – 2018. – С. 177-182.
4. Федорин В.А., Шахматов В.Я., Михайлов А.Ю. Комбинированный способ разработки угольных пластов Кузбасса на основе синтеза процессов ведения открытых и подземных горных работ / Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. Кемерово, 2018. – № 1. –С. 32-40.
5. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Комбинированная разработка рудных месторождений: Учебное пособие. – М.: Издательство «Горная книга», 2012. – 344 с.: ил.

6. Пути повышения эффективности и экологической безопасности открытой добычи твердых полезных ископаемых / [Ческидов и др.]; отв. ред. В.Н. Опарин. Рос. акад. наук Сиб. отд-ние, ин-т горного дела и [др.] – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2010. – 254 с.

7. Ялевский В.Д., Федорин В.А. Модульные горнотехнологические структуры вскрытия и подготовки шахтных полей Кузбасса. (Теория, Опыт, Проекты). – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2000. – 224 с., ил.

8. Клишин В.И., Федорин В.А., Шахматов В.Я., Михайлов А.Ю. Регламентирующие условия открыто-подземного способа разработки угольных месторождений Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Специальный выпуск № 4(5-2), 2017. Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса. М.: Изд-во «Горная книга». – С. 58-67.

## **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПОЛОГОПАДАЮЩЕГО БУРОУГОЛЬНОГО ПЛАСТА БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ**

**Резник А.В., Немова Н.А.**

*ИГД СО РАН, г. Новосибирск*

В настоящее время в России более 70% угледобычи производится открытым способом. Около 30 % приходится на бурые угли, главенствующее положение по которым занимает Канско-Ачинский бурогольный бассейн. Наиболее крупные по угольным ресурсам месторождения (Березовское, Урюпское, Бородинское, Итатское), представленные одиночными пологопадающими пластами мощностью до 90 м, имеют весьма благоприятные горно-геологические условия для открытой угледобычи.

Исходя из горно-геологических условий месторождений бассейна и физико-технических свойств слагающих их горных пород, на разрезах предусматривалась крупномасштабная добыча угля по поточной технологии горных работ с использованием роторных экскаваторов производительностью 5250 м<sup>3</sup>/час и более в комплексе с ленточными конвейерами, перегружателями и отвалообразователями. Использование на ведущих разрезах бассейна (Назаровский, Бородинский, Березовский-1) высокопроизводительной техники непрерывного действия показало ее высокую эффективность, в первую очередь, на добычных работах.

Вместе с тем, в процессе эксплуатации выявлен ряд недооцененных ранее факторов, в значительной степени усложняющих ведение горных работ: наличие в основной массе слабо сцементированных вскрышных пород крепких прослоев и линз, минерализованных алевролитов, аргил-

литов и песчаников на известковом, кремнистом и железистом цементе, разработка которых роторными экскаваторами, без предварительного разрушения, невозможна; сложные гидрогеологические условия месторождений с наличием до 3-4 водоносных горизонтов с напорными водами.

С учетом этих факторов, на примере разреза «Урюпский», предложена технология разработки рассматриваемых обводненных месторождений без осушения продуктивной толщи с аккумуляцией карьерных вод в выработанном пространстве разрезов и использованием их в технологическом цикле добычи угля, при этом отработка верхнего угольного уступа предусматривается роторными экскаваторами в комплексе с ленточными конвейерами, нижнего (подтопленного) – цепными экскаваторами с нижним черпанием. Высота угольных уступов определяется мощностью пласта, режимом ведения горных работ и параметрами выемочного оборудования.

Исследования и опыт работы разреза «Березовский 1» показали, что отработка угольного пласта «Итатский» может производиться экскавационными машинами непрерывного действия с усилием копания порядка 14 кг/см<sup>2</sup>. Оборудование предусматривается использовать на фронте добычных работ 6000-6100 м, с размещением экскаваторов и ленточных конвейеров на кровле нижнего угольного уступа.

Согласно требованиям потенциального потребителя угля (Урюпская ГРЭС), добычные работы на разрезе предусматривается вести круглый год при непрерывной рабочей неделе и 2-х сменах по 12 часов в сутки.

Исходя из объемов добычи угля, параметров угольных уступов и крепости угля из выпускаемых в нашей стране и за рубежом наиболее близкими по своим параметрам являются представленные модели экскаваторов (таблица).

**Таблица**

**Производительность добычных экскаваторов**

Наименование	Обозначение	ЭРШД-5250	ЭРШД-12500	ERS-1120	ERS-3150	ERS-3750
1	23	4	5	6	7	8
Максимальная теоретическая производительность, м <sup>3</sup> /час	Q	5250	12500	3760	8500	10000
Техническая производительность, м <sup>3</sup> /час	Q <sub>т</sub>	4200	10000	2890	6400	7600
Забойная производительность, м <sup>3</sup> /час	Q <sub>з</sub>	2990	7450	2450	5400	6420

Продолжение табл.

1	23	4	5	6	7	8
Коэффициент готовности оборудования к работе	$K_{Г}$	0,84	0,84	0,87	0,87	0,937
Продолжительность смены	$t_{СМ}$	8	8	8	8	8
Сменная производительность, $м^3$	$Q_{СМ}$	17500	43800	14600	32800	39100
Количество смен в сутки	$n_{СМ}$	3	3	3	3	3
Суточная производительность, $м^3$	$Q_{СВТ}$	52500	131400	43800	98400	117300
Число рабочих дней в месяце	$N_{М}$	21,4	21,1	21,9	20,7	20,6
Месячная производительность млн. $м^3$	$Q_{МЕС}$	1,020	2,38	0,92	1,97	2,3
Число рабочих дней в году	$N_{РАБ}$	257	253	263	249	247
Число часов работы в году	$T_{ГОД}$	61600	6060	6300	5970	5940
Годовая производительность, млн $м^3$ (млн.т)	$Q_{ГОД}$	12,25 (15,0)	28,6 (35,0)	11,0 (13,4)	23,6 (29,0)	27,6 (34,0)

Для обеспечения проектной мощности разреза, на добычных работах принимаются два роторных экскаватора ЭРШД-5250 отечественного производства по верхнему уступу и два цепных экскаватора ERS-1120 (производства Германии) по нижнему уступу. Высота уступов устанавливается исходя из производительности выемочного оборудования и условия согласованного подвигания фронта горных работ.

Годовое подвигание фронта добычных работ по падению пласта при одновременной круглогодовой отработке двух угольных уступов составит:

$$L_{\text{год}} = \frac{Q}{L_{\phi} \cdot m \cdot j \cdot K_u} = \frac{53000000}{6000 \cdot 70 \cdot 1,24 \cdot 0,988} = 103, \text{ м}$$

где Q – мощность разреза, 53000000 т/год;  $L_{\phi}$  – длина фронта работ, 6000 м; m – средняя мощность пласта, 70 м; j – объемный вес угля, 1,24  $м^3/т$ ;  $K_u$  – коэффициент извлечения, 0,988

Высота уступа (по условию обеспечения добычи угля) определится из выражения

$$h = \frac{Q_{\text{э}} \cdot n}{L_{\text{год}} \cdot L_{\phi} \cdot j \cdot K_u}, \text{ м,}$$

где  $Q_{\Sigma}$  – годовая производительность экскаватора, ERS-1120 – 13,4 млн т/год; ЭРШРД-5250 – 15 млн т/год (при сезонной и круглогодовой работе соответственно);  $n$  – количество экскаваторов на уступе, шт.

Для цепных экскаваторов:

$$h_{ERS} = \frac{13400000 \cdot 2}{103 \cdot 6000 \cdot 1,24 \cdot 0,988} = 35,4, м$$

Для роторных экскаваторов:

$$h_{\text{ЭРШРД}} = \frac{15000000 \cdot 2}{103 \cdot 6000 \cdot 1,24 \cdot 0,988} = 39,6, м$$

С учетом изменения мощности пласта (до 70 м) и скорости продвижения фронта добычных работ расчетная высота уступов может изменяться в пределах, удовлетворяющим параметрам принятых к эксплуатации экскаваторов.

Выемку вскрышных пород с крепкими породными включениями предусматривается вести сезонно гидромеханизированным способом, в течение всего периода эксплуатации разреза. Максимальная мощность вскрышной толщи, обрабатываемой по этой технологии, будет определяться исходя из вместимости гидроотвала размещаемом в выработанном пространстве разреза. Обработка верхних горизонтов, сложенных породами без твердых включений и не вмещающихся в гидроотвал, намечается по непрерывной технологии роторными экскаваторами с размещением горной массы поверх гидроотвала, начиная с его устоявшегося (начального) массива.

## **МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ШАХТНОМ ПРОГНОЗЕ СТРУКТУРЫ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

**Глухов А.А.**

*РАНИМИ, г. Донецк, ДНР*

Основной проблемой шахтной пластовой сейсмической разведки является сложность и трудоемкость распознавания типа и параметров геологических нарушений [1]. Для решения данной проблемы в РАНИМИ ДНР разработано программное обеспечение, предназначенное для автоматизации обработки и анализа результатов сейсмических

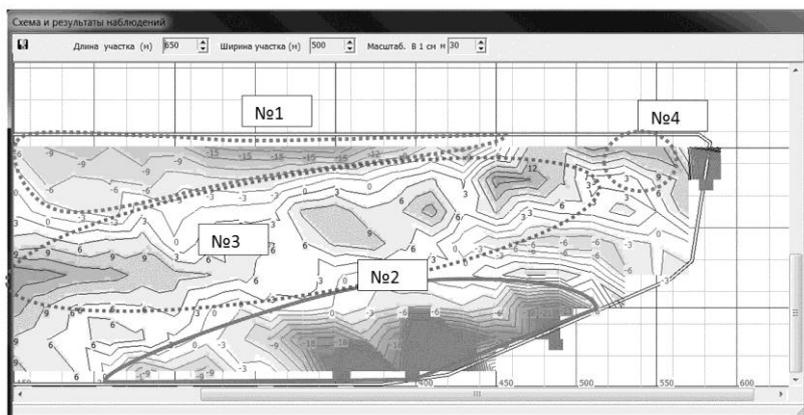
исследований при прогнозе структуры углепородного массива. Данная статья кратко описывает его возможности.

Реализованный в программном обеспечении граф обработки результатов сейсмических наблюдений состоит из первичной обработки и последующего анализа в рамках конкретной методики обработки.

Первичная обработка состоит из процедуры визуализации и анализа исходных шахтных сейсмических записей, который заключается в расчете частотных и скоростных спектров, в выборе и выделении информативных волн путем фильтрации, а также нормировки сейсмических записей.

В программном обеспечении реализованы стандартные графы обработки и анализа результатов сейсмических исследований по методам отраженных волн (МОВ), проходящих волн (МСП), сейсмической локации впереди забоя (МСЛ), а также граф обработки с использованием дифрагированных волн (МДВ).

Граф обработки МСП представляет собой томографическое восстановление параметров волнового поля в плоскости выемочного столба (См. Рис. 2). Значение параметра волнового поля на заданном участке определяется как отношение суммы значений, измеренных по лучам, проходящим через участок к числу лучей его пересекающих. Критерием определения аномалий является тот факт, что величины отклонений от фоновых значений на томографических картинах превышают определенные для каждого из типов аномалии значения [2].



**Рис.1. Томографическая картина распределения отклонений скорости распространения каналových волн от фоновых значений на участке лавы 37K10-B ш. Кузембаева**

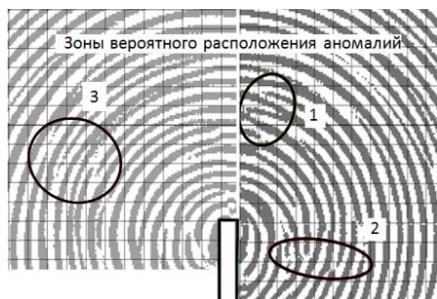
В рамках графа обработки МОВ по методу эллипсов на сейсмозаписях производится поиск осей синфазности по первым вступлениям предполагаемой информативной волны. Далее выполняется построение эллипсов с фокусами в местах расположения ПВ и СП. Значение удвоенной полуоси эллипса равно скорости распространения информативной волны на время первого вступления, соответствующему отсчету на сейсмоотрассе. Критерием наличия отражающих границ является сближение либо пересечение эллипсов в локальной зоне предполагаемой отражающей границы.

При обработке по методу ОГТ выполняется расчет кинематической поправки и выполнение суммирования по ОГТ с учетом изменения угла наклона отражающих границ к линии профиля. Далее на глубинных разрезах ОГТ выполняется построение отражающих границ. Основными критериями построения границ на разрезах ОГТ являются:

- наличие протяженных осей синфазности с амплитудой волн, превышающей фон помех, от протяженных нарушений.
- наличие дифрагированных волн в форме гипербол от локальных нарушений.
- наличие серии осей синфазности с небольшим превышением амплитуды волн от мелкоамплитудных крутопадающих разрывных нарушений.

Граф обработки по методу РНП представляет собой разновременное суммирование сейсмозаписей следящей компоненты волнового поля. Для проведения суммирования следует выбрать диапазон углов локации, а также базовую скорость суммирования. Информативная отраженная волна проявляется в проявлении синфазных колебаний с максимальной амплитудой на суммотрассе, соответствующей азимутальному углу нарушения.

Обработка МДВ заключается в получении мигрированных сейсмических изображений на основе использования метода суммирования по гиперболам [3]. Процедуры выполняются в циклах последовательно для значений базовой скорости в информативном диапазоне скоростей с заданным шагом и в различных полосах пропускания. Далее сохраненные сейсмические изображения сравниваются и анализируются для выделения нарушения. Зоны аномалий, проявляются в виде локальных зон потери синфазности, изменением формы и направления характерных полос на сейсмических изображениях, хаотичностью их расположения; в появлении синфазных максимумов по контуру аномалии. При изменении миграционной скорости либо несущей частоты форма проявления аномалии на сейсмических картинах может меняться, но позиция остается фиксированной. Присутствие локально расположенной аномалии при изменении значения миграционной скорости либо несущей частоты является критерием наличия геологического нарушения (См. Рис. 2).



**Рис. 2. Зоны вероятного расположения аномалий на участке вентиляционного штрека 322 Д7-3 шахты «Казахстанская»**

Представленные методы обработки сейсмических данных к настоящему времени хорошо апробированы на практике. Разработанное программное обеспечение может быть использовано геофизическими службами и специализированными геологоразведочными организациями для обработки и анализа результатов сейсмических исследований при прогнозе структуры углепородного массива.

### **Список литературы**

1. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки [Текст] / А. В Анциферов. – Донецк: ООО «Алан», 2002. – 312 с.
2. Глухов А.А. Алгоритм обработки данных сейсмического прогноза геологических нарушений угольных пластов [Текст] / Глухов А.А. // Труды РАНИМИ: сб. науч. тр. – Донецк, РАНИМИ МОН ДНР, 2017. – № 4 (19). – С. 54.
3. Глухов А.А. Об использовании миграции до суммирования при построении сейсмических изображений углепородных массивов методами пластовой сейсморазведки [Текст] / А.А. Глухов // Наукові праці УкрНДМІ НАН України: зб. наук. пр. – Донецьк, 2012. – № 14. – С. 209-216.

## **КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ СВОЙСТВ ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ НА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ КЕРН**

**Белозеров И.П., Тонконогов Ю.М.**

*САФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск*

На сегодняшний день технология цифрового моделирования керна является востребованным и развивающимся направлением в оценке геологических запасов нефти в мире [1, 2, 3]. Технология цифрового моделирования керна получает всё большее распространение в силу развития компьютерных и нанотехнологий. Основные попытки приме-

нения данной технологии на практике были предприняты в последнее десятилетие, хотя первые попытки ее использования для анализа реальных пород-коллекторов начались еще в 80-х годах прошлого века [4, 5].

Проблема создания, использования и внедрения цифрового моделирования ядра описывалась в целом ряде российских и зарубежных работ [6, 7, 8]. Самая идея использования адекватной в плане решения геолого-промысловых задач цифровой модели ядра в силу естественных причин является востребованной со стороны нефтегазовых компаний.

Помимо очевидных преимуществ, технология цифрового моделирования ядра имеет и ряд недостатков. Одной из основных проблем цифрового моделирования ядра является невозможность полного описания и обоснования микропроцессов, протекающих в пласте, путем математического моделирования на современном этапе развития науки и техники.

В ходе анализа, выполненного с участием авторов, было установлено, что при создании цифровой модели ядра целесообразно использовать плотную стохастическую упаковку, из которой слагается микроструктура ядра, или применить для её создания методы молекулярной динамики.

Разработка методов обоснования природы явлений с использованием молекулярной динамики может позволить более точно охарактеризовать процессы, протекающие в пласте. Высокая точность характеристики процессов, протекающих в пласте, может быть достигнута путем изучения данных процессов на микроуровне, и их дальнейшего интегрирования в более крупную модель.

В процессе использования плотной стохастической упаковки цифровой модели ядра первоначально случайным образом раскидываются в объеме центры роста сфер, после этого происходит их рост до тех пор, пока они не столкнутся с соседними, далее происходит распределение положения сфер, соответствующих заданному. В дальнейшем производится переход от сфер к более сложным геометрическим фигурам.

В процессе генерации плотной стохастической упаковки для моделирования структуры породы исходя из распределения размеров зерен горных пород может найти свое применение метод Монте-Карло. Размеры и другие параметры зерен при этом могут быть определены по изображениям шлифов, по данным гранулометрического анализа горных пород методом лазерной дифракции или другими методами.

В дальнейшем при формировании цифровой модели могут быть использованы методы молекулярной динамики.

Для моделирования фильтрационных процессов, протекающих в пласте, используется целый ряд математических моделей и методов расчета. К наиболее распространенным из них относятся модели поровых сетей, модель решетчатых уравнений Больцмана, метод сглажен-

ных частиц, модели диффузной границы, модели основанные на решениях уравнений Навье-Стокса, методы конечных объемов [3]. Все эти модели и методы находят своё применение для решения частных задач для моделирования процессов, протекающих в пласте.

Для моделирования течений флюидов в цифровой модели ядра могут быть использованы и другие методы и подходы. К ним относятся метод электродинамической аналогии, метод гидродинамики сглаженных частиц, аналитические методы.

Основными плюсами метода электродинамической аналогии является хорошо разработанная теория, незначительная численная сложность и невысокая степень длительности вычислительных процессов. Использование данного метода не требует много компьютерного времени для построения модели и существует множество проверенного программного кода для расчета подобных «электрических цепей», позволяющих в адекватные сроки получить необходимые результаты. Вопросы создания, совершенствования и успешного функционирования технологии определения фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов методами математического моделирования на цифровой модели ядра приводят к необходимости многомасштабного моделирования и нахождения решений целого ряда задач. Реализация данной технологии также может быть различной.

В силу высокой компьютерной сложности численных процессов имеющих место при проведении исследований по цифровому моделированию порового пространства модели и фильтрационных процессов, происходящих в них, важно организовывать последовательную работу различных программных пакетов таким образом чтобы результат работы одного пакета являлся входными данными для работы последующего.

Предлагаемая концепция создания технологии определения фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов методами математического моделирования на цифровой модели ядра основана на использовании большого количества экспериментальных данных, которые могут быть получены по исследуемым месторождениям без использования ядерного материала. К таким данным могут быть отнесены результаты геофизических исследований скважин, а также результаты определения гранулометрического состава горных пород, литолого-петрографического изучения шлифов и других результатов, которые могут быть получены при исследованиях шлама.

### **Список литературы**

1. Al-Suwaidi, M.H. Application of Digital Core Description Methods in a Reservoir Characterisation Study: A Review of Traditional Versus Potential Future Methods / M.H. Al-Suwaidi, M.P. Williams, G. Ottinger // Abu Dhabi

International Petroleum Exhibition and Conference. Society of Petroleum Engineers. – 2010.

2. Alizadeh, S.M. An Analysis of Sleeve Effects for Petrophysical Measurements using Digital Core Analysis / S.M. Alizadeh, S. Latham, J. Middleton, T. Senden, C.H. Arns // International Petroleum Technology Conference. – Doha, Qatar. – 2015.

3. Andraa, H. Digital rock physics benchmarks—Part I: Imaging and segmentation / H. Andraa, N. Combaret, J. Dvorkin, E. Glatt, J. Han, M. Kabel, Y. Keehm, F. Krzkalla, M. Lee, C. Madonna, M. Marsh, T.M. Eric, H. Saenger, R. Sain, N. Saxena, S. Ricker, A. Wiegmann, X. Zhan // Computational Geosciences. – 2013. – Vol. 50. – P. 25-32.

4. Kalam, M.Z. Digital Rock Physics for Fast and Accurate Special Core Analysis in Carbonates / M.Z. Kalam // New Technologies in Oil and Gas Industry. Chapter 9. – 2012. – P. 201–226.

5. Mavko, G. The Rock Physics Handbook: Tools for Seismic Analysis of Porous Media. 2nd edition / G. Mavko, T. Mukerji, J. Dvorkin // Cambridge University Press, 2009. – 524 p.

6. Мальшева, Е.О. Природные резервуары в терригенных формациях Печорского нефтегазоносного бассейна / Е.О. Мальшева, Н.Н. Рябинкина, Н.Н. Тимонина, З.В. Ларионова // Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1993. – 154 с.

7. Carpenter, C. Digital Core Analysis and Pore-Network Modeling in a Mature-Field Project/ C. Carpenter // Journal of Petroleum Technology. – 2015. – Vol. 67, № 1.

8. Knackstedt, M.A. Digital Core Laboratory: Properties of reservoir core derived from 3D images / M.A. Knackstedt, C.H. Arns, A. Limaye, A. Sakellariou, T.J. Senden, A.P. Sheppard, R.M. Sok, W.V. Pinczewski, G.F. Bunn // SPE Asia Pacific Conference on Integrated Modelling for Asset Management. Society of Petroleum Engineers, 2004. – 14 p.

## **ИЗВЛЕЧЕНИЕ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО НА НЕБЕСНЫХ ТЕЛАХ, КАК НОВОЕ НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ**

**Хайрутдинов АМ.<sup>1</sup>, Тюляева Ю.С.<sup>2</sup>, Конгар-Сюрюн Ч.Б.<sup>3</sup>,  
Rybak А.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> РУДН, Россия

<sup>2</sup> FIU, USA

<sup>3</sup> НИТУ «МИСиС», Россия

<sup>4</sup> WUST, Poland

Индустриальное общество не может обходиться без потребления природных ресурсов. Производственная деятельность горнопромышленного комплекса оказывает значительное воздействие на окружающую среду [1].

Возникающие техногенные катастрофы выходят за рамки ранее известных по форме и воздействию на окружающую среду [2, 3]. При разработке месторождений происходят горно-тектонические удары, вызывающие разрушения на поверхности, образование провалов, отмечается техногенная сейсмичность [4, 5]. Техногенная сейсмичность стала социальным фактором, привела к повышению опасности эксплуатации других промышленных производств, стала оказывать непосредственное влияние на биологический оптимум для человека [6].

В настоящее время влияние деятельности человека в целом и экономические последствия воздействия горного производства в частности на окружающую среду достигло размеров, соизмеримых с влиянием естественных, природных процессов на Земле [7].

В связи с этим возникли предпосылки прекращению добычи полезного ископаемого на Земле и поиску новых источников природных ресурсов.

Потребности в минеральном сырье в ближайшем будущем будут только увеличиваться, а избежать негативного воздействия горнодобывающей промышленности на Землю возможно только при условии переноса этой промышленности за пределы Земли. Самым близким и наиболее изученным космическим объектом, является Луна. Но при этом необходимо учитывать, что вокруг нашей планеты есть множество астероидов и каждый из них может содержать ценные материалы.

Помимо экономических, технических и технологических вопросов, возникающих при разработке полезных ископаемых на небесных телах, для разрешения стоят и юридические аспекты.

Из пяти договоров по космосу, только два (Договор по космосу 1967 г. и Соглашение о Луне 1979 г.) затрагивают проблему присвоения космических ресурсов. Стоит также отметить, что Соглашение о Луне ратифицировало только 18 государств, среди которых нет ни одной космической державы, что *de facto* делает данный договор малозначительным.

Государства обязуются установить международный режим для регулирования эксплуатации природных ресурсов Луны, когда будет очевидно, что такая эксплуатация станет возможной [8].

Стоит отметить, что с каждым годом в освоении космического пространства все большую роль стали играть частные корпорации и общих норм регулирования деятельности таких компании уже не хватает. Следует отметить разноречивые мнения ученых относительно коммерческого использования ресурсов, добытых на космических телах [3, 8].

Разночтения усилились после издания Указа Президентом США Трампом от 07 апреля 2020 года «Executive Order on Encouraging Interna-

tional Support for the Recovery and Use of Space Resources». В данном указе предлагается предоставить право собственности на добываемые ресурсы на небесных телах, таким образом, делается попытка изменить ранее существовавшие законы. Принятая программа Artemis Accords предполагает создание «зон безопасности» на небесных телах каждого государства или корпорации, осуществляющей деятельность в данном месте.

Глобальный интерес к минерально-сырьевой базе небесных тел обоснован. Если ранее известны были территориальные споры: земля; моря; океаны, то в вектор развития глобальных конфликтов переходит: в киберпространство (интернет) и космическое пространство, которое до настоящего времени остаётся не достаточно изученным, хотя и не новым пространством.

Следовательно, на данном этапе, возникли предпосылки начала глобального освоения минерально-сырьевой базы космического пространства.

При этом необходимо отметить, что вопрос извлечение полезных компонентов на небесных телах не является монодисциплинарным, а исследования в различных отраслях достаточно разрознены и не имеют чёткого связующего звена.

При извлечении полезного ископаемого из недр, существует наука, геотехнология, которая объединяет многие дисциплины [7].

При этом геотехнология выступает некой связующе-контролирующей наукой, которая основываясь на научных достижениях каждой отдельно взятой науки, развивается самостоятельно с учётом потребностей, проблем и опыта горнопромышленной отрасли развивает сектора каждой из наук в отдельности.

Освоение минерально-сырьевых ресурсов небесных тел не имеют опыта разработок. Помимо этого отсутствует единая систематизация всех научных исследований, с единой трактовкой, терминологией.

Извлечение полезных ископаемых с небесных тел до сих пор не выделено в отдельное научное направление. Отсутствие объединённой картины не позволяет соединить полученные знания в единое целое и определить консолидированный путь развития[9]. Первым этапом формирования новой науки или нового научного направления, является выделение нового объекта научного исследования[10].

При освоении минерально-сырьевой базы небесных тел, наукой изучающей способы и процессы её освоения, создающей теоретические основы и инженерные решения эффективного и экономически целесообразного извлечения, является планетарная (космическая) технология или астротехнология.

Астротехнология (от древне греческих слов: *στρον* – звезда; *τέχνη* – искусство, мастерство, умение; *λόγος* – слово, мысль, смысл, понятие) является вполне закономерным и объяснимым названием нового научного направления, которое ставит в задачу изучение и разработка технологий извлечения полезных ископаемых с космических тел.

### Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Бурцев Л.И. Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. – М.: ООО Изд-во «Научтехлитиздат», 2003. – 262 с.;
2. Хайрутдинов, М.М. Пути совершенствования систем разработки с складкой выработанного пространства, Горный журнал. 2007. № 11. С 40-43;
3. Khairutdinov A M and Tyulyaeva Y S // Извлечение полезного ископаемого на небесных телах. Предпосылки, технологические аспекты и правовые основы // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов, М: ИПКОН РАН, 28.10-01.11.2019, 280-283;
4. Herbut A., Khairutdinov M.M., Kongar-Syuryun C., Rybak J. The surface wave attenuation as the effect of vibratory compaction of building embankments // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2019) 9–13 September 2019, Prague, Czech Republic, Volume 362;
5. Herbut A., Rybak J, Brząkała W. On a sensor placement methodology for monitoring the vibrations of horizontally excited ground // Sensors, 2020, 20(7), 1938;
6. Ivannikov A.L., Kongar-Syuryun C., Rybak J., Tyulyaeva Y. The reuse of mining and construction waste for backfill as one of the sustainable activities // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2019) 9–13 September 2019, Prague, Czech Republic, Volume 362;
7. Каплунов Д.Р., Мельник В.В., Рыльникова М.В. Комплексное освоение недр /учебное пособие/; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». – Тула : Изд-во ТулГУ, 2016. – 332 с.
8. Хайрутдинов А.М. Актуальные проблемы добычи природных ресурсов на небесных телах // Правовое регулирование общественных отношений на земле и в космическом пространстве. Материалов международной научно-практической молодежной конференции. 2018. С. 234-235;
9. Кузнецов Б.Г. Эволюция картины мира, М.: АН СССР. 1961. 352 с.;
10. Антонов А.Н., Преемственность и возникновение нового знания в науке, М.: МГУ, 1985. 172 с.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ОБОГАЩЕНИЯ БРУСИТОВОЙ РУДЫ РАЗЛИЧНЫМИ РАДИОМЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ СЕПАРАЦИИ

Лебедев А.Н.

*ООО «Русское Горно-Химическое Общество», г. Москва*

Основным трендом строительной и транспортной индустрии является повышение пожарной безопасности применяемых материалов. Это обеспечивается применением добавок, затрудняющих горение и снижающих токсичность и количество дыма –антипиренов.

Одним из таких природных антипиренов является брусит – гидроксид магния  $Mg(OH)_2$  с максимальным содержанием  $MgO$  69 %. При нагревании он вызывает вспучивание поверхности какого-либо полимерного изделия, выделяет воду в виде пара, поглощает тепло и создает защитную поверхность из оксида магния  $MgO$ , которая, работает как теплоизолятор.

Единственное эксплуатируемое месторождение брусита в России – Кульдурское, располагается в Еврейской автономной области. Бруситовая руда месторождения ассоциирует с различными карбонатными и силикатными магнийсодержащими породами, такими как: бруситовые кальциферы ( $MgO$  35-55%,  $CaO$  0-25 %,  $SiO_2$  0-42 %,  $Fe_2O_3$  0-10 %); кальциферы и скарноиды ( $MgO$  0-35 %,  $CaO$  0-30 %,  $SiO_2$  0-25 %,  $Fe_2O_3$  0-7 %); офикальциты ( $MgO$  0-55 %,  $CaO$  0-30 %,  $SiO_2$  20-40 %,  $Fe_2O_3$  0-10 %); брусит-магнезитовые породы ( $MgO$  45-55 %,  $CaO$  0-8 %,  $SiO_2$  0-20 %,  $Fe_2O_3$  0-0,5 %). Наличие в бруситовой руде такого рода пород с высоким содержанием  $CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  снижают потребительские качества товарной продукции.

С 2012 г на месторождении для повышения качества перерабатываемой руды применяется технология, включающая рудоподготовку и крупнокусковое обогащение. Исходная руда крупностью ~600мм направляется на дробление до 200 мм и грохочение на фракции крупности 0–10; 10–30; 30–60 и 60–200 мм. Фракции крупности 0-10; 10–30; 30–60 мм являются товарными продуктами, которые отгружаются потребителям. Фракция 60–200 мм направляется на обогащение рентгено-радиометрическим методом (РРС) с помощью сепараторов СРФ 4-150 (3 ед.) и СРФ 3-300 (1 ед.), последующее дробление и грохочение обогащенного продукта на фракции крупности 0–10; 10–30 и 30–80 мм.

Применение РРС имеет ряд недостатков.

Во-первых, технология РРС на мелких классах крупности характеризуется невысокой производительностью, что существенно ограничивает экономически приемлемую глубину обогащения.

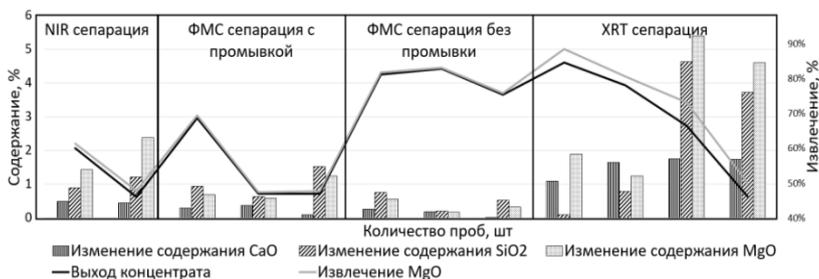
Во-вторых, особенностью рентгенорадиометрического метода является невозможность регистрации элементов с порядковым номером в таблице Менделеева ниже 20. В связи с чем, разделительный признак рентгенорадиометрических сепараторов для руд Кульдурского месторождения базируется на характеристическом излучении железа и кальция. Использование данных разделительных признаков не позволяет напрямую контролировать в товарной продукции содержание ценного компонента и одной из вредных примесей – кремния.

В-третьих, применяемые на Кульдурском месторождении сепараторы СРФ компании ООО «Радос» оснащены пропорциональными счётчиками, которые, по сравнению с современными полупроводниковыми детекторами, характеризуются меньшей чувствительностью и разрешающей способностью.

Данные обстоятельства ограничивают получение высококачественных товарных продуктов с малыми содержаниями вредных примесей.

С 2018 г ООО «РГХО» выполнялись работы по определению и внедрению максимально эффективной технологии обогащения брусита. В рамках данных работ были выполнены сравнительные испытания фотометрическим (ФМС), ближнеинфракрасным (NIR – nearinfrared) и рентгеноабсорбционным (ХРТ – X-raytransmission) методами крупнокускового обогащения. Испытания фотометрической сепарации выполнялись при двух режимах с без и с промывкой материала.

На рис. 1 приведены изменения содержаний  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $SiO_2$  в продуктах NIR, ФМС и ХРТ сепарации, а также выход концентратов и извлечение  $MgO$ .



**Рис. 1 Сопоставление прироста содержания  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $SiO_2$  в продуктах, полученных в ходе испытаний методами NIR, ФМС и ХРТ сепарации проб бруситовой руды сопоставимого качества**

Как следует из рис. 1 наибольший прирост содержания MgO обеспечивает метод XRTсепарации. При этом данный метод эффективно удаляет CaO, SiO<sub>2</sub>. Далее по степени эффективности располагаются NIRметод, ФМС с промывкой и ФМС в режиме без промывки материала. Также XRTметод позволяет достичь высоких показателей по извлечению MgO в товарный продукт.

На рис. 2. указан прирост содержания MgO в концентратах по отношению к питанию.



**Рис. 2 Прирост содержания MgO в продуктах сепарации по отношению к содержанию в питании.**

На основании сопоставления результатов проведенных испытаний NIR, ФМС и XRT методов сепарации проб руды Кульдурского месторождения можно сделать следующие выводы:

1. Руда месторождения обогащается фотометрическим, ближнеинфракрасным и рентгеноабсорбционным методами сепарации.

2. Наиболее высокие технологические показатели (выход обогащенного продукта, извлечение MgO в обогащенный продукт, содержание примесных компонентов в обогащенном продукте) получены при сепарации XRTметодом.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРОВЫХ МАШИН В УСЛОВИЯХ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Карпов В.Н.**

*ИГД им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск*

Важными задачами интенсификации различных способов бурения скважин является повышение производительности буровых работ и снижение экономических затрат на их выполнение [1-4]. В табл. приведен пример исходных данных для определения производительности буровых технологий при установке стартовых кондукторов глубоких дегазационных скважин [5].

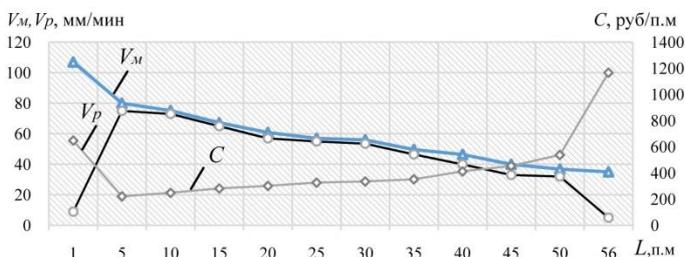
Таблица

Данные для определения норм выработки  $H_B$  и времени  $H_{BP}$ 

Показатель	Расчетная формула	№
$H_B$ , п. м	$H_B = \frac{T_{оп}}{t_{опу}} \cdot k_{п} = \frac{T_{см} - (T_{пз} + T_{от} + T_{об} + T_{лн})}{t_{оу} + t_{ву}} \cdot k_{п}$	(1)
$t_{оу}, t_{ву}$ , мин/п. м	$t_{оу} = t_{осн}/L; t_{ву} = t_{вс}/L$	(2)
$t_{опу}$ , мин/п. м	$t_{опу} = (t_{ву} + t_{оу})/L$	(3)
$H_{BP}$ , чел.-мин/п. м	$H_{BP} = \frac{T_{см}}{H_B}$	(4)
Показатель	Название, содержание работ и примечания	Время, мин
$T_{см}$ , мин	<i>Полное время рабочей смены.</i>	720
$T_{оп}$ , мин	<i>Оперативное время рабочей смены. Время чистого бурения <math>t_{осн}</math> и время вспомогательных операций <math>t_{вс}</math>.</i>	648
$t_{оу}$ и $t_{ву}$ , мин/п. м	<i>Удельное время основных и вспомогательных операций.</i>	расч.
$t_{опу}$ , мин/п. м	<i>Удельное оперативное время бурения скважины.</i>	расч.
$L$ , п. м	<i>Длина скважины</i>	-
$T_{пз}$ , мин	<i>Подготовительно-заключительное время работы, мин.</i> Прием-сдача смены: ознакомление с записями в буровом журнале за предыдущую смену, получение дополнительных сведений о состоянии станка и его узлов, неполадках от сменщиков. Ознакомление с паспортом буровых работ, определение оптимального параметра режима бурения. Осмотр состояния устья скважины, принятие мер по предотвращению попадания посторонних предметов в скважину по окончании бурения. Уборка рабочего места и станка (протирка ветошью основных узлов станка, удаление пыли с окон, стен и пола кабины). Заполнение бурового журнала.	8
$T_{от}$ , мин	<i>Время организационно-технического обслуживания рабочего места.</i> Организационное обслуживание: осмотр станка, рабочей площадки, основного и вспомогательного оборудования, питающих магистралей, рабочего органа станка, наличие средств защиты и индикации метана, пожаротушения, заземления, инструмента. Техническое обслуживание: смазка узлов и агрегатов станка, заправка компрессора, заполнение водой емкостей, включение (и отключение) электроэнергии, опробование станка на холостом ходу, устранение мелких неисправностей.	17
$T_{отд}$ , мин	<i>Время отдыха буровой бригады.</i> Принято 6% от продолжительности оперативного времени	39
$T_{лн}$ , мин	<i>Время на личные надобности.</i>	10
$k_{п}$	<i>Понижающий коэффициент нормирования.</i> Летний сезон, сложных горнотехнических условий не выявлено. Принято $k_{п}=1$ .	-

Так, при внедрении новых образцов буровой техники, увеличение продолжительности оперативного времени  $T_{он}$ , к примеру, за счет снижения или сокращения операций  $T_{пз}$  и  $T_{от}$  (табл.), будет способствовать повышению производительности буровых работ. Следовательно, при тестировании новых образцов буровых машин, важное значение уделяется определению оперативного времени бурения скважин с последующей оценкой эффективности буровых работ в этот фиксированный лимит времени. В практике горного производства,  $T_{он}$  обычно составляет не менее 90 % от продолжительности рабочей смены [6]. При этом, 284

важно выделить, что любые организационные, технические, технологические новации, направленные на повышение производительности буровых работ на горнодобывающих предприятиях, должны количественно отображать их технико-экономический эффект. Эффективность эксплуатации буровых машин целесообразно оценивать по диаграммам технико-экономического эффективности разработанным в ИГД СО РАН [4,6]. Пример такой диаграммы, полученный в ходе оценки энергоэффективности пневмоударного бурения глубоких взрывных скважин в Таштагольском руднике, представлен на рис. [7].



**Рис. Технико-экономическая диаграмма бурения скважины на буровом станке БП100:**  $V_m$  – механическая скорость бурения, м/мин;  $V_p$  – рейсовая скорость бурения, м/мин;  $L$  – проходка на долото, п.м;  $C$  – себестоимость прямых затрат на бурение 1 п.м, руб/п.м

Важно выделить, что оптимизация бурового процесса для любой технологии бурения, безусловно, имеет свою уникальную специфику. Однако, общим является то, что любые технико-технологические и организационно-технические решения, направленные на повышение производительности буровых работ должны количественно фиксироваться и оцениваться. При этом, оценка эффективности буровых технологий только по показателям производительности недостаточна. Это обусловлено тем, что при одинаковой производительности бурения затраты на выполнение основных и вспомогательных операций могут иметь существенное отличие из-за разницы затрат на буровое оборудование, энергоносители и заработную плату. Из чего следует, что любое технико-технологическое и организационное решение, направленное на повышения производительности буровых работ должно оцениваться по удельным показателям себестоимости прямых затрат на проходку 1 п.м скважины с конкретной привязкой к горно-техническим и горно-геологическим условиям бурового участка. При этом, каждый шаг направленный на оптимизацию процесса бурения

внутри технологии (замена энергоисточника, адаптация режимов бурения к условиям горных пород, заточка породоразрушающих элементов буровых долот, использование новых очистных агентов, смена погружных ударных машин и инструмента и др.) или смены одной технологии на другую с ее последующей оптимизацией, должен иметь последовательную, независимую и объективную оценку для успешно-го внедрения в практику горного производства.

Современное развитие техники и технологии бурения скважин, в условиях горного производства, требует разработки научно-методических основ конвергентной системы количественной оценки эффективности буровых машин при бурении скважин. Это необходимо для разработки программно-аппаратного комплекса самотестирования буровых машин, способного определять наиболее энергоэффективные режимы бурения, обеспечивающие высокую производительность бурения в изменяемых горно-геологических условиях месторождений твердых полезных ископаемых.

### Список литературы

1. Сухов Р. И., Болкисев В. С., Тымчур А.В., Поланский Г. А. Интенсификация процессов разрушения горных пород при механическом способе бурения взрывных скважин // ГИАБ. 2004. №9. С.128-131
2. Сухов Р. И., Поланский А. Г., Реготунов А. С. Методические основы исследований шарошечного и ударно-вращательного способов бурения взрывных скважин // ГИАБ. 2007. №3.
3. Бовин К. А., Гилев А.В., Шигин А.О., Крицкий Д.Ю. Промышленные исследования эффективности эксплуатации буровой техники в условиях Олимпиадинского ГОК АО «Полос» // Вестник КузГТУ. 2017. №3 (121), С.87-94
4. Карпов В. Н. Методика проведения оценочных испытаний погружных пневмоударников в производственных условиях // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2016. № 3.Т. 2. С. 74 – 80.
5. Кондратенко А.С., Карпов В.Н., Конурич А.И., Хмелинин А.П. Технология установки стартовых кондукторов // Нефть. Газ. Новации. 2019.№11. С.72-76
6. Karpov V.N., Timonin V.V. Importance of early adjustment of rotary-percussion drilling tool to mineral mining conditions, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 134, conference 1, 2018. C.012024.
7. Karpov V.N., Timonin V.V., Konurich A.I., Chernienkov E.M. Improvement of drilling efficiency in underground mines in Russia, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 262, conference 1, June 2019, DOI: 10.1088/1755-1315/262/1/012024, P. 012024.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ДОБЫЧИ  
ТВЕРДОГО ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО В ЛАВАХ  
ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ, ПРИМЕНЯЯ  
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОНТАЖА  
И ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕКЦИЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ.**

**Новый тип секции механизированной крепи:  
подвижный гидравлический клапан в боковых породах  
и замок в капсуле термодинамического баланса  
при добыче твердого полезного ископаемого  
подземным способом**

**Тарасов В.М.<sup>1</sup>, Фомин А.И.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ООО «РивальСИТ»,

<sup>2</sup>АО «ВостНИИ», г. Кемерово

Новая технология включает актуальную тему, положительный рынок в показателях, которые направлены на повышение безопасности, производительности и эффективности труда, могут дать дополнительно доход от внедрения собственникам Кузбасса и России по подземной добыче твердого полезного ископаемого, сотни млрд. рублей, предотвратят катастрофические и техногенные явления в процессах горного производства, а главное – сохраняют жизни шахтеров, высокий финансовый результат. В условиях жесткой конкуренции на мировом рынке, необходимо наладить модернизацию имеющегося горношахтного оборудования. Продукция должна быть рентабельна.

Новый тип секции механизированной крепи (СМК): подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в капсуле термодинамического баланса. Фундаментально меняет работу СМК.

Актуально для шахт Кузбасса и России.

**Технология обоснована тремя патентами на изобретение РФ**

Новизна в сравнении с аналогичными отечественными и зарубежными разработками заключается в том, что геомеханическая система «крепь-горный массив» приводится в состояние равновесия, повышая безопасность ведения горных работ в очистном забое (Пат. № 2546689, апрель 2015 год). Предлагаемая новая технология монтажа и эксплуатации СМК (Пат. № 2387841, 2011год) неопровержимо доказывается научными фактами, законами, гипотезами, концепциями:

1. Взаимодействие СМК с опережающим опорным давлением в лаве.
2. Образование силовой составляющей в виде фермы в боковых породах лавы, где присутствуют ромбы, узлы связи, что позволяет: легко обрушающиеся породы стабилизировать, а зависающие блочные – про-

изводить отрыв вне зоны работы лавы, а в завальной части лавы, за СМК (Пат. № 2432464).

3. Гипотеза П.М. Цимбаревича применительно к СМК, для лавы, которая перетекает в концепцию только для новой (предлагаемой) технологии.

4. Закон теоретической механики, глава «Кинематика твердого тела», раздел «Сферическое движение твердого тела» применительно к СМК (Теорема Ривальса).

5. На основании многолетней научно-исследовательской работы, выводов и заключений сотрудниками организации ООО «РивальСИТ» разработана секция механизированной крепи нового типа на основании закона равновесия твердого тела (II закон Ньютона). Секция механизированной крепи нового типа в концепции взаимодействия с геомеханическими процессами в горном массиве, а именно в капсуле термодинамического баланса, рис.1 – действующая работа СМК, рис.2 – СМК нового типа: подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в КТДБ.

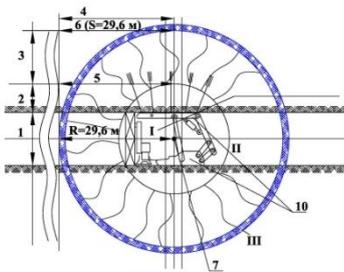


Рис. 1. Общий вид СМК в монтажной камере и образование КТДБ вокруг монтажной камеры. I – первая зона КТДБ (монтажная камера и лава); II – вторая зона КТДБ; III – третья зона КТДБ (защитная оболочка подсистемы, кольцо шириной 100-150 мм); 1 – пласт твердого полезного ископаемого (угля); 2 – непосредственная кровля; 3 – основная кровля; 4 – зона первичного шага обрушения пород кровли; 5 – шаг обрушения непосредственной кровли; 6 – шаг обрушения основной кровли; 7 – центр КТДБ, откуда откладываются диаметры и радиусы всех зон, 10 – СМК

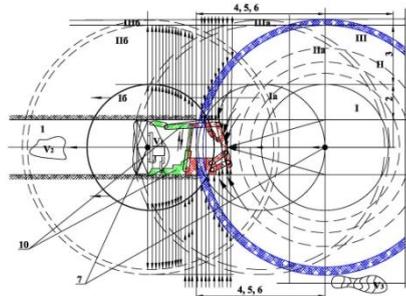


Рис. 2. СМК нового типа: подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в КТДБ. Ia – смещение первой зоны КТДБ; Ib – вывод первой зоны и извлечение из под влияния КТДБ; IIa и IIб – не произошедшие смещение зон, вторая зона осталась в КТДБ; IIIa и IIIб – третья зона, не произошедшие смещение КТДБ

Необходимость исключить взрывоопасные аварийные ситуации – выброс пылегазовой смеси от забоя и обрушение породы в кровле призабойного пространства, обеспечить функциональную работу СМК совместно с капсулой термодинамического баланса, значительно снизить газообильность, увеличить скорость передвижки секции механизированной крепи к забою, повысить срок эксплуатации секции механизированной крепи, техническая необходимость применения двухсторонней (челноковой) схемы резания, исключить холостой ход комбайна по зачистке призабойной дорожки, снизить себестоимость 1 т добычи твердого полезного ископаемого и металлоемкость секции механизированной крепи, увеличить в несколько раз производительность труда и добычу твердого полезного ископаемого, обеспечить высокую безопасность труда [1].

Колоссальную энергию, заключенную в капсуле термодинамического баланса использовать в работе СМК.

**Цели:** Безопасность и эффективность труда, повысить скорость передвижения секций механизированной крепи, увеличить добычу твердого полезного ископаемого, экономия финансовых ресурсов (средств). Позволяет вывести ядро капсулы термодинамического баланса, в котором работает лава, в целик горного массива из под влияния самой капсулы термодинамического баланса.

**Решаемые задачи:** Нет аналогов в России и за рубежом, технология, отвечающая требованиям Программы Правительства РФ по импортозамещению и модернизации топливно-энергетического комплекса (ТЭК); высокая конкурентоспособность СМК нового типа и возможность выхода на мировой рынок; имеет технические преимущества перед действующими типами СМК; увеличить в несколько раз скорость передвижения СМК и производительность труда; силы, заключенные в капсуле термодинамического баланса, используя в законе равновесия твердого тела (II закон Ньютона) позволяют вывести ядро, в которой работает лава, в целик горного массива, где вся силовая составляющая приведена к нулю и работы не происходит, соответственно и обрушения в боковых породах отсутствуют; повышает эффективность производства добычи (извлечения) ТПИ; повышает в разы безопасность труда в лавах; исключает внезапный выброс пылегазовой смеси; позволяет значительно снизить газообильность в процессе отработки лавы; способствует существенному увеличению добычи ТПИ; повышает срок эксплуатации СМК; значительно снижает себестоимость 1 т добычи ТПИ (угля); позволяет перераспределить опорное горное давление с угольного пласта в завальную часть лавы, исключая неконтролируемые обрушения угля в угольном массиве и выбросы пылегазовой смеси в призабойной части лавы; несет безопасность ведения горных работ в лаве; позволяет

применение двухсторонней (челноковой) схемы резания; исключает холостой ход комбайна по зачистке призабойной дорожки; снижается металлоемкость секции механизированной крепи.

**Высокая конкурентоспособность** СМК нового типа и выход на мировой рынок.

Закон равновесия твердого тела – это условие нулевой работы всех приложенных сил, которое выполняется в СМК нового типа: подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в КТДБ.

Новизна в сравнении с аналогичными отечественными и зарубежными разработками заключается в том, что геомеханическая система «крепь-горный массив» приводится в состояние равновесия, повышая безопасность ведения горных работ в очистном забое. Окупаемость при модернизации действующих СМК менее одного года. В среднесрочном будущем наладить производство выпуска отечественных новых СМК по технологии ООО «РивальСИТ».

### **Список литературы**

1. Патент 2546689 РФ: МПК Е 21 D 23/04 (2006.01). Секция механизированной крепи нового типа: подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в капсуле термодинамического баланса [Текст]/Тарасов В.М., Тарасова Н.И., Тарасов Д.В., Тарасов А.В.; патентообладатели Тарасов В.М., ООО «Ривальс СОВРЕМЕННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» (ООО «РивильСИТ»). – № 2013141858/03; заявл. 12.09.2013; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10. – 19 с.

2. Пат. 2387841 Российская Федерация, МПК Е 21 D 23/00 (2006.01). Способ монтажа и эксплуатации секции механизированной крепи (варианты) / Тарасов В. М., Тарасова А. В., Тарасов Д. В.; патентообладатель Тарасов В.М., ООО «РивильСИТ». – № 200812934/03; заявл. 18.07.2008; опубл. 27.04.2010, Бюл. № 12. – 18 с.

## **ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМПРЕССИОННО-ВАКУУМНОЙ УДАРНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ С ЭНЕРГИЕЙ ЕДИНИЧНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ 1200 ДЖ**

**Тимонин В.В., Степанов Д.В.**

*ИГД им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск*

Сейсморазведочные работы в горных выработках проводятся с помощью переносных сейсмостанций, упругие волны для которых возбуждаются, в большинстве случаев, ударным воздействием ручной кувалды по металлическому излучателю (подложке). Данный метод создания упругих волн является наиболее затратным в плане человеческих ресур-

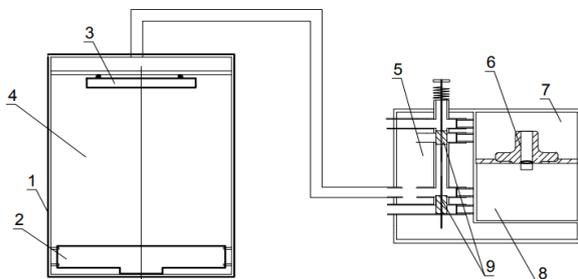
сов. Промежутки между воздействиями имеют разную продолжительность и сами удары происходят с различной энергией, что отрицательно сказывается на результатах обработки полученных данных. При использовании ручной кувалды энергия ударного воздействия не может превышать 300-350 Дж, а также, при этом, нет возможности или крайне затруднительно генерировать ударные импульсы в стеснённых условиях или наносить удары в свод и стены.

Поэтому, актуальной технической задачей является разработка невзрывного универсального мобильного комплекта оборудования для генерации ударных импульсов, обеспечивающего ударное воздействие с энергией 1200 Дж. При разработке и конструировании компрессионно-вакуумной ударной машины необходимо обоснование её параметров.

При решении данной научно-технической задачи разработана конструктивная схема и создан рабочий макет компрессионно-вакуумной ударной машины с возможностью повышения энергии единичного ударного воздействия до 1200 Дж.

На базе рабочего макета компрессионно-вакуумной ударной машины проведены лабораторные эксперименты по определению параметров: длины рабочего хода и объёма рабочей камеры.

При определении длины рабочего хода ударного бойка эксперименты проводились на ударной машине с диаметром корпуса 315 мм. На основании серии экспериментов для КВУМ с электромагнитным накопителем энергии определена длина рабочего хода 90 см, при которой достигается максимальная величина энергии единичного воздействия. Длина хода бойка изменялась посредством установки регулировочных колец. Измерение скорости ударного бойка производилось посредством анализа данных полученных от оптического датчика перемещения.

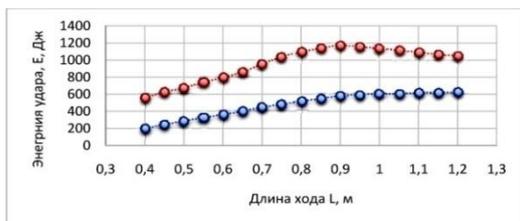


**Рис. 1. Конструктивная схема КВУМ-1200:**

- 1 – корпус; 2 – ударник; 3 – магнитный накопитель энергии;
- 4 – рабочая камера; 5 -воздухораспределитель; 6 – вакуум-компрессор;
- 7 – напорная камера; 8 – всасывающая камера; 9 – поршни

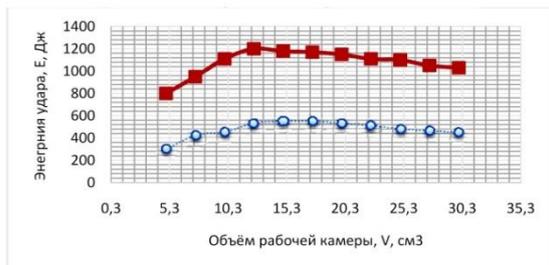
При определении объёма рабочей камеры эксперименты проводились на ударных машинах с диаметрами корпусов 160 и 315 мм. На основании серии экспериментов определены объёмы рабочих камер, при которых достигается максимальная величина энергии единичного воздействия: 15л для диаметра 160 мм и 12,5л для диаметра 315 мм. Во втором опыте объём рабочей камеры изменялся посредством подключения наборных ресиверов. Лабораторные эксперименты проводились на аппаратной платформе ArduinoNano.

На рисунке 2 представлены зависимости величин энергии ударного воздействия ( $E_{уд}$ , Дж) и длины рабочего хода ударного бойка ( $L_x$ , см).



**Рис. 2. График изменения энергии единичного воздействия при изменении длины хода ударного бойка**

На рисунке 3 представлены зависимости величин энергии ударного воздействия ( $E_{уд}$ , Дж) и объёма рабочей камеры ( $V_{рк}$ , см).



**Рис. 3. График изменения энергии единичного воздействия при изменении объёма рабочей камеры**

Аналитически обоснованы и экспериментально определены рациональные параметры механической системы автоматизированного управления компрессионно-вакуумной машины ударного действия, которые позволили сократить время рабочего цикла, уменьшить общую массу машины и предотвратить нежелательный повторный удар в инженерной сейсморазведке.

## Список литературы

1. Репин А.А., Тимонин В.В., Ткачук А.К., Карпов В.Н., Степанов Д.В. К вопросу создания универсальных компрессионно-вакуумных машин ударного действия // Научно-технический журнал Машиноведение. г. Бишкек, ИМаш НАН КР. – 2016. – Т.3. №1. – С. 90 – 95
2. Ткачук А.К., Степанов Д.В. Разработка автономного невзрывного сейсмоисточника для проведения подземной сейсморазведки // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2016 №3.Т.2. – С.198 – 201
3. Ткачук А.К., Тимонин В.В., Карпов В.Н., Степанов Д.В. Применение автоматического компрессионно-вакуумного сейсмоисточника в подземных условиях // Горное оборудование и электромеханика. – 2018, № 1, с. 41-44
4. Тимонин В.В., Степанов Д.В. Сравнительный анализ и оценка существующих малогабаритных импульсных источников для проведения сейсморазведочных работ // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2017 №1.Т.4. с 61-66
5. Патент РФ на изобретение № 2634537 Компрессионно-вакуумная ударная машина двойного действия, Оpubл. 31.10.2017, Бюл. № 31
6. Д.В Степанов, Н.С. Бондарук. Разработка компрессионно-вакуумных ударных машин для использования в подземных горных выработках при прогнозировании опасных горно-динамических явлений // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. Т. 2. № 5. С. 216-223.

## АКТИВАЦИОННОЕ КУЧНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ЗОЛОТА ИЗ ЗАБАЛАНСОВЫХ МЕДНОПОРФИРОВЫХ РУД

Рассказова А.В.

*ХФИЦ Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск*

**Введение.** Технология разработки полезных ископаемых включает три направления: открытая, подземная и физико-химическая геотехнологии [1]. В свою очередь, физико-химические геотехнологии включают различные способы подземного выщелачивания (скважинного, шахтного и блочно-скважинного) и кучного выщелачивания. Технологически и экономически эффективным способом переработки бедных и забалансовых руд цветных и благородных металлов является кучное выщелачивание. При кучном выщелачивании полезные компоненты переходят в продуктивный раствор в результате орошения уложенного в штабель минерального сырья рабочим раствором для селективного растворения ценных компонентов соответствующими реагентами [2]. Существует распространенное мнение, что в технологии кучного выщелачивания благородных металлов из любых пригодных сырьевых источников неизменным до последнего времени являлся процесс выщелачи-

вания цианидными растворами. Считается, что другие известные растворители золота уступают по эффективности цианидам щелочных металлов и практически не находят промышленного применения [3].

В настоящей работе показано, что применение безцианидных растворителей может обеспечивать высокие показатели извлечения цветных и благородных металлов в продуктивный раствор. Одной из проблем применения цианидов является их активное взаимодействие медных минералов с цианидом. Наличие в руде даже относительно небольшого количества меди (десятые доли процента) может вызвать столь большой расход цианида, что применение обычного процесса цианирования может стать нерентабельным. Важным преимуществом безцианидных рабочих растворов является отсутствие непродуктивного расхода реагента на взаимодействие с сопутствующими элементами [4].

Объектом настоящего исследования являются порфировые золото-медные первичные руды и руды зоны окисления. Кучное выщелачивание было промоделировано перколяционным выщелачиванием в лабораторных колоннах [5]. В процессе исследований применялась реагентная двухстадийная схема переработки с подготовкой к выщелачиванию руды активными пероксидно-сернокислотными растворами, полученными при обработке соответствующих растворов исходных реагентов в электрохимическом и фотохимическом реакторах. На второй, основной стадии, проводилось выщелачивание золота активированными хлоридно-гипохлоритными растворами [6].

Выщелачивание полезного компонента из дробленой руды происходит в две стадии: прямое выщелачивание и диффузионное. Прямое выщелачивание имеет место в случаях, когда полезный компонент находится непосредственно на поверхности кусков руды и омывается потоком раствора. Выщелачивание металла, заключенного внутри кусков руды, происходит за счет молекулярной диффузии. Явление молекулярной диффузии возникает при наличии разности концентраций полезного компонента в поровой жидкости, заключенной в порах и мелких трещинах куска руды, и выщелачивающем растворе. Ионы растворенного минерала движутся из поровой жидкости в выщелачивающий раствор, постепенно насыщают его, вызывая падение концентрации в первой. Скорость диффузионного выщелачивания значительно ниже скорости прямого выщелачивания [3].

В проведенных экспериментах на стадии диффузионного выщелачивания были применены реагенты, окисляющие упорные компоненты руды и способствующие повышению извлечения целевых компонентов.

**Результаты перколяционного выщелачивания меднопорфировой руды зоны окисления.** Исходное содержание золота в золотомедной руде зоны окисления составляет 0,82-0,97 г/т. Физико-химическое моделирование перколяционного выщелачивания с применением сернохлоридно-пероксидной схемы с хлоридным окончанием обеспечило извлечение золота на уровне 90-93 % и серебра на уровне 70-75 %.

**Результаты перколяционного выщелачивания первичной меднопорфировой руды.** Примененная реагентная схема включала диффузионное окисление и выщелачивание азотнокисло-нитритным раствором, последующее выщелачивание благородных металлов хлоридным активным раствором и извлечение меди сернокислым раствором. Также были проведены исследования по выщелачиванию ценных компонентов из первичных руд. Процессами диффузионного выщелачивания объясняется переход золото-хлоридных комплексов  $[AuCl_4]^-$ , заключенных в поровом пространстве, в продуктивный раствор за счет диффузии золото-хлоридных комплексов при наличии градиента их концентрации (разницы концентрации внутри порового пространства и в свободной жидкости). По разным данным, извлечение золота в продуктивный раствор составило 17-36 %. Для упорных руд с содержанием золота 0,5 г/т это приемлемый показатель. Для уточнения данных необходимо проведение более масштабных экспериментов. Серебро было извлечено практически полностью (95 %) и 36 % меди перешло в продуктивный раствор.

**Выводы.** Проведено перколяционное выщелачивание серебра, золота и меди из первичных руд и руд зоны окисления меднопорфирового месторождения Малмыж на малообъемных пробах. Применение стандартного цианидного выщелачивания из золотомедных руд связано с рядом сложностей, в том числе с большим расходом цианида на формирование медно-цианистых комплексов. Применение безцианидных схем является разумной альтернативой цианидному выщелачиванию. Руда является бедной по исходному содержанию золота (0,5 г/т) и метод кучного выщелачивания является экономически эффективным решением проблемы извлечения золота. В настоящем исследовании удалось добиться извлечения золота от 17 до 36 % по комбинированной реагентной нецианидной схеме из первичных руд и практически полное извлечение золота из руд зоны окисления (90-93 %) и 70-75 % извлечения серебра. Однако, проведение исследований на более крупных пробах и с применением оптимизированных режимов позволит уточнить полученные данные. Удалось практически полностью извлечь серебро (на 88-95 %) из первичной медно-порфировой руды, на данный момент из нее извлечено 34,5-36 % меди. Планируется продолжение эксперимента и более полное извлечение меди в продуктивный раствор.

*Работа выполнена при поддержке проекта президиума ДВО РАН № 18-2-015 «Золото-медно-порфировое оруденение Дальнего Востока: индикаторы геодинамических обстановок, рудоносного магматизма и минералого-геохимические особенности рудно-магматических систем в связи с решением проблем прогноза, поиска, оценки и технологий разработки месторождений данного типа».*

### **Список литературы**

1. Пучков, Л.А. Геотехнологические способы разработки месторождений: Учебник для вузов. / Л.А. Пучков, И.И. Шаровар, В.Г. Виткалов. 2006. – М.: Издательство «Горная книга». –322 с.
2. Секисов, А.Г. Фотохимические и электрохимические процессы в геотехнологии / Секисов А.Г., Лавров А.Ю., Рассказова А.В., Чита: ЗабГУ, 2019.
3. Дементьев, В.Е. Кучное выщелачивание золота и серебра / В.Е. Дементьев, Г.Я. Дружина, С.С. Гудков. 2004. – Иркутск: ОАО «Иргиредмет». – 352 с.
4. Kryukov, V.G. Typomorphic minerals oxidation zone of gold-copper porphyry ore of the Malmyzh deposit (Svoboda) / V.G. Kryukov, N.A. Lavrik, N.M. Litvinova, V.F. Stepanova // Georesursy. – 2019. – Т. 21, 3. – с. 91-98.
5. Botz, M. Heap Leach Production Modeling: a Spreadsheet-Based Technique / M. Botz, J.Marsden // Mining Metallurgy & Exploration. – 2019. – Т. 36, 6. – С. 1041-1052.
6. Патент на изобретение RU 2647961, авторы Секисов А.Г., Рассказова А.В. Способ выщелачивания золота из упорных руд, 21.03.2018. Заявка № 2017120462 от 09.06.2017.

## **ФОРМИРОВАНИЕ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА РУДНИКЕ ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА**

**Подрезов Д.Р.**

*НИТУ «МИСиС», г. Москва*

Уранодобывающее предприятие столкнулось с несколько нестандартной проблемой – у большинства рудников при отработке блоков наблюдается либо достижение проектного извлечения, либо – некоторое недоизвлечение вскрытых запасов в силу тех или иных причин, напротив, технологические блоки рудника характеризуются переизвлечением либо фактическим, либо ожидаемым. Такое состояние свидетельствует о недооценке вскрытых запасов и приводит к аномально низким коэффициентам обеспеченности, либо к завышению коэффициентов по вскрытию, что в свою очередь, влияет на уровень производственной себестоимости предприятия. В ходе проведенных исследова-

дований были выяснены причины несоответствия вскрытых запасов фактической добыче, а также причины недооценки запасов блоков, с определением потенциальных возможностей укрепления МСБ рудника. В основу данных исследований положена факторная модель геофизических данных рудника.

Под факторной моделью геофизических данных будем понимать совокупность факторных (множество геофизических и технологических данных) и результативных (объем запасов технологического блока) признаков, связанных между собой причинно-следственной связью.

На данном этапе проведена оценка факторных признаков, определяющих объем вскрытых запасов на месторождении среди которых необходимо выделить следующие:

- интервал эффективной мощности закисляемого продуктивного горизонта. На основе учета интервала эффективной мощности закисляемого продуктивного горизонта проведена корректировка рудных интервалов, включаемых в подсчет запасов технологического блока по данному факторному признаку. Для этого были определены рудные интервалы, находящиеся за пределами стандартного подсчета интервала эффективной мощности, в том числе – выше верхней границы интервала эффективной мощности, а также – ниже нижней границы. В такой постановке была проведена корректировка рудных интервалов, включаемых в подсчет запасов блока по интервалу эффективной мощности закисляемого продуктивного горизонта.

- группировка технологических скважин блока. Принципы группировки скважин базируются на выявлении принципов и правил распределений метропроцента рудных интервалов в разрезе и по площади, а также учете влияния приконтурных разведочных скважин, расположенных ближе 10-12 м от границы технологического блока. Принято группировать скважины, вскрывшие один и тот же рудный уровень, по принципу четверти расстояния между откачными и закачными рядами, т.е., при расположении сближенных скважин на расстоянии не более 10-12 м (четверть стандартного от расстояния между рядами) друг от друга, они подлежат группировке.

- площадь технологического блока. Наличие значительной разницы в учитываемых площадях блоков при неизменном количестве скважин, говорит о необходимости коррекции проведенных контуров по граничным скважинам, и площадей блоков соответственно. Для этого необходимо использование граница блока, проводимым не по устьям, а по отметкам фильтров (верх, середина или низ). В такой постановке, по данным инклинометрии, пересчитаны прямоугольные координаты проекций фильтров на дневную поверхность. Учет данных трех факторов позволил

реализовать процедуру пересчета запасов технологического блока на базе оценки эффективной мощности закисляемого продуктивного горизонта, площади по проекциям фильтров и группировок сближенных скважин.

На следующем этапе исследования проведенный корреляционный анализ позволил выявить значимые зависимости коэффициента радиоактивного равновесия от средней массовой доли радия и от среднего значения мощности рудных интервалов с разделением по морфологическим элементам залежи (мешки, крылья, останцы). В процессе интерпретации факторной системы геофизических данных и применения поправочных коэффициентов при интерпретации гамма-каротажа выявилось тенденция определения, так называемых, «мешковатых» крыльев и «крыловатых» мешков.

Такое предположение позволяет выделить два фактора, оказывающие значительное влияние на перераспределение  $U/Ra$  в голоцене: высокая природная скорость движения пластовых вод; наличие второстепенного потока подземных вод, формирующегося на склонах поверхности. Такое влияние, может заключаться в следующем: мешки – прямые, в их классическом понимании, могут рассматриваться на месторождении как комплекс очень мощных крыльев. Каждое из последних – в силу послонной фильтрации кислородных вод – может рассматриваться как отдельный ролл, со своими вторичными формами – мешками и крыльями. При этом, границы между вторичными формами могут визуальнo быть слабо- или не различимы. Это имеет место при постоянной подпитке кислородными водами, когда уран начинает окисляться одновременно с рассеянными соединениями железа – потенциал-задающими – при окислительно-восстановительном потенциале (eh) +100-150; при этом еще не происходит изменения цвета песка от серого к желтому, т.е. для выпадения в осадок лимонита потенциал еще мал, но окисленный уран, равно также, как и частично окисленное железо – уже выносятся в виде карбокомплексов. Об этом же процессе могут свидетельствовать часто встречающиеся белесые прослой песков, с фоновым содержанием урана, и практически без железа, находящиеся на границах балансовых интервалов и нацело окисленных песков. Появление таких прослоев – свидетельство глеевого выноса железа (и урана) в слабо восстановительной обстановке; в дальнейшем железо будет привнесено пластовыми водами и высажено в виде лимонита *in situ*, формируя постепенно расширяющуюся зону окисленных песков.

Вышеизложенные представления позволяют предполагать, что в условиях рассматриваемого месторождения уран будет иметь не столь высокую корреляционную связь с радием, концентрируясь в передовых частях прямых мешков, и в обратных мешках. Именно в таких формах будет наблюдаться минимальный коэффициент радиоактивного равновесия при высоком содержании урана. И эта же гипотеза позволяет

предполагать, что на месторождении мы имеем дело с маломощными вторичными прямыми мешками, формируемыми по мощным крыльям, и с обширными обратными мешками в зонах ослабленной динамики гоченовых подземных вод.

Вышесказанные предпосылки легли в основу подсчета запасов технологического блока по сформированной совокупности вариантов расчетов в рамках факторной модели геофизических данных: вариант 1. – подсчет запасов технологического блока, с учетом интервалов в эффективной мощности, площади по проекциям фильтров и группировок сближенных скважин; вариант 2. – пересчет рудных интервалов в соответствии с ограничением мощности крыльев и корректировками границ, а также подсчет запасов технологического блока, с учетом интервалов в эффективной мощности, площади по проекциям фильтров и группировок сближенных скважин; вариант 3. – пересчет рудных интервалов в соответствии с ограничением мощности крыльев и корректировками границ, а также подсчет запасов технологического блока, с учетом интервалов в эффективной мощности, площади по проекциям фильтров без группировок сближенных скважин. Проведенные расчеты показали, что лучшие значения по оценке запасов исходя из функции ценности дает третий вариант, при этом общие изменения параметров незначительны при тех же параметрах, что и в технологическом регламенте. Это еще раз свидетельствует о том, что основная проблема подсчета запасов технологического блока заключается именно в оценке коэффициента радиоактивного равновесия.

Следовательно, проблемой переоценки объемов запасов месторождения является обработка и анализ радиологических данных и интерпретация на их основе значений коэффициента радиоактивного равновесия, а также объемных и качественных показателей запасов урана. В такой постановке комплексный анализ причин и факторов эксплуатационного переизвлечения урана на месторождении является одним из производственных резервов оптимизации расходов на добычу, расширение минерально-сырьевой базы и показателей капитализации предприятия.

## **УЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ САПРОПЕЛЯ**

**Курзо Б.В., Гайдукевич О.М.**

*Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск*

Целью работы является оценка известных и обоснование новых способов восстановления заиленных озер по технологическим и экологическим параметрам.

В Беларуси около 1900 озер ледникового происхождения площадью более 0,01 км<sup>2</sup>, которые в природе выполняют ряд биосферных функций, в том числе аккумулирующую [1]. Наряду с накоплением пресной воды в озерных системах происходит концентрация специфических органико-минеральных осадков – сапропеля. Большинство озер Беларуси находится в состоянии, когда процессы эвтрофирования и усиленного заиления обрели необратимый характер и любые меры, в том числе ограничение стоков с водосбора, повышение уровня воды, аэрация водной массы не могут остановить процессы заиления и дают кратковременный эффект. Особенно это характерно для многочисленных малых озер. По данным поисково-оценочных работ на сапропель, в ряду объектов: крупные и средние (площадь > 50 га) – малые (11-50 га) – очень малые (≤ 10 га), средняя глубина воды снижается с 3,3 до 2,7 и 2,5 м соответственно, а средняя мощность сапропеля увеличивается с 2,9 до 3,3 и 4,5 м. Объемная заиленность котловин составляет у крупных и средних озер 43 %, малых – 55 % и очень малых – 66 %. Исследования показывают, что по сравнению с пребореальным периодом (около 10 тыс. лет назад) перекрыто торфом и прекратило существование более 4,5 тыс. малых озер. Их общая площадь составляет около 1,2 тыс. км<sup>2</sup>, а запасы сапропеля – около 1,3 млрд м<sup>3</sup>.

Действенным способом восстановления функции озер, как аккумуляторов пресной воды, является удаление донных отложений, в результате чего решается двуединая задача – возрождение озер и получение ценного органико-минерального сапропелевого сырья.

Работы по очистке озер от сапропеля и использования добытого сырья для выпуска различной продукции сельскохозяйственного, промышленного и бальнеологического назначения проводятся в Беларуси начиная с 1975 г. В 1985 г. объем добычи сапропеля составил 1,5 млн. т. Добычу сапропеля проводили на 42 озерах и 13 торфоучастках. Общий объем добытого из озер и торфяных месторождений сапропеля оценивается почти в 34 млн. м<sup>3</sup>, что составляет около 1% имеющихся в республике ресурсов. В настоящее время действует 9 объектов.

Расчеты показывают, что около 60 % энергии при добыче сапропеля расходуется на экскавацию и последующий транспорт к месту удаления влаги. Расходы на транспорт сапропеля значительно возрастают с увеличением содержания в нем воды, поэтому актуальна разработка приемов извлечения донных отложений естественной и пониженной влажности.

В Беларуси добычу сапропеля производят гидромеханизированным, грейферным, шнековым и экскаваторным (из-под торфа) способами [2]. Экологичность способа разработки оценивается по результатам текущего контроля за состоянием озерных комплексов по следующим обязательным параметрам: степень зарастания макрофитами, биомасса, чис-

ленность и состав зоопланктона, бентоса и фитопланктона, солевой состав водной массы, прозрачность воды, содержание кислорода, цветность, фосфор валовый, БПК<sub>5</sub>, нефтепродукты. Данные текущего контроля сопоставляются с результатами первичного контроля до начала разработки сапропеля.

Гидромеханизируемый способ, основанный на применении земснарядов используется в основном на больших озерах площадью 500 га и более, в том числе и на самом крупном водоеме Полесья – оз. Червоном площадью 4360 га. Преимущества способа заключаются в непрерывности, малооперационности, низких трудовых и эксплуатационных затратах. Недостатки: необходимость значительного разбавления сапропеля водой для его эффективного транспорта по трубопроводу и, как следствие, отвода больших земельных участков под отстойники для удаления избытка влаги (до 20-100 га на озерах Вечер, Червоное и др.), высокая металлоемкость и стоимость оборудования. Гидромеханизируемому способу свойственны большие первоначальные капиталовложения, которые обусловлены существенными затратами на обустройство чеков-отстойников.

При грейферном способе добычи сапропеля используется установленный на понтоне экскаватор с грейферным или специальным ковшом-желонкой. Технология находит применение на сравнительно малых (до 100 га) озерах. Достоинства грейферного способа: добыча сапропеля естественной влажности, уменьшение земельных отводов под поля сушки, простота их устройства по сравнению с отстойниками. Недостатки: цикличность операций, многозвенность, большие трудовые и энергетические затраты, наличие промежуточных операций по транспортировке сырья. Кроме того периодическое погружение грейфера в залежь и последующий подъем его вызывает значительное взмучивание, приводящее к обогащению воды биогенными элементами.

На плавучем понтоне устанавливают также специально разработанное оборудование со шнеком в качестве извлекающего сапропель рабочего органа. Преимущества шнековой добычи: непрерывность добычи сапропеля, высокая производительность и экологичность основной операции извлечения сапропеля, т.к. рабочий орган действует в замкнутом объеме. Недостатки: многозвенность операций, наличие промежуточного транспорта, неоправданно высокое диспергирование добываемого сапропеля.

При экскаваторной добыче сапропеля естественной влажности из-под торфа для обеспечения проходимости техники на сильнообводненной торфяной залежи необходимо создание осушительной сети или ее восстановление на выбывшем из эксплуатации торфяном участке.

Недостатки существующих способов извлечения сапропеля, а также объективные экономические причины, привели к падению их добычи в республике.

В Институте природопользования НАН Беларуси разработано, изготовлено и испытано в производственных условиях оборудование для добычи сапропеля, где в качестве основных рабочих органов для извлечения сапропеля используется ковшовый элеватор и канатный скрепер. По сравнению с другими экскавирующими устройствами, данные устройства менее энергоемки, более упорядоченно вырабатывают донные отложения с минимальным воздействием при экскавации на структуру материала и его водопрводящую сеть.

Ковшово-элеваторная установка для добычи сапропелевой лечебной грязи эксплуатируется на озере Судобль Минской области. Установка состоит из плавучего основания катамаранного типа, ковшового устройства с электроприводом, механизмов передвижения и управления. Установка имеет производительность 30-40 т/ч при глубине экскавации 4-7 м. Металлоемкость и энергоемкость ее в 5-6 раз ниже по сравнению с грейферной такой же производительности.

Испытание канатного скрепера на сильно дистрофированном, заболоченном по периметру озере в Гомельской области выявили возможность размещения технологического оборудования вне разрабатываемой залежи, проведения работ, не лимитированных глубиной воды, в труднодоступных местах, добычи донных отложений естественной влажности, исключения операции дополнительной перегрузки сырья на берегу. Кроме того, существует возможность круглогодичного проведения добычных работ и отпадает необходимость подготовки месторождения.

Таким образом, большинство сапропелевых озер Беларуси составляют малые водоемы со значительной степенью заиленности и большими запасами сапропеля. Известные ранее технологии очистки больших озерных водоемов от сапропеля в настоящее время не находят применения по экономическим и экологическим причинам. Предложены и применяются новые способы восстановления озер и добычи сапропеля, что позволяет увеличить ресурсы пресной воды и получить ценное сырье.

### Список литературы

1. Якушко О.Ф. Озероведение: География озер Белоруссии.– Минск, 1981. – 223 с.
2. Лопотко М.З., Евдокимова Г.А., Кузьмицкий П.Л. Сапропели в сельском хозяйстве. – Минск, 1992.– 216 с.
3. Курзо Б.В., Сенькевич Л.П., Гордобудская О.М. Изменение качественных показателей водной массы озер при разработке донных отложений // Природные ресурсы. – 1997. – № 1. – С. 16-23.

## **НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ПОДГОТОВКЕ И ОТРАБОТКЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЬЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ**

**Демура В.Н., Кубрин С.С., Закоршменный И.М., Блохин Д.И.,  
Закоршменный А.И.**

*АО «СУЭК», ИПКОН РАН, г. Москва*

Вопросам промышленной безопасности и внедрения современных эффективных средств механизации и автоматизации в компании АО «СУЭК» уделяется постоянное внимание. Так, в настоящее время практически 100 % угля добывается в комплексно – механизированных забоях (КМЗ).

При этом следует учитывать, что условия отработки запасов угля постоянно ухудшаются в связи с переходом работ на более глубокие горизонты, и с этим, как правило, связывают повышение газообильности угольных пластов, вероятность возникновения динамических процессов, увеличение нагрузки на элементы крепи, снижение устойчивости вмещающих пород.

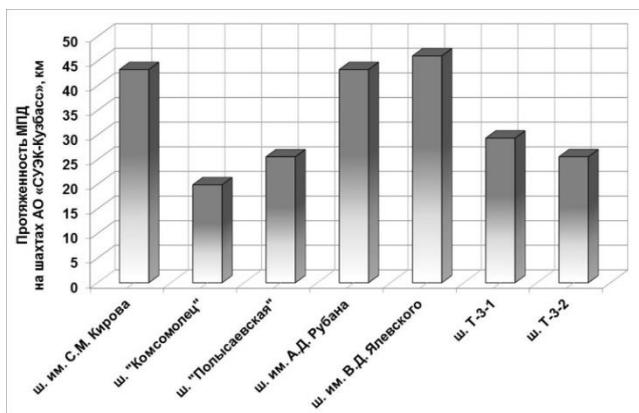
В настоящее время в Кузбассе в подавляющем количестве случаев применяется многострековая схема подготовки выемочных столбов, подтвердившая эффективность ее применения в отеческой и зарубежной практике при работе с высокими нагрузками [1]. Проведение спаренных выработок для подготовки выемочных участков позволяет в комплексе решить вопросы управления газовыделением и поддержания выработок на пластах со сложными горно-геологическими условиями при различных схемах проветривания. Реализуется комбинированная схема проветривания, при которой свежий воздух на проветривание очистного забоя и выработанного пространства подается по двум выработкам.

По итогам 2019 года подземным способом добыто более 25 млн. т угля. Постоянно увеличивается нагрузка на КМЗ и настоящее время составляет более 10 тыс. тонн в сутки. Такая интенсивная отработка запасов требует соответствующего повышения темпов подготовки запасов.

Предпринятые в этом направлении меры позволили резко нарастить объемы проведения в 2019 г. подготовительных и вскрывающих горных выработок, которые по сравнению с 2018 г. увеличились на 34%. [2].

Такие показатели достигнуты за счет оптимизации технологических схем проведения выработок путем применения высокопроизводительных проходческих комбайнов фронтального действия, отказа от скреповых конвейеров, применения самоходных вагонов.

При этом в некоторых случаях узким местом являются вопросы снабжения подготовительных забоев, напрямую связанные с эффективным воспроизводством очистного фронта. Длина выемочных столбов в современных условиях ведения горных работ достигает 2500-7500 м, а длина лав – 400 м, при этом общая протяженность маршрутов монорельсовых подвесных дорог (МПД) на шахтах значительно превосходит указанные значения (рис. 1), что существенно увеличивает транспортные затраты при подготовке и отработке запасов.



**Рис. 1. Протяженность МПД на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» (на конец сентября 2018 г.), км**

Эксплуатация подвесных монорельсовых дорог неразрывно связана с функционированием горного предприятия и материальными потоками в виде: физического перемещения грузов с учетом изменения состояния массива горных пород при ведении горных работ и информации [3,4]. При этом, преследуется цель, заключающаяся в доставке необходимой продукции за более короткое время и с оптимальными затратами на логистические операции. Несмотря на то, что масса вспомогательных грузов, ежедневно перевозимых на шахте, как показывает проведенный анализ, составляет около 5 % ежедневного грузопотока угля, трудоемкость доставки вспомогательных грузов составляет 30-40 % общей трудоемкости работ на подземном транспорте.

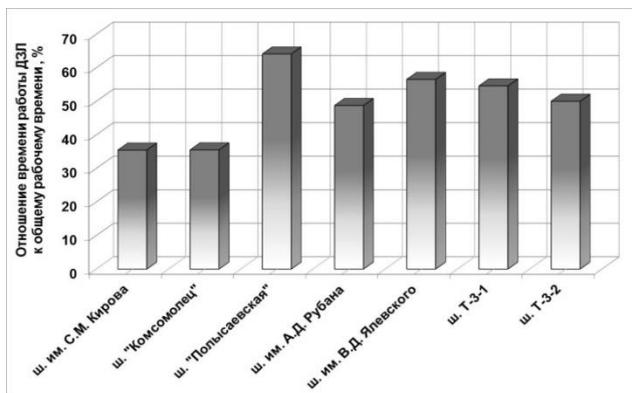
Указанные потоковые процессы составляют логистическую систему шахты, в основе которой лежит эффективная выемка и транспортирование угля по горным выработкам, своевременная доставка вспомогательных материалов, людей, оборудования к очистным и подготовительным забоям, сбор и передача информации для координации потоковых процессов.

Координация потоковых процессов шахты основывается на анализе производственных ситуаций и синтезе методов поиска резервов. Логистический анализ и синтез как метод поиска резервов базируется на способах оптимизации – планировании, управлении и контроле принятых решений [4, 5].

От правильности выбора вида транспорта для перемещения вспомогательных грузов во многом зависит эффективность работы горного предприятия, поскольку из-за опозданий с доставкой оборудования или материалов возникают простои. Специальное формирование запасов на отдаленных участках усложняет логистическую систему и снабжение. Здесь важно не столько сокращение времени движения, сколько обеспечение доставки точно в срок и в нужное место.

Ниже приведен анализ статистических данных, характеризующих эффективность работы транспортного обслуживания общешахтных работ вспомогательным монорельсовым дизельным транспортом.

Результаты показывают, что фактическое время работы дизелевоза (ДЗЛ) составляет в пределах 50% общего рабочего времени в АО «СУЭК-Кузбасс», рис. 2.

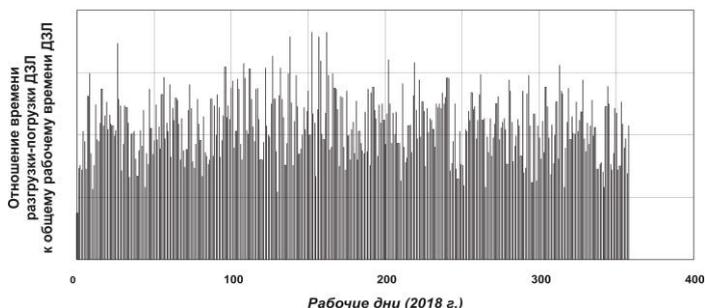


**Рис. 2. Отношение времени работы ДЗЛ к общему рабочему времени (рассматриваемый период – 2018 год), %**

Процесс загрузки транспорта носит хаотический характер, о чем свидетельствует время погрузки – разгрузки на примере шахты им. С.М. Кирова (рис. 3).

Из этого следует, что в реальных условиях работы горного предприятия количество перевозимых грузов, время погрузки-разгрузки, движения и простоев являются случайными величинами, поскольку практически невозможно предсказать их мгновенные значения.

Следовательно, процесс перемещения подвижного состава подвесной монорельсовой дороги и груза является случайным и требует тщательного изучения с целью учета вероятностного характера процесса для повышения эффективности вспомогательного транспорта.



**Рис. 3. Отношение времени разгрузки-погрузки ДЗЛ к общему рабочему времени ДЗЛ(шахта им. С.М. Кирова, рассматриваемый период – 2018 год), %**

Решая данную логистическую задачу, следует определить на какие отрезки необходимо разделить маршрут, где должны быть устроены пункты перегруза, в какой последовательности грузы должны быть отправлены с поверхности с целью предотвращения непроизводительных операций при их распределении к местам назначения.

### Список литературы

1. О проектировании технологических схем подготовки и отработки выемочных участков угольных пластов / О.И. Казанин, В.В. Козулин, М.В. Барабаш, Е.П. Ютяев // Уголь. 2010. № 6. С. 24-28.
2. Артемьев В.Б. АО «СУЭК»: основные итоги работы в 2019 году // Уголь. – 2020. – № 3. – С. 10 – 16. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-3-10-16.
3. Галкин В.И., Шешко Е.Е. Инженерная логистика погрузочно-разгрузочных транспортных и складских работ на горных предприятиях. – М.: Горная книга, 2009. – 156 с.
4. Ширин Л.Н., Расцветаев В.А., Коваль А.И. Повышение эффективности работы монорельсовых дорог при подготовке запасов угля к очистной выемке: монография. – Д.: НГУ, 2014. – 144 с.
5. Гутаревич В.О. Логистические подходы к формированию процесса перевозки вспомогательных грузов шахтными подвесными монорельсовыми дорогами // Проблем и розвитку транспортних систем і логістики: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2014. – С. 50-52.

# АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСОВ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К НОВОМУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ УКЛАДУ\*

Юков В.А.

*ИПКОН РАН, г. Москва*

В последнее время разными институтами геологического профиля выполнен цикл работ, посвящённых современному состоянию минерально-сырьевой базы России. оценке потенциала недр и выполнен минерально-сырьевой и стоимостной баланс [1-3]. Сопоставление этих работ с современным состоянием минерально-сырьевой базы России [4] позволяет выявить наиболее общие тренды в развитии геолого-разведочных работ и геотехнологий.

В натуральном выражении МСБ остаётся устойчивой и изменяется за счёт прироста дополнительно разведанных или вовлечённых в разработку месторождений. Оценивать степень использования разведанной базы можно в натуральном выражении через натуральные показатели. Появляется возможность сопоставления имеющихся – разведанных и разрабатываемых месторождений. Изменение этого соотношения в разные периоды определяет уровень использования общего сырьевого потенциала. Этот принцип положен в основу рассмотрения МСБ четырех видов полезных ископаемых.

По запасам **медных** руд промышленных категорий в 60,6 млн т Россия занимает третье место в мире. Прогноз ресурсов запасов значителен. Госбалансом учтены 172 коренных месторождения меди: 102 существенно медных и 70 комплексных. Учтены также 7 *техногенных месторождений*. Из них 4 в Свердловской области, 2 в Красноярском крае и 1 в Мурманской области.

Сегодня количество разведанных месторождений увеличилось на 38, а осваиваемых на 10 и их соотношение составляет 172 к 48. С учётом подготавливаемых соотношение разведанных и разрабатываемых месторождений составит 172:61.

Сырьевая база меди значительна и обеспечит работу добывающих и перерабатывающих предприятий в течение многих десятилетий. Более четверти месторождений расположены в удалённых районах со слабой инфраструктурой, что потребует значительных затрат на их освоение. Кроме того, запасы богатых легкообогатимых медных руд практически отработаны, что определяет необходимость перехода на новый техноло-

---

\* Исследования выполняются при поддержке РФФИ (грант 18-05-00114\_а)

гический уклад рудников, обеспечивающий высокую интенсивность отработки запасов и значительную производительность при наращивании объемов добычи.

Сырьевая база **никеля** только разрабатываемых и осваиваемых месторождений составляет 7, 4 млн. т металла. Это находится на одном уровне с базами крупнейших мировых производителей. Прогнозные ресурсы категории Р<sub>1</sub> составляют 1,45 млн. т никеля. Большая часть прогнозных ресурсов оценена категориями низкой степени достоверности.

В государственном балансе учтено 59 никелевых месторождения. Из них 52 собственно никелевые и 7 никельсодержащие. Учтены также 3 техногенных месторождения. Передано на освоение 35 месторождений, но разрабатывается только 10.

Сегодня разведанная база никеля насчитывает 59 месторождения. Из них разрабатывают 10, Соотношение составляет 59/10. Подготавливают 7 и в ближайшее время соотношение составит 59/17.

Обеспеченность запасами действующих предприятий – значительна и превышает 50 лет. Обеспеченность богатыми рудами превышает 25 лет. Вместе с тем, закономерности изменения минерально-сырьевой базы никеля состоят в уходе горных работ на глубокие горизонты – более 2,5 км. Это требует изыскания геотехнологий, характеризующихся новым технологическим укладом подземного рудника.

Сырьевая база **свинца** является 4-ой в мире. Качество руд основных отечественных и зарубежных месторождений в основном сопоставимо. Как попутный компонент свинец присутствует в медно-сульфидных месторождениях Урала. Прогноз прироста ресурсов свинца невелик. Госбалансом запасов учтены 102 коренных месторождений свинца, 10 из них отнесены к забалансовым.

Сегодня количество разведанных месторождений увеличилось на 14, а разрабатываемых осталось на прежнем уровне и их соотношение составляет 102 к 17, с учётом вводимых составит 102/24.

Практически все производимые в стране свинцовые концентраты, а также часть добытых богатых руд, не требующих обогащения, вывозится за рубеж, главным образом в Китай. Остальное в Казахстан и Южную Корею в равных количествах. Сырьевая база свинца обеспечит работу горнодобывающих предприятий в течение многих десятилетий.

По запасам **железных руд** страна находится в одном ряду с крупнейшими обладателями запасов железа. Но качество руд невысокое, среднее содержание находится в пределах 28-34%.

Государственным балансом учтены 229 железорудных месторождений. Среди них 8 месторождений, обрабатываемых на другие компоненты и 2 *техногенных* в Мурманской области.

Количество разведанных месторождений увеличилось на 56, а разрабатываемых сократилось на 18. Соотношение составляет 229/23, с учётом подготавливаемых составит 229/35.

Сырьевая база железных руд, одна из крупнейших в мире, способна обеспечить работу горнодобывающих предприятий в течение более 100 лет.

В ближайшее 2-4 года в разработку будет вовлечено 10 месторождений алмазов, 13 -меди, 7-гикеля, 8 -свинца, 7 – железа. Нагрузка на МСБ всё более возрастает.

Возрастает роль экологического фактора в вовлечении месторождений в освоение. Одно из крупнейших в стране колчеданно-полиметаллическое Холоднинское месторождение (содержит более 30% запасов при среднем содержании 0,6% свинца) в 2017 г переведено в нераспределённый фонд поскольку оно расположено в центральной экологической зоне Байкальской территории.

Все разведочные работы предприятия выполняют за счет собственных сил и средств (кроме железа) не только на профильное сырьё. Но и другие полезные ископаемые.

В освоение вовлекают в первую очередь месторождения, содержащие ценные попутные компоненты: для руд цветных – драгоценные металлы. Редкие земли; для железных руд – титан, ванадий.

Снижение содержания ценных компонентов в рудах при увеличении глубины горных работ определяют актуальность перехода к новому технологическому укладу подземных рудников[5]. Получены новые экспериментальные данные и обоснована возможность и экономическая эффективность вовлечения в эксплуатацию при новом технологическом укладе некондиционных руд с содержанием меди 0,16-0,2 % (изучены бедные медьсодержащие руды Жезказгана и Южного Урала).

Общий тренд снижения содержаний ценных компонентов в рудах определяет необходимость повышения интенсивности разработки для сохранения требуемой производительности подземных рудников. Это становится возможным за счет применения в подземном руднике нового технологического оборудования – высокоскоростных ленточных сепараторов и передвижных закладочных комплексов модульного типа. В результате, при высоких объемах подземной добычи руд, большая часть отходов утилизируется в подземном руднике с выдачей на поверхность высококачественного сырья.

### **Список литературы**

1. Богатство недр России. Атлас основных месторождений Российской Федерации. Санкт-Петербург, Изд-во ВСЕГЕИ. 2008
2. Богатство недр России. Минерально-сырьевой и стоимостной анализ. С.-П. Изд-во ВСЕГЕИ. 2008. – 484 с.

3. Геотехнологическая оценка минерально-сырьевой базы России. /Под ред. Трубецкого К.Н., Чантурия В.А., Каплунова Д.Р./ М.: Изд-во ИПКОН РАН, 2008, 464 с

4. Государственный доклад о состоянии и использования минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах. М. 2018, 372 с.

5. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Перспективные направления развития комбинированной геотехнологии в свете совершенствования технологического уклада горного производства //Известия ТулГУ. Науки о Земле, 2019. – №3. – С.7-22.

## **СОСТАВ И СВОЙСТВА ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**

**Радченко Д.Н., Гаджиева Л.А.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

В условиях непрерывно возрастающей потребности в металлах, значительное улучшение обеспеченности горнодобывающего комплекса сырьем возможно путем широкомасштабного внедрения новых прогрессивных геотехнологий, позволяющих за счет снижения капитальных и эксплуатационных затрат рентабельно вовлекать в эксплуатацию бедные балансовые и забалансовые руды как на действующих предприятиях, так и на резервных месторождениях. Накопленный практический опыт и знания привели к созданию принципиально новых физико-химических способов разработки рудных месторождений, которые в органичном сочетании с традиционными способами обеспечивают технико-экономическую эффективность горного производства.

Развивается технология, заключающаяся в комбинированной разработке рудных месторождений с извлечением на поверхность только наиболее богатых руд и оставлением для подземного выщелачивания в камерах предварительно раздробленной бедной руды без выдачи ее на поверхность [1]. Данная технология может быть адаптирована для разработки месторождений цветных, редких и благородных металлов, таких как уран, золото, медь, молибден и других. Однако, с применением технологии связана проблема гидрогеохимического и негативного воздействия выщелачивающих растворов на природные и антропогенные объекты окружающей среды. Для устранения этих недостатков необходима надежная гидрозакаладка блоков подземного выщелачивания с обеспечением полного сбора всех продуктивных растворов выщелачивания.

В природных условиях невозможно встретить полностью водонепроницаемых и химически стойких монолитных массивов горных по-

род, в связи с чем встает необходимость в формировании специальных горнотехнических конструкций на основе искусственных материалов в выработанном подземном пространстве для эффективного применения физико-химической геотехнологии. Возведение встроженных конструкций в выработанном подземном пространстве широко известно в мировой практике в качестве основного защитного барьера в условиях захоронения отработанного ядерного топлива, способного снизить уровень радиационного воздействия в зоне его хранения [2].

О необходимости развития теоретических основ технологии подготовки блоков подземного выщелачивания на базе возведения горнотехнических конструкций, отвечающих современным экологическим требованиям, свидетельствует критический анализ литературы. В публикациях известных авторов особая роль уделяется возможности роста интенсивности очистных работ и процесса транспортирования полезного ископаемого. Развитие комбинированных геотехнологий подземной добычи руд и шахтного подземного выщелачивания базируется на создании камер и днищ блоков, обеспечивающих, безопасность процессов выщелачивания – гидроизоляции технологического пространства, газо- и термостойкости закладочного массива, а также устойчивости к агрессивным средам.

Предпосылками к созданию в недрах специальных горнотехнических конструкций с требуемыми свойствами являются достижения в области совершенствования составов и способов возведения закладочных смесей [3, 4] – технологии создания таких сооружений достаточно отработаны. Вместе с тем, несмотря на то, что на разных этапах развития техники и технологии закладки выработанного пространства классифицировались по различным признакам, сведения о свойствах закладочных смесей, которые необходимо достигать с позиций обеспечения условий для выщелачивания, весьма ограничены. В основу классификации принимались различные критерии, такие как отсутствие или наличие вяжущих компонентов, агрегатное состояние закладки в процессе транспортирования и распределения в выработанном пространстве, физико-механические характеристики формируемых закладочных массивов. Например, проф. М.Н. Цыгаловым проведена классификация закладочных массивов по способу их возведения [5], в работах И.Н. Савича предложена классификация закладки выработанного пространства по наличию или отсутствию воды и ее содержанию в процессе приготовления, транспортирования и укладки [6]. Следует отметить, что обоснование составов закладочных смесей для различных вариантов систем разработок основывается, в первую очередь, на требованиях формирования заданной прочности, приемлемой стоимости возведения искус-

ственного массива, достаточного времени для достижения требуемых прочностных характеристик материала. В меньшей степени в литературе уделяется внимание химической и термостойкости закладочных массивов, газонепроницаемости и иным свойствам, необходимым для надежного течения процессов выщелачивания в подземных условиях.

Технология закладки выработанного пространства цементной пастой была впервые реализована в 1957 году компанией Falconbridge Nickel Mines Ltd. на руднике Харди в Садбери [7] и на руднике Бад-Грунд в Германии в конце 1970-х годов [8]. И уже к 2006 году в мировой горнодобывающей отрасли функционировало более 40 заводов по изготовлению цементной пастовой закладки [9]. Значительные исследовательские усилия в области совершенствования состава и реологических свойств цементной пасты позволили эффективно применять в качестве вяжущего компонента закладочных смесей искусственные пуццоланы, такие как летучая зола [10, 11], доменный шлак [12, 13], шлаки цветной металлургии [14], измельченные отходы производства натриевого стекла [15, 16], отработанная футеровка электролизеров производства алюминия [17]. Эти и другие материалы могут явиться основой для формирования в недрах специальных сооружений – камер для выщелачивания. В этой связи, исследования направлены на изучение «новых» свойств формируемых закладочных массивов, придание которых позволит эффективно выщелачивать руды в низко-, либо высокотемпературных режимах. В первую очередь к ним относятся гидроизоляционные свойства, газо- и термостойкости закладочного массива, а также устойчивости к агрессивным средам. Выполненные исследования позволили определить компоненты закладочных смесей в зависимости от состава руд и пород на месторождениях цветных и благородных металлов и предложить составы закладочных смесей в соответствии с требованиями к технологии подземного выщелачивания.

### Список литературы

1. Радченко Д.Н. Высокопроизводительные подземные кластеры добычи минерального сырья на базе комбинированных геотехнологий // Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу. Материалы докладов Международной конференции: сборник тезисов. 2019. С. 31-33.

2. Мельников Н.Н., Конухин В.П., Наумов В.А. Развитие научных основ радиогеоэкологии подземных объектов долговременного хранения и захоронения ядерных и радиационно опасных материалов в геологических формациях Европейского Севера России // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2009. – №1. – сс.45-51.

3. Landriault, D, Goard, B 1987 'Research into high density backfill placement methods by the Ontario Division of Inco Limited' CIM Bulletin Vol. 80, No. 897, pp. 46- 50

4. Verkerk, N 1988, 'Backfill slurries in South African gold mines' Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, July 1988, pp. 390- 400

5. *Закладочные работы в шахтах: Справочник/ 3-11 Подред. Д.М. Бронникова, М.Н. Цыгалова. – М.: Недра, 1989. – 400 с.: ил.*

6. Савич И.Н., Зенько Д.К., Айнбиндер И.И., Савич О.И. К вопросу классификации технологий и составов закладки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – № 1. – С.186-187

7. Espley, G.H., Beattie, H.F., Pasiëka, A.R., 1970. Cemented hydraulic backfill within the Falconbridge Group of Companies. CIM Trans. 73, pp. 218-226.

8. Lerche, R., Renetzeder, H., 1984. Development of 'pumped fill' at Grund mine, Preussag AG Metall. In: Proceedings of the 9th International Conference on the Hydraulic Transport of Solids in Pipes, Rome, Italy.

9. The Evolution of Paste for Backfill D. Stone/MineFill Services, Inc., USA

10. Weaver, W.S., Luka, R., 1970. Laboratory studies of cemented-stabilized mine tail- ings. CIM Bull. 701, pp. 988-1001

11. Manca, P.P., Massacci, G., Massidda, L., Rossi, G., 1983. Mill tailings and various binder mixtures for cemented backfill: analysis of properties related to mining problems. In: Proceedings 3rd International Symposium on Mining with Backfill, pp. 39-47.

12. Uusitalo, R., Seppanen, P., Nieminen, P., 1993. The use of blast furnace slag as a binder. In: Symposium Presented at the Fifth International Symposium on Mining with Backfill, pp. 169-172. Johannesburg, South Africa.

13. Benzaazoua, M., Belem, T., Bussière, B., 2002. Chemical factors that influence the performance of mine sulphidic paste backfill. Cem. Concr. Res. 32 (7), 1133-1144

14. Atkinson, R.J., Hannaford, A.L., Harris, L., Philip, T.P., August 1989. Using smelter slag in mine backfill. Mining Mag., pp. 118-123

15. Archibald, J.F., Degagne, D.O., Lausch, P., De Souza, E.M., 1995. Ground waste glass as a pozzolanic consolidation agent for mine backfill. CIM Bull. 995, pp. 80-87

16. Sargeant, A., De Souza, E., Archibald, J.F., 2007. The application of post-consumer glass as a cementing agent in mine backfill. In: 9th International Symposium on Mining with Backfill, Montreal, Quebec, April, 2007

17. Peyronnard, O., Benzaazoua, M., 2011. Estimation of the cementitious properties of various industrial by-products for applications requiring low mechanical strength. Resour. Conserv. Recycl. 56, pp. 22-33.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕАЛИЗУЕМОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РК

Молдабаева Г.Ж.<sup>1</sup>, Сулейменова Р.Т.<sup>1</sup>, Турдиев М.Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Satbayev University,*

<sup>2</sup>*НАО АУНГ имени С.Утебаева, г. Атырау, Казахстан*

Месторождения РК в большинстве своем находятся на завершающих стадиях разработки и перед специалистами остро стоит вопрос наиболее полного извлечения запасов нефти одновременно с недопущением значительного увеличения попутно добываемой воды.

Полимерное заводнение является одним из высокоэффективных методов физико-химического воздействия на продуктивный пласт. Метод хорошо подходит для извлечения нефти в условиях различных стадий разработки месторождений с неравномерной проницаемостью, различных по свойствам и строению коллекторов. Основное свойство полимеров заключается в загущении воды, что приводит к уменьшению соотношения вязкостей нефти и воды в пласте и сокращению условий прорыва воды, обусловленных различием вязкостей или неоднородностью пласта.

Учитывая геологическое строение месторождения Забурунье и Восточный Молдабек в качестве расчетной модели пласта для прогноза технологических показателей разработки использовалась модель послойно- и зонально-неоднородного по проницаемости и одновременно прерывистого нефтяного пласта [1 и 2]. Согласно этой модели, принимается, что нефтяной пласт представлен набором слоев различной проницаемости. Совместно с геологической характеристикой пластов, принятая модель учитывает и физические факторы, характеризующие процесс вытеснения (двухфазность потока, различие вязкостей нефти и закачиваемого агента, явление языкообразования, схему размещения скважин и др.).

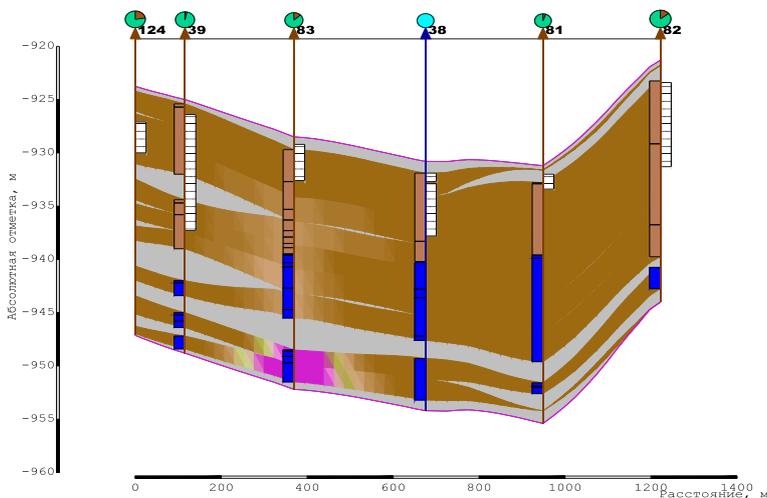
Величина расчетной послойной неоднородности пластов определялась по формуле:

$$V^2 = V_1^2 + (V_1^2 + 1)[(0.1x2m_*/(1 + m_*) + 1)x(V_3^2 + 1)x(V_3^2/4 + 1)]x(2/(1 + m)), (1)$$

Обоснование расчетной модели для месторождения Забурунье, Восточный Молдабек проводилось на основании прямых определений по результатам гидродинамических и геофизических исследований скважин таких параметров залежи, как  $V$  – доля неколлектора по площади обособленных пластов и слоев,  $V_3^2$  – зональная неоднородность по удельной продуктивности на единицу толщины пластов между сосед-

ними скважинами,  $V_{п}^2$  – расчетная послойная неоднородность пластов по проницаемости,  $V_{я}^2$  – неоднородность сетки скважин по языкообразованию,  $z_{ср}$  – среднее значение коэффициента продуктивности скважин,  $K_{ср,пр}$  – среднее значение проницаемости.

Послойная неоднородность определена на основе данных по проницаемости, определенной по керну и для I неокмского горизонта (мел) составила  $V_{п}^2=0,53$ . По остальным объектам горизонтов вынос керна по скважинам либо отсутствует, либо невысок, что не позволяет комплексно подойти к определению послойной неоднородности по проницаемости. Количество определений проницаемости варьирует от 3 до 5. Поэтому послойная неоднородность для остальных объектов меловых горизонтов, ввиду незначительного количества лабораторных исследований, принята равной  $V_{п}^2=0,5$ .



**Рис. 1. Геологический профиль по линии скважин месторождения Забурунье, горизонт Неком**

Всего на участке 8 реагирующих скважин: 35, 41, 45, 78, 79, 85, 120, 125. Нагнетательная скважина характеризуется средней приемистостью в 220 м<sup>3</sup>/сут. Расстояние между нагнетательной и реагирующими скважинами варьирует от 200 до 390 м. Средняя обводненность добывающих скважин участка составляет 87 %, изменяясь от 78 до 97 %. Суммарный дебит добывающих скважин по нефти составил 49.2 т/сут. Средний дебит по нефти составил 6.2 т/сут, изменяясь по скважинам от 2.2 до 14.2 т/сут.

Основные геологические характеристики рассматриваемого участка работ указанный срок закачки – это время заполнения полимерным раствором 30 % порового пространства в пределах границ участка с учетом текущей приемистости нагнетательной скважины. Т.е. срок закачки полимерного раствора будет зависеть от максимально возможной приемистости скважины, при этом, должно соблюдаться условие превышения давления гидроразрыва пласта.

Невыполнение проектных решений, в основном, связано с отставанием ввода новых скважин, в первую очередь с не выполнением плана бурения и ввода в эксплуатацию проектных скважин III объекта, обусловленных аномально высокой вязкостью нефти.

Согласно ТС, разработка залежей II и III объектов предусмотрена с применением внутриконтурного заводнения. В ТС начало заводнения отодвинуто на четвертый год разработки в объеме, компенсирующем отбор на 50 % через 8 нагнетательных скважин.

Фактически закачка воды на месторождении началась в 2004 году на пятом году эксплуатации. На дату анализа разработки нагнетательный фонд месторождения представлен 2 скважинами 20 и 32 (II объект), которые находятся на периферии структуры. Ближайшие скважины от нагнетательной скважины 20 находятся на расстоянии 500-600 м и, как показал анализ динамики добычи, закачка воды особого влияния на них не оказывает. Скважина 32 введена под нагнетание в апреле 2014 г.и пока эффекта не наблюдается. Следовательно, эксплуатационные объекты и месторождение в целом в настоящее время разрабатывается на естественном режиме без поддержания пластового давления.

Основными критериями для выбора пилотных зон для полимерного заводнения послужили: анализ текущих извлекаемых запасов по участкам месторождений, текущие дебиты нефти и воды, приемистости, расстояния между нагнетательными и добывающими скважинами, расположение участков относительно контуров водоносности и газоносности.

Для определения применимости полимерного заводнения в разрабатываемых поддержанием пластового давления пластах месторождений изначально выполнено:

- выделение пластов, имеющих низкую эффективность охвата заводнением из-за высокого значения нефтяной вязкости или высокой степени неоднородности;
- анализ общих параметров пластов по соответствующим критериям на применимость метода полимерного заводнения.

Выбранные зоны для полимерного заводнения должны содержать достаточное количество текущих извлекаемых запасов, в противном случае ни одна из методик ПНП не даст экономического эффекта.

Потенциальные зоны также были оценены с точки зрения прорыва воды от нагнетательных скважин. Был сделан анализ добычи и закачки по каждой скважине месторождений, выявлены возможные зоны прорыва воды (зоны неэффективной закачки).

Зоны оценивались с точки зрения удаленности нагнетательных и добывающих скважин, что также является важным фактором при выборе участков, т.к. технология закачки полимеров в этом отношении имеет определенные ограничения, как технического, так и экономического плана.

При выборе пилотных участков учитывались близость от контуров газоносности и водоносности. Что следует из соображения, о недопустимости ухода жидкости закачки законтуроводоносности и газоносности, т.к. вся энергия вытесняющей воды должна быть потрачена на охват зон насыщенной нефтью.

При анализе пилотных зон учитывалась геометрия пласта. Химическое заводнение пласта при наличии подошвенных вод может быть очень затруднено или даже невозможно из-за отсутствия возможности регулировать поток химических реагентов в пласте. Также очень трудно применить метод заводнения для сильно наклоненных пластов относительно контроля потерь химических веществ.

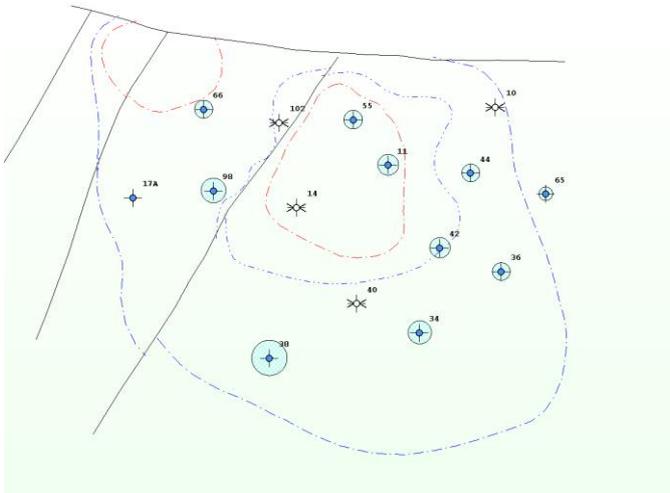
При выборе пилотных участков учитывалась анизотропия пласта. Отношение проницаемостей высокопроницаемого слоя или канала к средней проницаемости остальной части пласта должно лежать в диапазоне  $4 < k_{\text{выс}}/k_{\text{ср}} < 30$ .

В результате проведения комплексного анализа месторождений Забурунье, Восточный Молдабек и Карсак были намечены участки для дальнейшего анализа и составления пилотного проекта полимерного заводнения.

На месторождении Восточный Молдабек наиболее перспективным по наличию как запасов так и развитой системы ППД признан пласт НеокомII. Схема размещения всех нагнетательных скважин данного объекта на 01.04.2014г приведена на рисунке 2.

В 2005г. на месторождении были проведены поисково-детальные сейсморазведочные работы МОВ ОГТ-2Д. По данным проведенного сейсмогеологического анализа уточнен структурный план продуктивных горизонтов.

В утвержденном ГКЗ подсчете запасов по результатам бурения новых скважин, данных интерпретации сейсмических исследований, комплекса ГИС уточнена геологическая модель залежей, выявлены новые залежи нефти в пределах восточного свода.



**Рис. 2. Схема размещения нагнетательных скважин пласта Неком II**

Из опыта эксплуатации месторождений аналогичных месторождению Забурунь, Восточный Молдабек очевидно, что разработка залежей на естественном режиме на юрских горизонтах будет низкоэффективной.

Геофизические и гидродинамические исследования, проведенные в период пробной эксплуатации, позволили уточнить физико-химические свойства флюидов, фильтрационно-емкостные и энергетические характеристики горизонтов.

### **Список литературы**

1. Амиртаев М.А. и др. «Анализ разработки месторождения Забурунь» 2015г.
2. Чернов Б.С., Базлов М.Н., Жуков А.И. «Гидродинамические методы исследования скважин и пластов», Москва, Гостоптехиздат, 2009 г
3. Количественное описание неопределённости в аналитических измерениях. Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК. Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева, пер с англ. под общей редакцией Л. А. Конопелько, 2-е издание, Санкт-Петербург, 2002.
4. Петрофизика. Теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов, Джеббар Тиаб, Эрл Ч. Доналдсон. 2-е дополненное издание, Москва, 2009.
5. Мирзаджанзаде А.Х, Хасанов М.М, Бахтизин Р.Н. Моделирование процессов нефтегазодобычи. Нелинейность, неравновесность, неопределенность. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 368 с.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В МИКРО/НАНО КАПИЛЛЯРНОЙ МОДЕЛИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ – ОБЗОР

Белозеров И.П., Тонконогов Ю.М.

САФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск

Микрокапиллярное устройство (МикроЧИП): система капилляров различного сечения и различных размеров (от нескольких сот микрон до нанометров в сечении) и различной длины, расположенных внутри компактной (несколько квадратных сантиметров) пластины, изготовленной из различных материалов: кремний, стекло, сплавы, пластик. Преимущества МикроЧИПОВ: хороший теплообмен, ламинарность потока, гомогенность флюида, равномерное распределение температуры.

**На ЧИПЕ решается широкий круг задач:**

*Производственные и аналитические процессы:*

- Миксеры и теплообменники
- Органический синтез: окисление, высокотемпературный риформинг, реакция Фишера-Тропша и т.д.
- Инкапсуляция – получение микро и наноматериалов.
- Микрокапиллярные комплексы для решения задач генетики и молекулярной биологии: проточная цитометрия, ПЦР, выделение полного генома, подсчет и выделение ЦОК и т.д.
- *Исследование жидкостей, газов, эмульсий, суспензий (нефть, газоконденсат, буровые растворы, жидкости заканчивания).*

*Моделирование природных и биологических систем:*

- Моделирование органов и человеческого организма в целом, как в здоровом, так и в патологическом состоянии.
- *В нефтегазовом деле привлекательным является моделирование в микрокапиллярном устройстве горной породы, а современные микро технологии позволяют создавать модели горной породы в виде МикроЧИПОВ, на которых воспроизводятся: пористая структура, трещиноватость, гидрофобность и гидрофильность.*

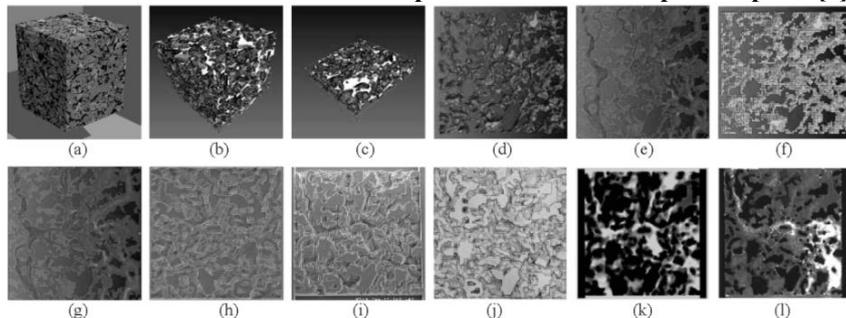
**Востребованные исследования в Микромодели горной породы:**

1. Исследование и оптимизация технологий ПНП [1, 3, 4]: вытеснение с использованием полимеров, рассолов, сурфактантов, пен, щелочей 2
2. Исследование фазовых переходов в микропорах [2] – разработкой нетрадиционных (низкопроницаемых) месторождения нефти и газа.

3. Исследование транспортировки проппанта в трещиноватой (искусственной, после ГРП или естественной) структуре[5].

В отличие от традиционных технологий, фильтрационный эксперимент на МикроЧИПЕ также позволяет реализовать полный комплекс экспериментов, связанных с изучением свойств пластовых флюидов [2].

### Технология изготовления МикроЧИПА – модели горной породы [3]:



(a) микро-КТ изображение горной породы, (b) микро-КТ изображение горной породы после цифровой обработки перед манипуляциями, (c) шлиф конечной толщины, полученный из 3D изображения, оптимизированный путем усреднения глубины, (d) изображение, усреднённой по глубине 2.5D микромоделли высокого разрешения (5 мкм), (e) изображение, полученное CFD моделированием в 2.5D микромоделли высокого разрешения для создания наиболее приближенной к 3D модели (направление потока: сверху вниз), (f) изображение оптимизированной 2.5D модели низкого разрешения (25 мкм) для реализации в производственном процесс, (g) CFD моделирование 2.5D микромоделли низкого разрешения (направление потока сверху вниз), (h) СЭМ изображение формы-вставки из латуни, (i) СЭМ изображение микромоделли изготовленной из PMMA, (j) микро изображение, заполненной водой PMMA микромоделли, (k) микро изображение PMMA микромоделли с красителем и (l) микро изображение PMMA микромоделли – эксперимент с микрочастицами.



**МикроЧИПЫ ЧИП-Холдер  
производства компании Micronit**

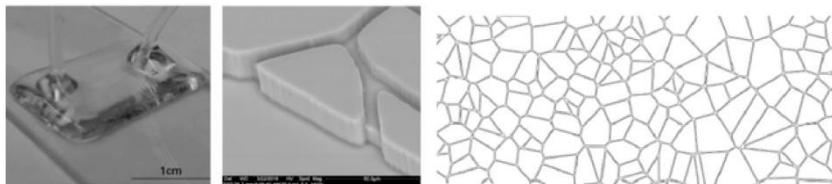


**Стандартный кернодержатель  
с образцом горной породы**

Технологически фильтрационная система на ЧИПЕ не отличается от традиционных систем, использующихся в петрофизических лабораториях: комплекс насосов, емкостей, систем нагрева, КИПа.

**Преимущества Эксперимента на ЧИПЕ:** визуализация процесса, многократное использование одного МикроЧИПа, меньшие объёмы флюида и реагентов; очень высокая скорость проведения эксперимента.

#### **Моделирование трещиноватости сланцев (EagleFordShale) [4]:**



**Микроустройство  
Порода-на-ЧИПЕ**

**Входящий  
канал**

**Микроканалы моделирующие  
трещиноватость горной породы**

Компания Halliburton использует эту модель горной породы на ЧИПЕ для проверки эффективности сурфактантов. Требуется несколько часов вместо нескольких дней по сравнению с традиционным экспериментом.

#### **Список литературы**

1. Sekhar Gogoi, Subrata Borgohain Gogoi. Review on microfluidic studies for EOR application - 2019 // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology
2. Bo Bao, Jason Riordon, Farshid Mostowfi and David Sinton. Microfluidic and nanofluidic phase behaviour characterization for industrial CO<sub>2</sub>, oil and gas - 2017 // Lab on a Chip.
3. Daniel S. Park, Saade Bou-Mikael, Sean King, Karsten E. Thompson, Clinton S. Willson, Dimitris E. Nikitopoulos. Design and fabrication of rock-based micromodel - 2012 // Proceedings of the ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE2012 November 9-15, 2012, Houston, Texas, USA
4. Calvin Lumban Gaol, Jonas Wegner and Leonhard Ganzer. Real structure micromodels based on reservoir rocks for enhanced oil recovery (EOR) applications - 2020 // Lab on a Chip.
5. Multi-Well Trial Demonstrates Enhanced Productivity Using RockOn® Surfactant Rock-on-a-Chip™ microfluidic device efficiently evaluates relative effects of surfactants in the lab // Multi-chem. A Halliburton Service. Texas, United States.

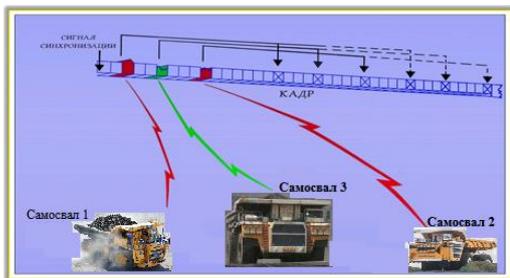
6. Pratanu Roy, Wyatt L. Du Frane and Stuart D.C. Proppant Transport at the Fracture Scale: Simulation and Experiment Walsh, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, USA.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЕДИНИЦ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ КАРЬЕРА, УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА

Каунг Пьей Аунг, Кубрин С.С.

*НИТУ «МИСиС», ИПКОН РАН, г. Москва*

Одной из важнейших проблем современной транспортировки грузов с использованием крупных транспортных единиц, таких как крупнотоннажные самосвалы на открытых горных работах, является обеспечение безопасности движения в стесненных условиях и районах с интенсивным транспортным потоком. Для этого можно использовать автоматизированную информационную систему, которая бы обеспечивала связь между отдельными транспортными единицами. В этом случае каждый самосвал формировал бы индивидуальное транспортное сообщение, в котором бы указывались его идентификационные данные, местонахождение, направление движения и скорость.



**Рис. 1. Принцип организации передачи сообщений в АИС**

АИС решает следующие задачи:

- безопасное движения объектов;
- определение местоположения и параметров движения объектов;
- опознание (идентификацию) объекта.

Используя автоматическую информационную систему необходимо её дополнить математической моделью прогнозирование траекторий перемещений транспортных производственных единиц в стесненных условиях карьера, угольного разреза. Ограничением расчетов является

Для работы такой автоматической информационной (АИС) системы необходима синхронизации всех станций АИС по сигналам глобальной системы позиционирования.

Принцип выбора слотов для передачи сообщений АИС с использованием протоколов TDMA представлен на рисунке 1.

предположение о неизменности направления и скорости движения объектов в стесненных районах карьера и в районах пересечения дорог.

Таким образом, возникает задача прогнозирования параметров кратчайшего сближения объектов с учетом возможности их маневрирования в стесненных районах карьера и в районах пересечения дорог. При этом предполагается решить задачу прогнозирования траектории движения объектов для оперативной оценки эффективности управления их движением. Задача решена с помощью адаптивных методов прогнозирования.

Постановка задачи прогнозирования с использованием метода экспоненциального сглаживания формулируется следующим образом.

Пусть анализируемый временной ряд  $y_\tau$ ,  $\tau = 1, 2, \dots, t$  представлен в виде:

$$y_\tau = a_0 + \varepsilon_\tau \quad (1)$$

где  $a_0$  – неизвестный параметр, не зависящий от времени:  $\varepsilon_\tau$  – случайный остаток со средним значением, равным нулю, и конечной дисперсией.

Понятие экспоненциальной средней можно обобщить в случае экспоненциальных средних более высоких порядков.

Выравнивание  $p$ -го порядка:

$$S_t^{(P)} = \alpha \cdot S_t^{(p-1)} + \beta \cdot S_{t-1}^{(P)} \quad (2)$$

является простым экспоненциальным сглаживанием, примененным к результатам сглаживания  $(p-1)$ -го порядка. В случае, когда исследуемый процесс, состоящий из детерминированной и случайной компоненты, описывается полиномом  $n$ -го порядка, прогноз на  $\tau$  шагов вперед осуществляется по формуле:

$$\hat{y}_\tau(t) = \hat{a}_1 + \hat{a}_2 \tau + \frac{1}{2} \hat{a}_3 \tau^2 + \dots + \frac{1}{n!} \hat{a}_{n+1} \tau^n \quad (3)$$

где:  $\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_{n+1}$  – оценки параметров.

Фундаментальная теорема метода экспоненциального сглаживания и прогнозирования говорит о том, что  $(n+1)$  неизвестных коэффициентов полинома  $n$ -го порядка  $\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_{n+1}$  могут быть оценены с помощью линейных комбинаций экспоненциальных средних  $S^{(i)}$ , где  $i = \frac{1}{n} + 1$ .

Следовательно, задача сводится к вычислению экспоненциальных средних, порядок которых изменяется от 1 до  $n+1$ , а затем через их линейные комбинации – к определению коэффициентов полинома.

На практике обычно используются полиномы не выше второго порядка. Например, при использовании полинома первого порядка адаптивная модель временного ряда имеет вид:

$$y_t = a_{1,t} + a_{2,t} + e_t \quad (4)$$

где  $a_{1,t}$  – значение текущего  $t$ -го уровня;  $a_{2,t}$  – значение текущего прироста.

В табл. 1 приведены формулы, необходимые для расчета по этим моделям.

К положительным особенностям рассмотренных моделей следует отнести то, что при поступлении новой информации расчеты повторять не придется. Достаточно принять в качестве начальных условий последние значения функций сглаживания  $S_t^{(i)}$  и продолжить вычисления.

**Таблица 1**

**Основные формулы для прогнозирования по адаптивным полиномиальным моделям**

Степень модели	Начальные условия	Экспоненциальные средние	Оценка коэффициентов	Модель прогноза
n=0	$S_0^{(1)} = \hat{a}_{1,0}$	$S_t^{(1)} = \alpha y_t + \beta S_{t-1}^{(1)}$	$\hat{a}_{1,t} = S_t^{(1)}$	$\hat{y}_\tau(t) = \hat{a}_{1,t}$
n=1	$S_0^{(1)} = \hat{a}_{1,0} - \frac{\beta}{\alpha} \hat{a}_{2,0}$ $S_0^{(2)} = \hat{a}_{1,0} - \frac{2\beta}{\alpha} \hat{a}_{2,0}$	$S_t^{(1)} = \alpha y_t + \beta S_{t-1}^{(1)}$ $S_t^{(2)} = \alpha S_t^{(1)} + \beta S_{t-1}^{(2)}$	$\hat{a}_{1,t} = 2S_t^{(1)} - S_t^{(2)}$ $\hat{a}_{2,t} = \frac{\alpha}{\beta} (S_t^{(1)} - S_t^{(2)})$	$\hat{y}_\tau(t) = \hat{a}_{1,t} + \hat{a}_{2,t} \cdot \tau$
n=2	$S_0^{(1)} = \hat{a}_{1,0} - \frac{\beta}{\alpha} \hat{a}_{2,0} + \frac{\beta(2-\alpha)}{2\alpha^2} \hat{a}_{3,0}$ $S_0^{(2)} = \hat{a}_{1,0} - \frac{2\beta}{\alpha} \hat{a}_{2,0} + \frac{\beta(3-2\alpha)}{\alpha^2} \hat{a}_{3,0}$ $S_0^{(3)} = \hat{a}_{1,0} - \frac{3\beta}{\alpha} \hat{a}_{2,0} + \frac{3\beta(4-3\alpha)}{2\alpha^2} \hat{a}_{3,0}$	$S_t^{(1)} = \alpha y_t + \beta S_{t-1}^{(1)}$ $S_t^{(2)} = \alpha S_t^{(1)} + \beta S_{t-1}^{(2)}$ $S_t^{(3)} = \alpha S_t^{(2)} + \beta S_{t-1}^{(3)}$	$\hat{a}_{1,t} = 3(S_t^{(1)} - S_t^{(2)}) + S_t^{(3)}$ $\hat{a}_{2,t} = \frac{\alpha}{2\beta^2} [(6-5\alpha)S_t^{(1)} - 2(5-4\alpha)S_t^{(2)} + (4-3\alpha)S_t^{(3)}]$ $\hat{a}_{3,t} = \frac{\alpha}{\beta^2} [S_t^{(1)} - 2S_t^{(2)} + S_t^{(3)}]$	$\hat{y}_\tau(t) = \hat{a}_{1,t} + \tau \cdot \hat{a}_{2,t} + \frac{1}{2} \tau^2 \hat{a}_{3,t}$

Таким образом, можно спрогнозировать координаты и траектории объектов с учетом их маневрирования, рассчитать с помощью численных методов параметры кратчайшего сближения и оценить степень безопасности такого сближения.

**Список литературы**

1. Моделирование технологических процессов: конспект лекций / В.А. Штерензон. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2010. 66 с.
2. Кубрин С.С., Чудинов С.Г., Ландер А.В. Распознавание и прогнозирование ситуации в шахте. Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГТУ, 2005. – Вып. 8. – С. 225-228. – ISSN 0236-1493.

3. Захаров В.Н., Кубрин С.С., Забурдяев В.С. Комплексирование технологических стадий и операций в единый технологический процесс на основе информационных технологий. ГИАБ №6 2015 г.

4. Кубрин С.С. Математические модели и методы информационно-аналитических систем. М.: Энергоатомиздат, 2002. 132 с.

5. Temkin I.O., Kubrin S.S., Kulyanitsa A.L. Application of intellectual systems for robotic coal plough machine control in complex mine-geological conditions. Miner's week – 2015 reports of the xxiii international scientific symposium. 2015. P. 274-280.

## **ОБОБЩЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ИЗ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУД\***

**Цупкина М. В.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

Длительная деятельность предприятий горнопромышленного комплекса приводит к интенсивному загрязнению окружающей среды. Особую опасность среди результатов этой деятельности представляют лежалые отходы обогащения руд, складированные в хвостохранилища.

Наряду с ухудшением экологических показателей регионов, следует отметить, что длительная разработка большинства медно-колчеданных месторождений сопровождается устойчивой тенденцией истощения минерально-сырьевой базы регионов и снижения качества добываемых руд [1]. Поэтому в мировой практике рационального освоения недр прослеживаются направления, связанные с перспективами своевременного вовлечения в эффективную промышленную эксплуатацию дополнительных источников минерально-сырьевых ресурсов, в том числе, лежалых хвостов обогащения многокомпонентных руд. Так как отходы обогащения руд являются одним из основных минеральных ресурсов, способных упрочить сырьевой потенциал горных предприятий, во всем мире произошло повышение интереса науки и общества к проблеме исследования их состава, структуры и свойств.

В настоящее время исследования техногенных месторождений регламентируются методиками руководства по изучению и эколого-экономической оценке техногенных месторождений (утв. ГКЗ 25.02.1994). Однако определенные особенности вещественного состава техногенного сырья предполагают необходимость учета их специфических свойств [2] с использованием широкого арсенала методов, применяемых в раз-

---

\* Исследования выполняются в рамках темы ИПКОН РАН 0138-2014-0001

личных отраслях геологии (технической минералогии и петрографии, геохимии, геофизике и др.). Подобные исследования требуют многомерного комплексного подхода к изучаемому объекту, особенно при изучении вещественного состава техногенных образований и выявлении уровня экологической опасности. Также следует отметить, что достоверность результатов оценки свойств техногенного сырья, доступности и качества техногенных минеральных ресурсов определяет выбор технологии добычи отходов обогащения руд и технико-экономические показатели проекта их добычи и переработки.

Обзор состояния поставленной проблемы показал, что для получения наиболее достоверных результатов исследований в мировой практике используют комбинацию методов изучения хвостохранилищ.

Так, в научной работе [3] были проведены комплексные исследования старогоднего хвостохранилища CabeçodoPião (Португалия). Был проведен отбор проб для оценки текущих минералогических и геологических связей в техногенном массиве на основе рентгенофлуоресцентного анализа. Кроме того, полученная на основе исследований гранулометрическая характеристика образцов исследуемого хвостохранилища позволила выявить следующие закономерности распределения: значительное количество частиц, размером менее 1000 мкм, содержится в образцах, отобранных с нижней части хвостохранилища, и менее 750 мкм в поверхностных образцах. Обработка полученных результатов была выполнена с помощью геостатистического анализа на основе многомерной статистической обработки содержания металлов, которая является эффективной методологией выявления ассоциаций или зональности скопления минералов в хвостохранилище, а также служит основой для получения корреляции между содержанием элементов. Для оценки пространственного распределения рангов основных элементов в массиве хвостохранилища была выбрана вариограммная модель, основанная на перекрестной валидации, с помощью которой были построены модели содержаний вольфрама и цинка в массиве хвостохранилища.

Пространственное распределение вольфрама выделяет четыре точки локализации этого химического элемента. На карте распределения содержаний цинка выделяется большая зона его концентрации в юго-западной части плотины и на севере. Комбинированный анализ геостатистики, топографическая съемка, геохимические данные, а также многомерный анализ данных позволили предложить два варианта освоения хвостов переработки руд месторождения CabeçodoPião:

- на юго-западе о плотине наблюдается более высокая концентрация сульфидов, переработка которых методами флотации будет способствовать получению товарной продукции;

- выявленная зональность концентрации вольфрамсодержащих минералов позволили создать схему их переработки для восстановления вольфрама с помощью гравиметрического метода.

В работе [4] установлено, что из всего разнообразия стереологических методов исследований, позволяющих определить морфоструктурный состав сырья, а также установить гранулярные морфометрические характеристики зерен и агрегатов, характер их распределения в техногенных образованиях. Доказано, что ведущее положение занимает оптико-геометрический анализ, проведение которого было сопряжено с изготовлением специальных оптических препаратов. Так, в результате развития относительно нового для минералогии метода рентгеновской (микро) томографии (РТ) появилась возможность экспрессно получать о морфоструктурных характеристиках минерального сырья.

Таким образом, следует отметить важность рационального и комплексного применения соответствующих методов оценки отходов обогащения. В этой связи, поставлена задача установления необходимой комбинации методов оценки хвостохранилищ медно-колчеданных руд Южного Урала с целью получения наиболее достоверной информации на предмет особенностей их строения и закономерностей распределения в них полезных компонентов. Полученные результаты будут способствовать принятию рациональных решений по вовлечению отходов обогащения медно-колчеданных руд Уральского региона в промышленный передел.

Результаты тематических исследований иллюстрируют важность объединения полученных данных о химических свойствах техногенного сырья с количественной минералогической и фазовой информацией о свойствах и составе для объективной оценки остаточной стоимости, содержащейся в промышленных хвостах или любых других отходах производства для эффективного вовлечения их в промышленную эксплуатацию.

### **Список литературы**

1. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Цупкина М.В., Гавриленко В.В. Вовлечение техногенных минеральных объектов в полный цикл освоения рудных месторождений: решение проблем техносферной безопасности // Сборник статей международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность» – 2019. С. 1428-1432.
2. Макаров А.Б., Хасанова Г.Г., Талалай А.Г. Техногенные месторождения: особенности исследований // Известия Уральского государственного горного университета. 2019. Вып. 3(55). С. 58-62.

3. Janine Figueiredo, M. Cristina Vila, Joaquim Góis. Bi-level depth assessment of an abandoned tailings dam aiming its reprocessing for recovery of valuable metals // Minerals Engineering. 2019. Vol. 133, P. 1-9.

4. Якушина О.А., Ожогина Е.Г., Хозяинов М.С. Микротомография техногенного минерального сырья // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. – 2015. С. 38-43.

## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СХЕМА ВОДООТЛИВА ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ПЕРЕПУСКАЕМЫХ ШАХТНЫХ ВОД\***

**Князькин Е.А.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

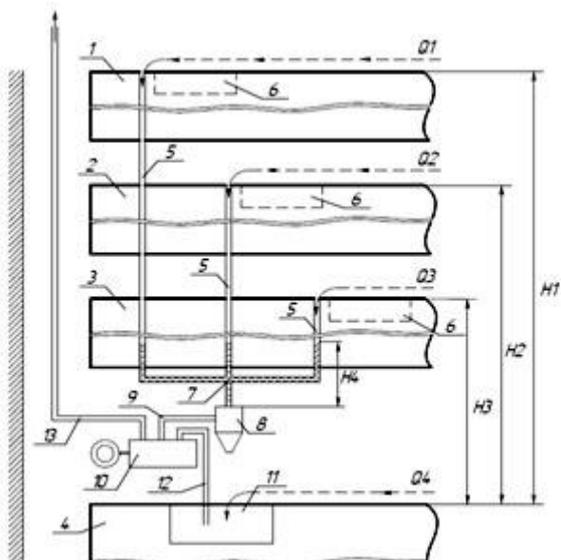
Снижение удельной энергоемкости продукции является основой повышения конкурентоспособности отечественных горнодобывающих предприятий. Поэтому эффективное использование энергетических ресурсов в горнотехнической системе шахты крайне важно на современном этапе экономического развития и заключается в снижении количества энергии, затрачиваемой на выпуск единичного объема товарной продукции.

На основе анализа и обобщения результатов исследований отечественных и зарубежных специалистов [1-5] были систематизированы и выявлены наиболее энергоемкие технологические процессы при добыче твердых полезных. Анализ показал, что максимальное электропотребление системой водоотлива значительно выше по сравнению с другими вспомогательными технологическими процессами, что определяет актуальность исследований в области снижения энергоемкости данной системы.

Проведен детальный обзор научных работ ближнего и дальнего зарубежья на предмет опыта использования энергии перепускаемых в шахте гидротоков. Так, в 1984 году на руднике «LuckyFriday» инженером R.Torbin была спроектирована и установлена гидротурбина малой мощности на вертикальных перепускных трубопроводах в системе охлаждения глубоких выработок [6]. Другим примером использования энергии гидротоков служит изобретение [7], в котором давление перепускаемой шахтной воды используется в качестве начального подпора для шахтного центробежного насоса. При этом не изменяется традиционная схема шахтного водоотведения. Исходя из проведенного анализа и оценки достоинств и недостатков рассмотренных систем, была предложена энергоэффективная схема водоотлива (рис. 1).

---

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90099



**Рис. 1. Усовершенствованная структурная схема шахтного водоотлива с использованием закона сообщающихся сосудов**

Отличительной особенностью работы разработанной схемы водоотлива является отсутствие водосборников 6 на промежуточных горизонтах 1, 2 и 3, находящихся на высотных отметках  $H_1$ ,  $H_2$  и  $H_3$  относительно главного горизонта водоотлива 4. Функция очистки сточных вод от шламовых отложений осуществляется за счет сепарации частиц твёрдой фазы во вращающемся потоке жидкости с использованием аппарата обесшламливания – гидроциклона 8. Для его эффективной работы обеспечивается заданное входное гидравлическое давление, которое в данной схеме создает сила гравитации водяного столба, высотой  $H_4$ , определяемая в соответствии с техническими характеристиками гидроциклона. Давление водяного столба создается в полости перепускных скважин 5 за счет аккумулирующего коллектора 7 и поддерживается динамично в заданном диапазоне, благодаря изменению скорости вращения гидронасоса 10.

Разработанная схема обеспечивает снижение числа водоотливных станций в пределах месторождения до одной, расположенной на нижнем горизонте 4. Такой подход энергоэффективен за счет использования для насосного агрегата давления в трубопроводе 9 в качестве подпорного, тем самым, снижая нагрузку на электропривод.

Осушение горизонта водоотлива 4 осуществляется традиционным способом с использованием водосборника 11 уменьшенного размера, относительно объемов, применяемых в классических схемах шахтного водоотлива, что обеспечивается за счет снижения водного притока с промежуточных горизонтов. Потоки Q1 – Q3 через трубопровод 9 попадают в полость насоса, где объединяются с потоком Q4 из трубопровода 12 и выдаются на поверхность по трубопроводу 13.

Для апробации разработанной структурной схемы шахтного водоотлива был проведен лабораторный эксперимент, цель которого заключалась в установлении закономерностей изменения параметров схемы с фиксацией происходящих изменений в потреблении тока электроприводом гидронасоса под действием подпорного давления на входе. Так, экспериментом доказано, что при повышении подпорного давления насосе – ток, потребляемый электроприводом, пропорционально снижался и стремился к минимальному.

Резюмируя вышесказанное, выделены следующие преимущества разработанной схемы водоотлива:

- снижение эксплуатационных затрат системы за счет уменьшения числа насосных станций, так как схема включает одну точку откачки шахтных вод и обеспечивает повышение КПД за счет частичной компенсации потребного напора насоса подпорным давлением перепускных гидропотоков;
- сокращение трудозатрат на устройство и содержание промежуточных водосборников за счет автоматизированной очистки сточных вод от шламовых отложений посредством применения гидроциклона;
- повышение степени автоматизации процесса водоотведения, например, путем управления частотой вращения гидронасоса с учетом высоты водного столба, оказывающего подпорное давление на гидроциклон.

### **Список литературы**

1. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Горный журнал, 9,72, (2015).
2. L.F van der Zee, R. Pelzer and G. Bolt. International Conference on the Eleventh Industrial and Commercial Use of Energy, (2014).
3. Каплунов Д.Р., Юков В.А. Горный информационно-аналитический бюллетень, 4, 5, (2016).
4. Bleiwas D.I. US Geological Survey, 108, (2011).
5. E. Jarvie-Eggart Michelle. Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 804, (2015).
6. R. Torbin. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, 5, 25, (1989).
7. Волков В.В., Волков Д.В., Сташинов Ю.П. Патент России № 2454568, 18, (2012).

## РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ПРОБ АНОДНОЙ МЕДИ

Абдрахманова З.Т., Кан А.Н., Юн Р.В., Ефименко С.А.

ТОО «Корпорация Казахмыс», г. Жезказган, Казахстан

Задача экспресс-анализа образцов анодной меди на медеплавильных заводах ТОО «Kazakhmys Smelting» стоит давно. Сейчас химическому анализу подлежат только среднесуточные (из четырех смен) пробы. Оперативная информация о химическом составе анодной меди в разрезе смен сейчас отсутствует. Этот пробел мог бы устранить экспресс-анализ (в частности, рентгенофлуоресцентный – РФА). Однако в литературе отсутствуют сведения об обнадеживающих результатах анализа анодной меди методом РФА. Причина: низкие содержания элементов-примесей (в том числе, золота) на фоне очень «тяжелой» медной матрицы.

Нами проведены исследования, показавшие, что решение задачи экспресс-анализа проб анодной меди методом РФА вполне имеет практическую перспективу. Четыре серии исследований выполнены на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном (EDXRF) спектрометре локального анализа РЛП–21Т (ЛА) (ТОО «Аспап Гео», г. Алма-Ата).

В сериях №№ 1–3 исследовались два образца анодной меди Балхашского медеплавильного завода (БМЗ), отобранных с плавки № 627 в смену №4 27.07.2019г. (рисунок 1А). Данные РФА сравнивались с химическим анализом, то есть со средним результатом плавков №№ 624÷627. Площадь сбора информации РЛП–21Т (ЛА) с поверхности образца показана на рисунке 1В. Обсудим результаты проведенных серий исследований.

Серия №1. Экспозиция РФА 200с. При компьютерной обработке результатов использовалась опция удаления из таблицы «Процентное содержание элементов» элементов по критерию  $C < \Delta C = 2\sigma$  ( $\sigma$  – абсолютная среднеквадратическая погрешность РФА).



А. Образцы анодной меди



В. Площадь сбора

Рис. 1. Образцы анодной меди и площадь сбора информации

Серия №2. Экспозиция измерений 200с. При обработке результатов РФА была опция  $C < \Delta C = 2\sigma$  была отключена. В обработку спектров был принудительно включен Ni (при автоматическом поиске на фоне очень мощного пика линии CuKa линия NiKa не фиксировалась).

Серия №3. Измерения проводились по алгоритму серии №2 на «толстом» образце, но в обработку спектров дополнительно были включены Au, Te и Sn (для выравнивания списков элементов по химическому анализу и РФА). Таблица «Процентное содержание элементов» показана на рисунке 2. РФА определил элемент индий, который не входит в список элементов, определяемых при химическом анализе.

СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОБЕ (файл: \образец)			
Образец: Сплав		Наполнитель Z= 0.00	
Элемент Fe	<0.005±0.002%	Элемент Ni	0.0112±0.0024%
Элемент Cu	99.554±0.01%	Элемент Zn	0.0011±0.007%
Элемент Ag	0.0296±0.0025%	Элемент Se	0.0505±0.001%
Элемент Au	0.1052±0.0012%	Элемент Sn	0.0009±0.0018%
Элемент Sb	0.0252±0.002%	Элемент Pb	0.2037±0.0029%
Элемент Bi	0.0038±0.0016%	Элемент Au	0.0031±0.0035%
Элемент In	0.0103±0.0014%	Элемент Te	0.0012±0.0018%

Рис. 2. Серия №3. Результаты РФА «толстого» образца

О сходимости результатов химических анализов и РСА пробы анодной меди можно судить из данных таблицы 1.

Таблица 1

**Результаты химического анализа и РФА «толстого» образца анодной меди**

(\*– данные химического анализа объединенной пробы за июль 2019г)

Элементы	ЦХЛ		РФА. Измерения	
	C, %	± Δ <sub>C</sub> , %	C, %	± Δ <sub>C</sub> , %
Медь	99,43	0,14	99,5540	0,0100
Серебро	0,1039	0,0042	0,1052	0,0012
Свинец	0,17	0,04	0,2037	0,0029
Мышьяк	0,019*	0,004	0,0296	0,0025
Сурьма	0,019*	0,004	0,0252	0,002
Селен	0,057*	0,020	0,0505	0,001
Железо	0,0032*		<0,005	0,002
Висмут	0,0029*		0,0038	0,0016
Никель	0,010*		0,0112	0,0024
Олово	<0,0010*		0,0009	0,0018
Цинк	не опред.		0,0011	0,007
Индий	не опред.		0,0103	0,0014
Золото	0,00244*		0,0031	0,0035
Теллур	0,0039*		0,0012	0,0018

В процессе РФА не были определены содержания S (0,0054%), Si (0,0010%), P (0,0019%), Cr (0,0013%) и Mn (<0,0001%). S, Si, P – это легкие элементы. Для РФА на эти элементы нужна специальная конструкция измерительной камеры. Хром нужно просто принудительно включить в обработку спектров. Марганец находится в таком количестве, что нет необходимости в его определении при РФА.

Серия №4. Экспозиция измерений 600с. 4 пары (цилиндр + стружка) образцов сменных плавок анодной меди за одни сутки. На каждом торце цилиндра и на стружке выполнялось по одному РФА. Результаты РФА приведены в таблице 2.

Таблица 2

Серия №4. Результаты РФА сменных проб анодной меди

Образцы	Cu		Ag		Au	
	%	±%	ppm	± ppm	%	±%
801-1	99,488	0,017	1072,36	5,7	0,0038	0,0018
801-2	99,482	0,017	1068,66	5,7	0,0030	0,0018
802-1	99,553	0,017	1004,58	5,6	0,0034	0,0018
802-2	99,564	0,017	1009,45	5,6	0,0024	0,0018
803-1	99,666	0,017	982,55	5,5	0,0039	0,0017
803-2	99,573	0,017	980,68	5,5	0,0038	0,0017
804-1	99,531	0,017	983,11	5,6	0,0037	0,0018
804-2	99,528	0,017	985,68	5,6	0,0035	0,0018
<b>Среднее</b>	<b>99,571</b>	<b>0,017</b>	<b>1010,88</b>	<b>5,60</b>	<b>0,00344</b>	<b>0,00178</b>
801 стр-1	99,554	0,017	1066,47	5,7	0,0032	0,0019
801 стр-2	99,549	0,017	1072,09	5,8	0,0041	0,0019
802 стр-1	99,478	0,017	1110,69	5,8	0,0035	0,0019
802 стр-2	99,480	0,017	1106,07	5,8	0,0038	0,0019
803 стр-1	99,574	0,017	1062,06	5,7	0,0040	0,0020
803 стр-2	99,568	0,017	1054,04	5,7	0,0026	0,0019
804 стр-1	99,525	0,017	1018,31	5,6	0,0038	0,0019
804 стр-2	99,527	0,017	1019,46	5,6	0,0023	0,0019
<b>Среднее</b>	<b>99,532</b>	<b>0,017</b>	<b>1026,40</b>	<b>5,65</b>	<b>0,00343</b>	<b>0,00184</b>
<b>ЦХЛ БР</b>	<b>99,30</b>		<b>0,1019</b>		<b>0,00185</b>	

Выводы: 1. В серии №4 погрешность РФА на золото снижена вдвое по сравнению с серией №3. 2. Сходимость данных РФА и ЦХЛ БР по Cu, Au и Ag – хорошая (хотя пока РФА не определяет содержания S, Si, P, Cr). 3. Доказано, что задача «РФА проб анодной меди» решается на EDXRF спектрометре РЛП–21(ЛА).

## ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В ОБЛАСТИ ВЛИЯНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ, ПРОБУРЕННОЙ В ГАЗОНОСНОМ УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ

Камбурова Л.А.<sup>1</sup>, Киселев Н.Н.<sup>1</sup>, Радченко А.Г.<sup>1</sup>,  
Радченко А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РАНИМИ, г. Донецк, ДНР

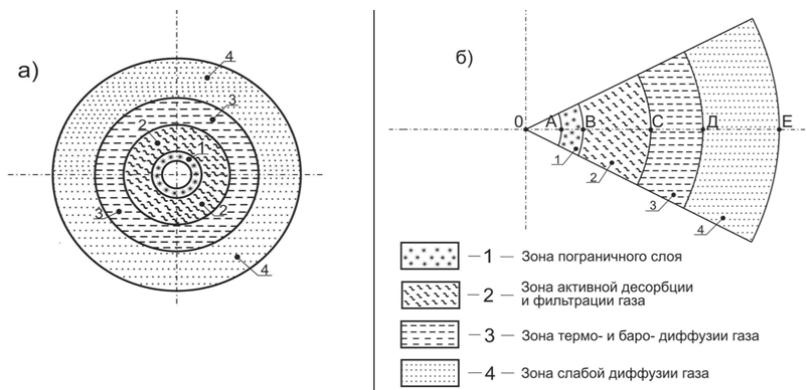
<sup>2</sup>ДонНАСА, г. Макеевка, ДНР

С увеличением глубины ведения горных работ растут энергия горного массива, давление газов, природная газоносность угольных пластов, интенсивность внезапных выбросов угля и газа. Поэтому, ежедневно возникают задачи непосредственной оценки степени выбросоопасности призабойной части обрабатываемых угольных пластов. В нормативных документах [1], регламентирующих ведение горных работ на выбросоопасных угольных пластах, оценка степени выбросоопасности призабойной части угольного пласта осуществляется как правило по одному или двум показателям. Это в ряде случаев приводит к ошибкам в оценке степени выбросоопасности пласта, сопровождается авариями и повышенным травматизмом персонала, занятого на подземных работах. Анализ опыта применения нормативных способов оценки степени выбросоопасности угольных пластов в Донбассе показал, что необходимо их дальнейшее совершенствование [2]. Например, известен способ определения величины зоны разгрузки –  $l_{\text{раз.}}$ , м по динамике начальной скорости газовыделения из шпуров –  $g_{\text{нач.}}$ , л/мин [1], недостатки этого способа подробно рассмотрены в работе [2]. В работе [3] приведены аналитические методы расчета: а) расстояния от груди забоя лавы до максимума опорного давления –  $L_{\text{max}}$ ; б) коэффициента концентрации напряжений –  $K_{\text{н}}$ . По нашему мнению, выше указанные расчеты, приведенные в работе [3], можно применять в первом приближении только для негазоносных угольных пластов. Существенным недостатком этих расчетов является то, что в работе [3] не учитываются следующие важные факторы: природная газоносность пласта –  $X_{\text{пр}}$ ; давление газов в пласте –  $P_{\text{газ}}$ ; неравномерное распределение по площадям и с глубиной показателей  $X_{\text{пр}}$  и  $P_{\text{газ}}$ ; степень метаморфизма углей; строение и состав вмещающих пород, их мощности и крепости; шаг посадки основной кровли; скорость подвигания забоя и т. д. В связи с этим определение показателей  $L_{\text{max}}$  и  $K_{\text{н}}$  осуществляется с погрешностями, кото-

рые недопустимы с позиций обеспечения необходимого уровня безопасности ведения горных работ. Анализ литературы показал, что дальнейшее совершенствование оценки степени выбросоопасности угольных пластов возможно только при условии детального изучения физических процессов, протекающих в призабойной части угольного массива при его непосредственной отработке.

Поэтому, целью настоящей работы являются: а) рассмотрение физических процессов, протекающих в призабойной части газоносных угольных пластов при их отработке; б) определение перспективных направлений по совершенствованию оценки степени выбросоопасности угольных пластов.

В окрестности горизонтальной скважины, пробуренной в газоносном угольном пласте, выделим несколько характерных зон: 1) зона пограничного слоя; 2) зона активной десорбции и фильтрации газов; 3) зона термо- и бародиффузии газов; 4) зона слабой (молекулярной) диффузии газов, см. рис. 1.



**Рис.1. Образование различных зон вокруг горизонтальной скважины**

Рассмотрим основные физические процессы, происходящие в области влияния горизонтальной скважины, пробуренной в призабойной части угольного пласта. В результате происходящей дегазации пласта по каналу скважины под действием конвекции движется турбулентный газовый поток- (зона О). Под действием движущегося турбулентного газового потока и потоков газов, выделяющихся из стенок скважины формируется пограничная зона – 1. На стенке скважины уголь становится менее прочным (эффект Ребиндера), образуется пограничная зона

размером несколько сантиметров – слой 1, смотри рис. 1. Под действием образовавшихся градиентов: давления газа –  $\Delta P$ , температуры –  $\Delta T^{\circ}$  и напряжений  $-\Delta\delta$  вокруг скважины распространяются сферические волны разрежения, происходит раскрытие старых и образование новых каналов трещин. Угольный массив представляет собой трещиновато-пористое тело, разбитое на блоки разветвленной хаотичной сетью трещин. Для зоны 1 характерны следующие основные процессы: 1) интенсивная десорбция газа из отдельных блоков угля, которая сопровождается фазовым переходом газа из сорбированного состояния в свободное; 2) фильтрация газа по каналам трещин. В процессе десорбции и фильтрации газа по хаотичной системе трещин происходит дросселирование газа, наблюдается положительный эффект Джоуля-Томсона, происходит снижение температуры, давления газов и напряжений в зоне влияния скважины. В зоне 2 доминирующими процессами являются активные десорбция и фильтрация газа, также сопровождающиеся эффектом Джоуля-Томсона. Для зоны 3 характерными являются: снижение трещиноватости и газопроницаемости угольного массива; за счет образовавшихся градиентов давления газа-  $\Delta P$  и температуры –  $\Delta T^{\circ}$  преобладают процессы термо- и бародиффузии; наблюдается снижение скоростей тепло- и массопереноса. Зона 4 характеризуется: слабым влиянием скважины, низкими значениями газопроницаемости угля; слабой молекулярной диффузией газов. Обобщение передового опыта безопасного ведения горных работ в Донбассе [2] и анализ литературы показали, что одним из перспективных направлений по совершенствованию оценки степени выбросоопасности угольных пластов является изучение закономерностей изменения газотермодинамических параметров в призабойной части угольного массива.

**Выводы.** Одним из перспективных направлений исследований является изучение закономерностей изменения газотермодинамических параметров в призабойной части выбросоопасных угольных пластов. Дальнейшее совершенствование способа оценки степени выбросоопасности пластов должно включать следующие этапы работ: а) аналитическое описание физических процессов, происходящих в угольном пласте, с последующим численным и компьютерным моделированием; б) разработка устройств для контроля состояния призабойной части пласта и проведение шахтных экспериментальных работ; в) разработка нового усовершенствованного способа оценки степени выбросоопасности угольных пластов, способ основывается на измерении газотермодинамических параметров в призабойной части пластов; г) апробация способа.

## Список литературы

1. СОУ 10.1.00174088.011 – 2005. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям / Киев, Минуглепром Украины. 2005. – 225 с.
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. – 603с.
3. Петухов И.М. Механика горных ударов и выбросов [Текст] / И.М. Петухов, А. М. Линьков // М.: Недра, 1983.– 280 с.

## НЕКОТОРЫЕ ПРИЧИНЫ ВЗРЫВОВ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ НА ШАХТАХ ДОНБАССА

**Минеев С.П.**

*ИГТМ НАНУ, г. Днепр*

На угольных шахтах ежегодно происходят десятки вспышек и взрывов метана. Наибольшую опасность представляют взрывы метана с последующим возгоранием угольной пыли, а также пожары.

Слушая сообщение об очередном взрыве и жертвах несчастного случая, многие задаются вопросом, почему так происходит. Ведь опасности, подстерегающие горняков под землей известны. Существует «Правила безопасности в угольных шахтах», регламентирующие порядок безопасного ведения горных работ, обеспечения пылегазового режима, техники безопасности и охраны труда. Есть инструкции, руководства, другие нормативно-правовые акты.

Известно, что наиболее эффективным средством борьбы с загазированием горных выработок метаном является вентиляция. Воздуха в шахту должно подаваться столько, чтобы содержание метана в атмосфере выработок не превышало установленной Правилами норм. Для этого на большинство шахт наряду с ней применяется дегазация и другие меры.

Рассматривая проблему взрывоопасности, специалисты шутят: «Если есть метан – искра всегда найдется». Однако на самом деле все несколько сложнее, так как причин и факторов, оказывающих влияние на скопление статического и импульсного загазирования и вызывающих взрывы метана, несколько десятков: главных, сопутствующих, косвенных и прочих.

К основным таким причинам и факторам относятся:

- нарушение режима проветривания из-за перераспределения воздуха между выработками;

- изменения режима работы добычных машин и организации работ в сторону ускорения, но непринятие при этом соответствующих мер по увеличению подаваемого в забой воздуха;
- изменения горно-геологических условий;
- неудовлетворительное управление кровлей и проведение непластовых часто ненужных выработок с последующей их изоляцией без погашения;
- нарушение проветривания тупиковых забоев в результате остановки вентилятора местного проветривания, разрыва вентиляционных труб, пережатия и несвоевременного их наращивания в призабойном пространстве;
- внезапные выбросы угля и газа, суфлярные и импульсные выделения метана;
- изменения состава атмосферы, не учет в ней водорода, гомологов метана, изменение депрессии и пр.;
- не учет фрикционных, пьезоэлектрических и других эффектов при разрушении угля и вмещающих пород;
- неправильное разгазирование ранее заперемыченных выработок при изоляции пожаро- или взрывоопасного участка в результате быстрого вытеснения из него метана высокой концентрации в выработки;
- плановые остановки главных и вспомогательных вентиляторов в результате ревизии, ремонта, демонтажа и переноса оборудования, реверса воздушной струи;
- инженерные ошибки в расчетах, замерах воздуха. в том числе при работе главных вентиляторов в различных режимах. Неправильно выбранные режимы проветривания при ликвидации аварий, обрушениях и завалах (наиболее часто при пожарах), в том числе согласно плану ликвидации аварий, могут привести к повторным взрывам;
- применение несовершенных схем вскрытия, подготовки и отработки пластов, систем разработки приводят к образованию местных скоплений метана в «кутках» очистных забоев, нишах, тупиках у перемычек и т.д.;
- желание быстрой ликвидации последствий аварий, нередко вызывающей рецидив 27 жовтня 2015;
- неудовлетворительный контроль за проветриванием горных выработок.

Анализируя и обобщая причины скоплений метана, загазирования, взрывов метана с позиции проветривания, заметим, что причины бывают разные, а классификация причин и факторов скопления метана выполне-

на несколько условно. Загазирование выработок, в том числе местные скопления метана, чаще всего происходит не по одной, а по двум, трем и более вышеперечисленным причинам. При расследовании взрывов определяется основная причина скопления метана, а косвенные, но не менее существенные, упускаются. Существует множество неблагоприятных обстоятельств, связанных как с выделением метана, так и проветриванием. То есть каждый взрыв – это результат того, что кто-то что-то неправильно оценил, спрогнозировал, принял ошибочное решение, неправильно действовал и т. д.

Дегазация углеродного массива с поверхности или подземным способом применяется в недостаточных объемах, чаще всего где средствами вентиляции невозможно снизить содержание метана в горных выработках до норм, определенных ПБ.

На шахтах имеются явно выраженные удлинения и усложнения вентиляционных сетей. Сложность вентиляционных сетей, высокое сопротивление горных выработок, выборочная отработка пластов, проветривание – все это требует на многих шахтах реконструкции вентиляции. Выделение метана происходит неравномерно: зональное, внезапное и импульсное и др. Всякая внезапность этого увеличивает вероятность аварии, из чего следует острая необходимость повысить достоверность горных и газовых условий.

При анализе причины расследовании аварий следует исключить удобное объяснение о снижении дисциплины труда. В то же время нельзя считать воспламенение метана чистой случайностью. Уместнее другая общеизвестная позиция о том, что случайность в проявившейся закономерности. Содержащийся в угольных пластах метан следует оценивать как часть свободного газа, а остальной газ находится в связанном состоянии: в основном сорбированном, хотя при определенных условиях в разном количестве возможны гидратный, генерируемый в угле газ и другие его виды.

Важным моментом является отношение к зонам влияния технологического воздействия – чем оно интенсивнее, тем динамичнее возможная реакция горного массива. Технолог на шахте сталкиваются с типичной ситуацией «информационного барьера», характеризующейся тем, что сложность управляемой системы, количество причинно-следственных связей по объему информации намного превосходят возможности по ее переработке отдельным человеком или группой специалистов. Выход – использование более современных автоматизированных систем с компьютерным управлением.

Известная статистика показывает, что система газового контроля шахт раз в сутки сигнализирует о неблагополучном состоянии техно-

логий подземной разработки. Считается, что до двух процентов загазированных перерастают в горение, вспышки и взрывы метановоздушной смеси. Случайное импульсное выделение метана, частичная или полная посадка кровли, интенсивный перевод сорбированного газа в свободный, можно перечислить еще много разных причин. Результат же один – взрыв, авария, разрушения, жертвы. Примерно по такой вроде простой схеме произошли аварии на шахтах «Суходольская-Восточная» (29.07.2011), «Краснолиманская» (20.07.2004, 23.05.2008, 27.10.2015) и многие другие.

В последнее время принято считать, что почти все аварии, связанные со взрывами метана и угольной пыли, происходят преимущественно из-за грубых нарушений правил безопасности. Опираясь на этот тезис, проще расследовать аварию, проще найти причину и виновника, которого накажут впоследствии. На самом деле, важно не упустить в процессе расследования малейшие детали и обстоятельства нарушений, докопаться до всего спектра причин и версий происшествий.

Несомненно, что помимо человеческого фактора существует еще и тот самый фактор «расплаты за вмешательство в природу», наступает которая, как правило, внезапно. Известно, что в результате извлечения из недр огромных объемов угля происходит существенное сдвигание горного массива. А это не может не сопровождаться при определенных горно-геологических условиях непрогнозируемыми естественными природными явлениями, в том числе и ранее неизвестными.

### **Список литературы**

1. Минеев С.П. О предупреждении аварий, связанных со взрывами метана в угольных шахтах // С.П.Минеев. – Уголь Украины, 2018, №1-2, С. 50-59. <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/151975>.
2. Минеев С.П. Враг или друг шахтный метан? Это решают люди // С.П.Минеев. – Охрана труда: Приложение к журналу, 2017, № 12. – С. 49- 53.

## **ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА В УГЛЕ, МЕТАНЕ И УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ В ДОНЕЦКОМ КАМЕННОУГОЛЬНОМ БАССЕЙНЕ**

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

*РАНИМИ, г. Донецк, ДНР*

Природа происхождения газов угленосных отложений окончательно не установлена. Считается, что метан, доля которого в рудничных газах составляет 60-98 %, образовался при биохимических процессах разложения растительного вещества. Метаморфические преобразования

углей создали пористую структуру, в которой проявились силы, связывающие уголь с газом, и сформировалась природная равновесная система уголь-газ. Получившая в последнее время распространение abiогенная модель считается еще спорной, по крайней мере, в отношении abiотической генерации метана в значительных количествах [1]. Однако, находки abiогенного метана в мантийных газах и жидкостях и в больших количествах на других планетах [2] делают эту концепцию все более убедительной. Существует также мнение о присутствии в шахтах метана, выделяющегося в результате механохимической деструкции и метана, образовавшегося путем гидрирования  $\text{CO}_2$  в присутствии железного катализатора. В этой связи есть все основания рассматривать шахтный метан как комбинацию углеводородов, формирующихся несколькими источниками генерации:

1. Метан метаморфогенного происхождения, образовавшийся в угольных пластах и вмещающих породах «*in situ*» на различных геологических этапах. Этот метан является наиболее прогнозируемым и определяет фоновую метанонасыщенность горного массива.

2. Метан глубинного происхождения, мигрирующий по сети тектонических нарушений в осадочной толще. Этот метан разделяется в свою очередь на: а) метан, поступающий из глубоко залегающих каменноугольных отложений, а также из залегающих ниже нефтяных или газовых месторождений; б) мантийный метан, проникающий в осадочную толщу по разломам кристаллического фундамента.

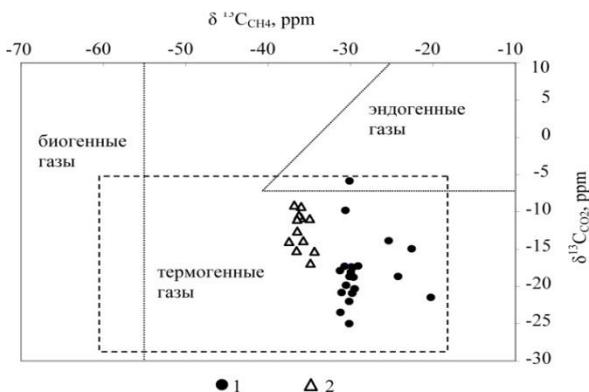
3. Метан, генерирующийся на протяжении всего времени существования ископаемых углей в результате химических реакций [3]. Этот метан наименее исследован. Его опасность заключается в том, что он образуется в локальной зоне угольного пласта (до нескольких метров) и заранее прогнозировать его наличие существующими средствами газовой защиты невозможно.

Исследованиями РАНМИ установлено [4], что по мере приближения к зонам тектонических структур III порядка, которые тяготеют к разломам кристаллического фундамента, происходит закономерное утяжеление изотопного состава углерода метана ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ ) и углекислого газа ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ ), возрастает концентрация гелия (He), водорода ( $\text{H}_2$ ) и тяжелых углеводородов. Таким образом, разломы кристаллического фундамента являются источником миграции в угольные пласты горючих газов термогенного происхождения и газов, близких к эндогенному генезису из более глубоких слоёв земной коры. На шахте им. А.Ф. Засядько, например, по мере приближения к сместителю Ветковского надвига от 260 м до 30 м происходит существенное утяжеление углерода метана от -42,5 до -30,3 и -20,4 ‰ (рис.1). Для углекислого газа  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  соот-

ответственно изменяется от -13,74 до -21,90 ppm, а  $\delta^{13}\text{C}_{\text{угля}}$  – от -24,73 до -23,63 ppm. Это указывает на возможность подтока тяжелого метана из верхней мантии по разлому кристаллического фундамента, по Ветковскому надвигу и его апофизам в разрабатываемый угольный пласт. Концентрация гелия при этом увеличивалась от 0,02 до 0,12 %, водорода – от 0,0 до 0,14 %, бутана – от 0,07 до 2,5 %.

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

Известно, что формирование трещиноватых зон в осадочной толще тесным образом связано с перемещениями блоков кристаллического фундамента по разломам. Разломы кристаллического фундамента являются также каналами подвода в осадочную толщу углеводородов глубинного происхождения. Для выявления разломных зон оказываются незаменимыми материалы региональных грави- и магниторазведочных работ. Используя цифровую модель аномалии Фая, полученную по результатам гравиметрической съемки, М.М. Довбнич и В.П. Солдатенко выполнили расчет полей напряжений на территории Донецко-Макеевского района Донбасса, включая поле шахты им. А.Ф. Засядько [5]. Анализ этих полей показал хорошее соответствие локальной составляющей напряжений основным тектоническим элементам осадочной толщи рассматриваемого района. Некоторые области повышенных напряжений хорошо коррелируются с известными тектоническими нарушениями, в частности с Пантелеймоновским, Ветковским и Григорьевским надвигами, которые по результатам анализа материалов гравиметрической съемки имеют близкую ориентацию к разломам кристаллического фундамента [5].



**Рис. 1. Диаграмма распределения исследованных проб газа на шахте им. А.Ф. Засядько (1) и «Краснолиманская» (2) в координатах  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$  –  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ .**

### Список литературы

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

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДОБЫЧИ МЕТАНА НА ЗАКРЫТЫХ ШАХТАХ ДОНБАССА

**Канин В.А., Ходырев Е.Д., Васютина В.В.**

*РАНИМИ, г. Донецк, ДНР*

При отработке угольных месторождений часть метана в результате активизации процессов сдвижения горного массива выделяется в сторону земной поверхности, а часть уходит в выработанное пространство

шахт. Тем не менее, в углепородном комплексе остается более половины первичных запасов метана. При этом в горном массиве формируются мощные и относительно изолированные техногенные коллекторы, которые по своим фильтрационным свойствам приближаются, а иногда и превосходят коллекторы известных газовых месторождений. В результате этих конкурирующих процессов образуются своеобразные техногенные геологические объекты, весьма перспективные для добычи шахтного метана.

Механизм формирования газовых коллекторов в пределах закрытых шахт существенно зависит от условий подработки горного массива, особенностей его деформирования и смещения, а также от воздействия горных работ на геологические структуры, находящиеся внутри массива, в том числе и те, которые связаны с глубинными структурами [1].

Выполнявшиеся в течение ряда лет в РАНИМИ исследования в рамках программы «Разработка научных основ и практических рекомендаций по извлечению метана из техногенных коллекторов горного массива действующих и закрытых шахт» были направлены на: определение источников, природы образования и перераспределения углеводородных газов в горном массиве; разработку методики выбора способов эффективной дегазации угольных пластов с учетом геологического строения массива; исследование особенностей формирования полей напряжений и фильтрации газов в горном массиве; создание базы данных по перспективным участкам на шахтных полях Донбасса для добычи попутного метана.

В направлении определения источников, природы образования и перераспределения углеводородных газов в углепородном массиве был выполнен большой объем экспериментальных исследований химического и изотопного состава углеводородных газов в зонах тектонических нарушений и установлены закономерности распределения этих газов в пределах шахтных полей, граничащих с глубинными разломами [2]. Разработана геолого-геофизическая модель глубинного строения горного массива и определены пути миграции углеводородных газов от разломов в кристаллическом фундаменте до горных выработок с использованием сейсмо- и гравиразведки. Эта модель определяет формирование многоэтажной системы газовых скоплений в зонах влияния разрывных нарушений, допускает связь тектонических структур первого, второго и третьего порядка с зонами разломов в кристаллическом фундаменте, а геохимические исследования дополняют пространственно-миграционную модель локальных скоплений горючих газов [3]. Все это позволило разработать способ прогноза зон повышенной газоносности геохимическими и геофизическими методами.

В направлении исследования особенностей формирования полей напряжений и фильтрации газов в горном массиве разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать изменения основных характеристик техногенных газовых месторождений на всех этапах их формирования и с учетом всего многообразия действующих факторов. Следует отметить, что существенная новизна полученных результатов заключается в том, что они учитывают инерционность процессов сорбции по отношению к изменениям давления свободного газа в трещинах. Когда после инверсии потока процессы сорбции меняют знак, то есть десорбция газа изменяется на процесс его поглощения. При этом начальная интенсивность этих процессов после инверсии обратно пропорциональна их интенсивности до инверсии. Другими словами, в точках, в которых процессы сорбции имели первичную максимальную интенсивность, инерционность этих процессов при изменении их направленности проявляется наиболее ярко.

В направлении создания и пополнения базы данных по перспективным участкам на шахтных полях Донбасса для добычи попутного метана предусмотрено применение современных ГИС- технологий, компьютерной обработки геологоразведочных данных о составе газов, содержащихся в угольных пластах, данных по изотопному составу углерода в углеводородных газах в зонах тектонических нарушений и данных по абсолютной и относительной газоносности добычных участков в различных горно-геологических условиях.

В результате анализа горно-геологических материалов по основному промышленному региону Донбасса – Донецко-Макеевскому, обоснованы и выбраны самые перспективные участки шахтных полей для закладки газодобывающих скважин. Выбранные участки приурочены к отработанным на больших (свыше 1 000 м) глубинах лавам по пласту  $m_3$  шахтами им. А.Ф. Засядько, им. В.М. Бажанова, «Чайкино». На всех трех участках наибольший интерес представляет мощная толща руслового песчаника  $M_4^1$ ,  $m_4^0 \sim m_4^1$ , попадающая в зону влияния отработки, характеризующуюся максимальным количеством свободного техногенного метана, содержащимся как в поровом пространстве песчаников, так и в его техногенных трещинах, создающих трещинную пористость. Существенными факторами этого песчаника являются их удовлетворительная проницаемость (результат техногенной трещиноватости) и перекрытие газупорными тонкозернистыми нетрещиноватыми отложениями, что способствует образованию в песчаниках газовых ловушек. Не исключена их подпитка за счет миграции метана по техногенной трещиноватости из нижних горизонтов. Следует также отметить широкое, повсеместное распространение этого песчаника по площади регио-

на. По приближенным оценкам одной скважиной, пробуренной на подработанный участок этого песчаника можно извлечь до 20 млн. м<sup>3</sup> метана. В целом же ресурсы метана, которые могут быть извлечены в пределах полей закрытых шахт (без учета поступления глубинного газа) составляют: для Донецко-Макеевского района Донбасса – до 100 млрд м<sup>3</sup> и для Центрального района – до 60 млрд м<sup>3</sup>.

### **Список литературы**

1. A. Antsiferov, M. Dovbnich, V. Kanin, I. Viktosenko The nature and prediction of dynamic phenomena regional zones in mines of the Donets Coal Basin // Technical and Geoinformational Systems in Mining. – CRC Press, 2011. – P.163-170.

2. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины: [монография 3 т] / А.В. Анциферов, А.А. Голубев, В.А. Канин, М.Г. Тиркель, Г.З. Задара, В.И. Узиюк, В.А. Анциферов, В.Г. Суярко // УкрНИМИ НАН Украины Донецк: изд-во «Вебер» (Донецкое отделение), 2010.–Т. 2: Углегазовые и газовые месторождения Северо-Восточного Донбасса, окраин Большого Донбасса, ДДВ и Львовско-Волынского бассейна – 478 с.

3. Канин, В.А. Приуроченность локальных скоплений горючих газов в угольных шахтах к разломам кристаллического фундамента [Текст] / В.А. Канин, А.А. Тараник, М.М. Довбнич // Межвед. сб. науч. трудов «Геотехническая механика». – Днепрпетровск: ИГТМ НАН Украины, 2010. – Вып. 87. – С. 52-57.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕЙРОННОЙ ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ**

**До Чи Тхань, Нгуен Ван Чунг**

*Куангнинский индустриальный университет.*

*Иентхо–Донгчеу, Куангнинь, Вьетнам*

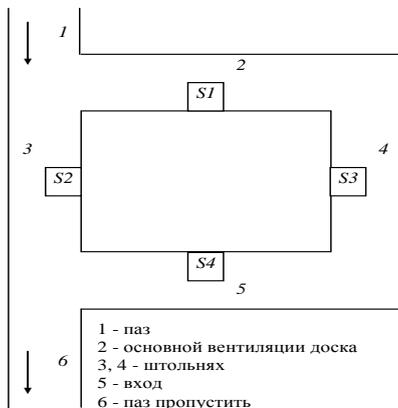
Высокий уровень выделения метана в горные выработки в современных условиях ведения горных работ – один из ключевых факторов, определяющих сложность работ по выемке угля и его высокую себестоимость.

В последнее время все большего распространения приобретают сенсоры, выходной сигнал которых преднамеренно зависит от нескольких физических величин, так называемые многопараметрические или мультисенсоры (ДЧ) [1]. Такие сенсоры используются для одновременного сбора данных о нескольких физических величинах. При этом измеряемые величины влияют на все параметры выходного сигнала ДЧ.

Методы распознавания выходных сигналов ДЧ разрабатывались многими учеными. Результат этого анализа сводится к тому, что

нейросетевые методы дают наилучшие результаты, однако требуют долгого времени обучения и интуиции эксперта-исследователя для их целенаправленного применения. Как показано в [5], нейросетевые методы показывают лучшие результаты в сравнении с другими математическими подходами благодаря обобщающим свойствам нейронных сетей (НС), которые путем самообучения могут наиболее оптимально настроиться на решаемую задачу.

## I. Имитационная модель раздел шахтных вентиляционных сетей



**Рис 1. Фрагмент секции шахты вентиляции сети используются для разработки имитационной модели**

Целесообразно рассмотреть простую структуру в разделе аэродинамические процессы в вентиляционных сетях шахт (ШВС) для развития своей имитационной модели для того, чтобы оценить потенциальные возможности системы управления нервной. Фрагмент раздел ШВС представлен на рис. 1, где части секции пронумерованы соответствующими номерами. Давайте предположим, что S1 Датчик устанавливается в главную вентиляционную барды 2, датчики S2 и S3, установленные в штольнях и датчиком S4 устанавливается в записи 5. Датчики S1-S4 концентрации метана мера в соответствующие части раздел. Численные параметры имитационной модели (длины и срезы из галерей) собраны из [9].

$$c = \frac{Q_m}{Q_m + Q} \cdot 100\% \quad (1)$$

где  $Q_m$  это эмиссия метана в разделах атмосфере. Сейф концентрация метана обеспечивается путем регулировки воздушного потока  $\Delta Q$ , кото-

рый следует рассматривать как влияние управления по отношению к концентрации. Регулировка потока  $\Delta Q$  воздуха может быть оценена путем изменения концентрации  $\Delta c$  в двух необходимых моментов времени. Рассмотрим концентрации метана и первых и вторых моментов времени.

Тогда, подставляя эти переменные в (2.1), мы можем получить выражение для изменения концентрации

$$\Delta c = c_2 - c_1 = \frac{1}{Q_t} \left( \Delta Q_m - \frac{Q_m \cdot \Delta Q}{Q + \Delta Q} \right), \quad (2)$$

где  $Q_t = Q_m + Q$  изменение метана и воздушной смеси, чтобы сформировать соответствующую концентрацию метана в разделе с индексом. В случае простого имитационной модели считается четыре секции 2, 3, 4, 5 на рис. 1 с установленными датчиками S1-S4 соответственно. Теперь регулирования расхода в разделе с индексом могут быть получены из уравнения (2)

$$\Delta Q = \frac{\Delta c \cdot Q_t^2}{Q_m - \Delta c \cdot Q_t} \quad (3)$$

## II. Последовательная нейронной управления схема потока шахтного воздуха

Предварительный анализ показал [6-9], что последовательное нейронная схема управления (рис.2) может обеспечить достаточную эффективность управления за счет отсутствия дополнительных филиалов управления, таких как дополнительных контроллеров. Управление осуществляется с помощью следующего пути [1-4]: получение опорного сигнала на входе, предварительно обученной нейронной сети восстанавливает его управления воздействием на объект управления.

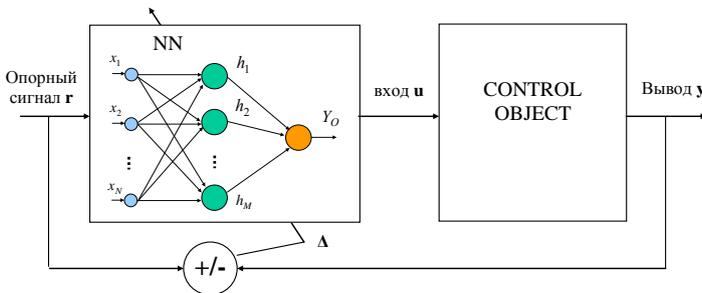
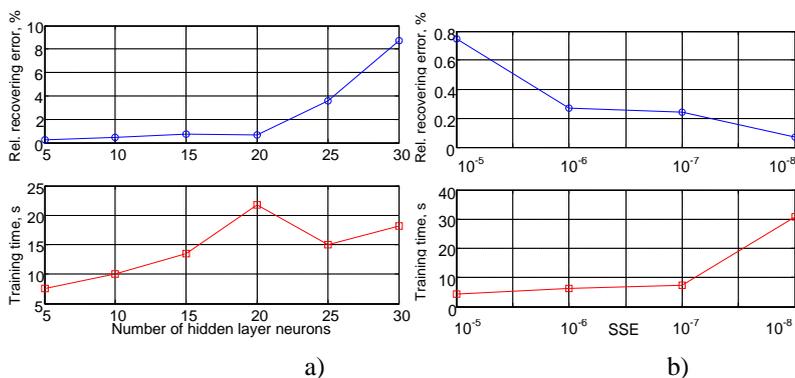


Рис. 2. Последовательная нейронная схема управления

### III. Имитационное результатов моделирования

Имитационное моделирование должно экспериментально показать оптимальный выбор структуры нейронной сети и ее параметров подготовки с точки зрения точности управления в режиме реального времени.

Результаты моделирования Моделирование с разным количеством скрытых нейронов слоя показаны на рис. 3. Относительная погрешность контроля воздействий выздоравливающих растет от 0,1% до 8% при увеличении числа скрытых нейронов слоя от 5 до 30. Кроме того, время обучения увеличено с 8 до 15-20 секунд. Таким образом, нейронная сеть 4-5-1 структура обеспечивает лучший результат, т.е. минимальное относительную погрешность восстановления контроля влияния и минимальное время подготовки.



**Рис. 3. а). Зависимости относительной ошибки восстановления и подготовки время из числа скрытых нейронов слоя; б). Зависимости относительной ошибки восстановления и подготовки время от значений SSE**

Простой имитационная модель секции вентиляционной сети шахты и методики создания обучающего множества для нейронных контроля воздушного потока разработаны в этой статье. Результаты имитационного моделирования показали хорошие потенциальные возможности нервной контроля шахты воздушного потока в режиме реального времени. Будущее исследований целесообразно выполнять с помощью сложной имитационной модели потока воздуха в вентиляционных сетях шахт.

### Список литературы

1. Taner A.H., Brignell J.E. Virtual instrumentation and intelligent sensors // Sensors and Actuators A:Physical. – 1997. – Vol. 61, No. 1-3. – P. 427-430.
2. Capone S., Siciliano P., Bârsan N., Weimar U., Vasanelli L. Analysis of CO and CH<sub>4</sub> gas mixtures by using a micromachined sensor array // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2001. – Vol. 78, No. 1-3. – P. 40-48.

3. Michie D., Spiegelhalter D.J., Taylor C.C. Machine Learning, Neural and Statistical Classification. –New York: Ellis Horwood, 1994.

4. Shaffer R. E., Rose-Pehrsson S. L., McGill A.R. A comparison study of chemical sensor array pattern recognition algorithms // Analytica Chimica Acta. – 1999. – Vol. 384, No. 3. – P. 305-317.

5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ. – Под. ред. Куссуль Н.Н. – М.:Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.

6. Головкин В.А. Нейронные сети: обучение, модели и применение. – М.: Радиотехника, 2001. – 256 с.

7. В. Kosko. Neural Networks for Signal Processing. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1992.

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ В ШАХТЕ С НЕЙРОСЕТЕВОЙ НАСТРОЙКОЙ**

**До Чи Тхань, Фам Хый Чием**

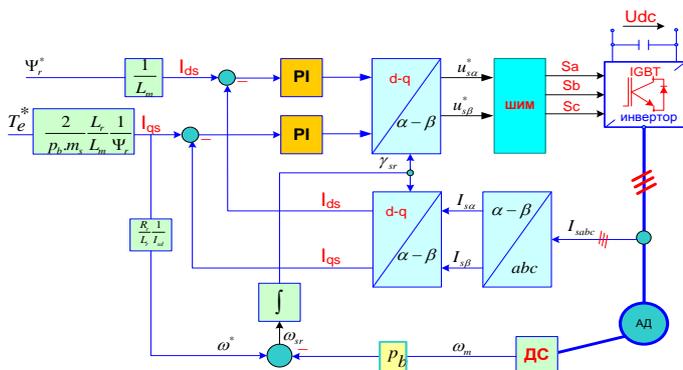
*Куангнинский индустриальный университет.  
Иентхо–Донгчеу, Куангнинь, Вьетнам*

В настоящем документе представлении адаптивный ПИ-регулятор на основе радиальной базовой функции (RBF) нейронной сети для управления скоростью векторного управляемого асинхронного двигателя. Структура схемы управления состоит из идентификатора RBF, эталонной модели и ПИ-контроллера. Идентификатор RBF используется для онлайн-идентификации значения якобиана для асинхронного двигателя. Параметры нейронной сети обновляются онлайн с использованием метода градиентного спуска без предварительной подготовки. В этом исследовании результаты показывают, что предлагаемый контроллер обеспечивает хорошую устойчивость и стабильность системы под переменной скоростью, а не обычный контроллер ПИ.

### **I. Модель векторного управления асинхронного двигателя привода вентилятора местного на рисунке 1.**

Разработка алгоритмов нейросетевой адаптации параметров ПИ-регулятора скорости асинхронного двигателя.

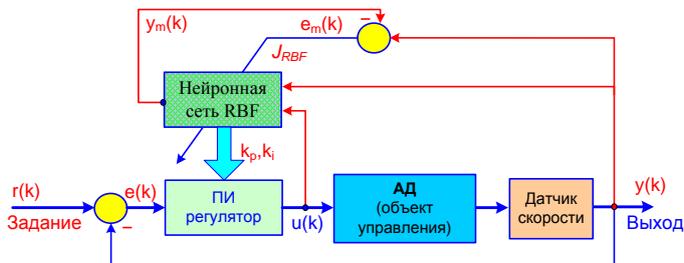
ПИ-регуляторы находят широкое применение в системах управления динамическими объектами, и в частности, в управлениях асинхронного двигателя системах. Тем не менее, применение классических ПИ-регуляторов имеет свои ограничения и недостатки. В работе предлагается ПИ-контроллер, основанный на идентификации нейронной сети RBF,



**Рис. 1. Блок-схема косвенная полевое управление**

для управления скоростью асинхронного двигателя. Предложенная структура системы управления показана на рисунке 2 нейронная сеть RBF, используемая для регулирования параметров:  $K_p$ ,  $K_i$  [8,10,11,15].

Интеллектуальный ПИ – регулятор на основе радиальной базирования функциональная (RBF) нейронная сеть. Сеть радиальной базисной функции (RBF) представляет собой трехслойную подачу вперед искусственного нейрона сеть, которая использует функции радиальной функции как функции активации.

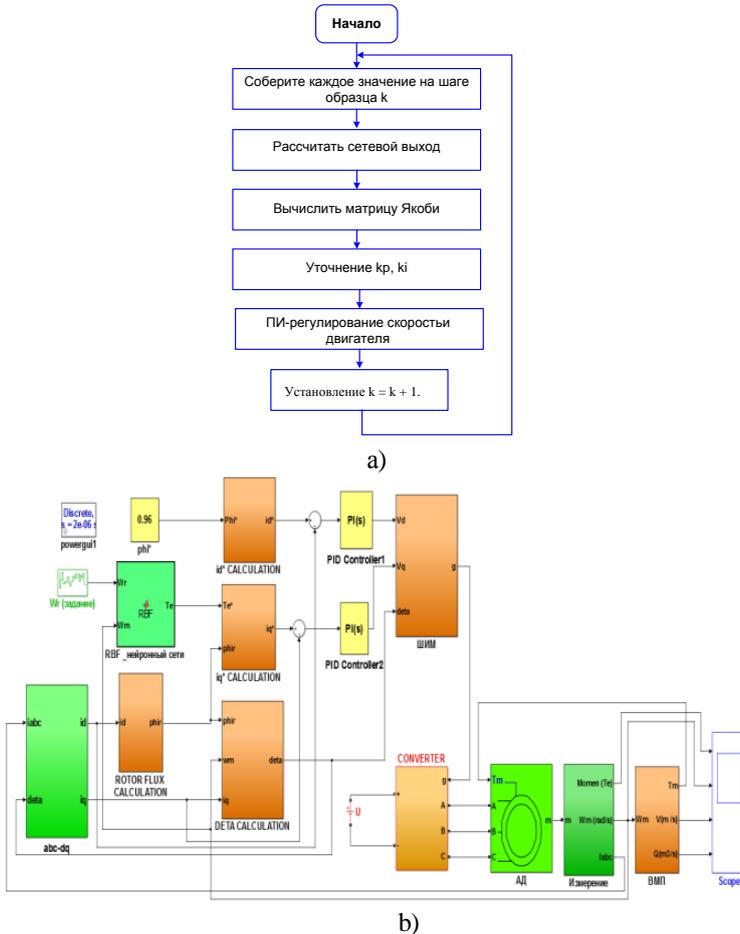


**Рис 2. ПИ-регулятор на основе RBF нейронной сети**  
 $r(k)$  – задание,  $e(k)$  – рассогласование,  $u(k)$  – сигнал управления,  $y(k)$  – выход объект управления,  $y_m(k)$  – выход идентификатора RBF.

## II. ПИ – алгоритм управления

В этой стратегии управления системная ошибка между желаемым выходом системы и фактический выход системы, как показано на рисунке 2, алгоритм ПИ-регулирования задается как:

$$u(k) = u(k-1) + k_p \{e(k) - e(k-1)\} + k_i e(k)$$



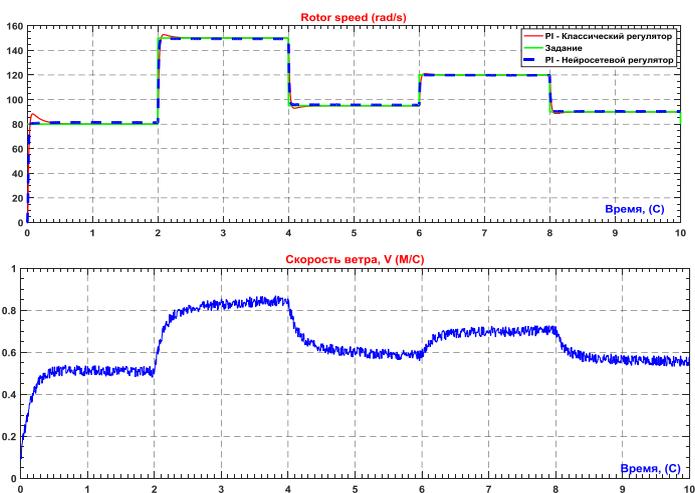
**Рис 3. а). Блок схема RBF нейронный сети ПИ регулятора  
 Список литературы; б). Модель Simulink для векторной управляемой  
 асинхронной двигательной систем привод ВМД**

Процесс управления скоростью векторного асинхронного двигателя моделируется с использованием MATLAB / Simulink. IFOC и импульс ширины пространственной векторной модуляции были использованы в приводной системы асинхронного двигателя для вентилятора местного 352

проветривания. Сравнение производительности адаптивного ПИ контроллера со стандартным ПИ-контроллером показаны на рисунке 4.

Можно видеть, что на рисунке 4, отклик системы индукционного привода двигателя на основе предлагаемого способа нейронной сети ПИ регулятора управления ПИ имеет меньшие перерегулирования и стационарную ошибку, чем обычный метод управления ПИ на этапе изменения задания скорости.

В данной работе предлагается адаптивная стратегия управления ПИ на основе нейронной сети RBF для управления скоростью асинхронного двигателя. Параметры предлагаемого контроллера настраиваются онлайн для получения желаемой производительности контроллера.



**Рис. 4. Результаты моделирования с нейроконтроллером**

В этой работе рассматриваются идея классический ПИ-регулятор можно заменить регулятором ПИ с использованием нейронной сети. Регулятор ПИ использует нейронную сеть для автоматического поиска параметра  $k_p$ ,  $k_i$  который оптимизирован для системы автоматического управления.

### Список литературы

1. А. И. Бобиков, к.т.н., доцент., Нейросетевое управление угловым положением двигателя постоянного тока. ISSN 1995-4565. Вестник РГПУ. 2016. № 57. С.139.
2. Калачев Ю. Н. Векторное регулирование (заметки практика) 2013 г.

3. к.т.н., доц. Глущенко А.И., аспирант Фомин А.В., аспирант Петров В.А. Разработка методологии построения нейросетевого настройщика параметров линейных регуляторов для нелинейных объектов управления с различной динамикой. Старый Оскол, 2017.

4. Taifour Ali<sup>1</sup>, Abdelaziz Y. M. Abbas<sup>2</sup>, Ekram Hassabo Abaid Osman<sup>3</sup>. Control of Induction Motor Drive using Artificial Neural Network. SUST Journal of Engineering and Computer Science (JECS), Vol. 15, No. 2, 2014.

5. B.Sowjanya<sup>1</sup>, M.Vijaya Kumar<sup>2</sup>, M.Anka Rao. Speed Estimation of Sensorless Vector Controlled Induction Motor Drive using ANN. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. Vol. 4, Issue 7, July 2015.

6. M. Rizwan Khan, Arif Iqbal. Sensorless Control of a Vector Controlled ThreePhase Induction Motor Drive using Artificial Neural Network. All content following this page was uploaded by Arif Iqbal on 11 December 2015.

7. Kriauciunas J., Rinkeviciene R. and Baskys A. (2014). Self-Tuning Speed Control of the Induction Motor Drive. Vol.20, No.6, pp.24-28..

8. Zhang Y., Song J., Song S. and Yan M. (2010). Adaptive PID Speed Controller Based on RBF for Permanent Magnet Synchronous Motor System. International Conference on Intelligent Computation Tech. and Automation, 425-428.

9. Liu, J. (2013). Radial Basis Function (RBF) Neural Network Control for Mechanical Systems. Tsinghua University Press, Beijing and Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

# УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР

---

---

## ГЧП КАК АКТУАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

Грибина Е.Н., Веселов Г.А.

*РАНХиГС, г. Москва*

*Институт Общественных Наук, LiberalArts*

Ситуация в российской Арктике, иногда характеризующаяся как «малоподвижная», в действительности подвержена существенным изменениям [9]. Последнее обусловлено, прежде всего, наличием нефтегазовых ресурсов в недрах арктического шельфа. По оценкам Минприроды России, на текущий период ресурсная база РФ в Арктике составляет примерно 511 млрд т нефтяного эквивалента [8]. Вице-премьер, полпред президента в ДФОЮ. Трутнев признал, что Россия «не очень преуспевает на шельфовом треке: за последние годы у нас пробурено пять скважин, тогда как в Норвегии — 345, в Великобритании — 99» [3].

Необходимо сформировать ту среду, которая будет выгодна как бизнесу, так и государству — то есть инвестиционный климат, опосредованный многообразием экономических факторов, готовых инвестировать в инфраструктурные проекты. Они, в свою очередь, поспособствуют мультипликативному эффекту в экономике, что позволит задействовать всех заинтересованных лиц, включая бизнес и государство.

Государственно-частное партнерство (ГЧП) — эффективная схема, которая в России за последние несколько лет «прижилась» практически во всех сферах деятельности и закреплена ФЗ №224-ФЗ «О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1].

ГЧП представляет собой механизм, при котором происходит реализация жизненно необходимых проектов в части повышения благосостояния гражданского общества при посредничестве государства и бизнеса на взаимовыгодных условиях. Государственно-коммерческий альянс выгоден обеим заинтересованным сторонам, поскольку позволяет существенно нивелировать издержки (как правило, государству) и получать привилегии, нацеленные на снижение налогового бремени (как правило, бизнесу).

Нельзя не упомянуть некоторые модели ГЧП: концессия и соглашение о ГЧП [2]. Так, в соответствии с ФЗ «О концессионных соглашениях» от 21.07.2005 N 115-ФЗ [6], двумя действующими факторами в рамках концессионного соглашения являются концедент и концессионер: публичное лицо – государство и инвестор, соответственно. Право на управление объектом и извлечение прибыли остаётся за концессионером. Объектом договора может быть передача прав на использование природных ресурсов, предприятий, оборудования и иных прав. Тем не менее, характер партнерства концессионера с концедентом носит бессрочный характер. BOT (Build, Operate, Transfer) — механизм ГЧП, который используется, главным образом, в концессиях.

Другая модель — соглашение о ГЧП. Исходя из содержания ФЗ N 224-ФЗ соглашение имеет противоположное значение. Так, несмотря на то что, строительством занималось частное лицо, объект может как перейти в собственность государства, так и остаться в собственности частной стороны.

Мировой опыт взаимодействия государства и частного бизнеса имеет продолжительную историю. Так, например, Францию принято считать одной из первых стран, которые делегировали полномочия по управлению объектами инфраструктуры представителям частного бизнеса. В то время как в Великобритании применение механизма ГЧП активно началось в 1990-е г. XX в., а стимулом послужил высокий бюджетный дефицит в 70-80-е гг. [3]. На текущий период времени Великобритания является одним из лидеров в области использования ГЧП, британское правительство стало одним из первых применять данный механизм именно на национальном уровне[4].

В число бизнес-привилегий, направленных на развитие инвестиционного климата, должно войти следующее: налоги на прибыль и НДС будут достаточно «урезаны»; система выдачи лицензий на участки месторождений для предпринимателей будет относительно упрощена: планируется создать государственную корпорацию «Росшельф», [9] Предприниматели, будут непосредственно взаимодействовать с корпорацией по «норвежской» модели. Однако содержание данной модели полностью противоречит текущей международной обстановке: России запрещено брать в аренду буровые платформы для работы на шельфе. [7].

Обобщая, можно с уверенностью сказать, что все проекты, связанные с Арктикой, строились, строятся и будут строиться на принципах государственно-частного партнерства.

## Список литературы

1. О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон от 13.07.2015 г. № 224-ФЗ (последняя редакция). [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_182660/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182660/) (дата обращения: 15.01.2020).
2. О концессионных соглашениях от 21.07.2005 N 115-ФЗ [Электронный ресурс]: федер. закон от 21.07.2005 N 115-ФЗ (последняя редакция). [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_54572/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_54572/) (дата обращения: 15.01.2020).
3. Большукова, О.И., Волкова, В.О., Сурнова А.С. реализация проектов государственно-частного партнерства в России / О.И. Большукова, В.О. Волкова, А.С. Сурнова. – Вестник университета № 6, 2018. – 55-60 с. URL: <https://vestnik.guu.ru/jour/article/view/1054/0> (дата обращения: 18.01.2020).
4. Казаков, В.В. государственно-частное партнерство: мировой опыт и отечественная практика / В.В. Казаков. – Вестник Томского государственного университета. 2014. № 386. С. 165–171. URL: [http://journals.tsu.ru/vestnik/&journal\\_page=archive&id=1076](http://journals.tsu.ru/vestnik/&journal_page=archive&id=1076) (дата обращения: 18.01.2020).
5. Морозов, О.А., Взаимодействие с органами государственной власти, или government relations / О.А. Морозов. – СПбГУРИП. – СПб, 2015. – 86 с. URL: <http://www.nizrp.narod.ru/metod/kaffiniuch/11.pdf> (дата обращения: 19.01.2020).
6. Освоение Арктики как стратегическая задача [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://actualcomment.ru/osvoenie-arktiki-kak-strategicheskaya-zadacha-1907162359.html> (дата обращения: 20.01.2020).
7. «Построить целую страну»: как ищут нефть в Арктике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazeta.ru/business/2019/07/16/12503839.shtml> (дата обращения: 04.01.2020).
8. Трутнев предложил пускать иностранные компании на шельф Арктики через СП с компаниями РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tass.ru/ekonomika/6790569> (дата обращения: 15.01.2020).
9. David Dynkin A.A. International cooperation in the Arctic: Risks and opportunities // Herald of the Russian Academy of Sciences. — 2015. — Vol. 85(3). — P. 198–205. URL: <https://link.springer.com/article/10.1134%2FS1019331615030089> (дата обращения: 04.01.2020).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИТ-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

**Грибина Е.Н., Среднякова Е.А.**

*РАНХиГС, г. Москва*

*Институт Общественных Наук, LiberalArts*

Водные ресурсы представляют собой все воды гидросферы, то есть воды рек, озёр, каналов, водохранилищ, морей и океанов, подземные воды, почвенная влага, вода (льды) горных и полярных ледников, водя-

ные пары атмосферы. Общий объём водных ресурсов составляет 1390 млнкм<sup>3</sup>, из них около 1340 млнкм<sup>3</sup> — воды Мирового океана. Менее 3 % составляют пресные воды, из них технически доступны для использования — всего 0,3 %.

Большее количество пластиковых отходов сосредоточено именно в океане, однако чаще всего отходы попадают в океан из впадающих в них рек. Вода, обладающая свойствами универсального растворителя, более уязвима для загрязнения, чем другие жидкости. Токсичные вещества легко растворяются и смешиваются с ней, вызывая загрязнение. Одним из таких токсичных веществ – является пластик. Каждый год более 80 млн т попадает в океаны ежегодно, а общий объем пластика в океане составляет от 10 000 до 100 000 т [5]. И учитывая тот факт, что массовое производство пластика и, соответственно, загрязнение началось в 70-х годах, пластиковые отходы попали под влияние естественных сил волн и течений, прошли начальные стадии разложения, деформируясь на более маленькие и опасные для пользователей частицы.

Другая специфика пластикового загрязнения в том, что его очень сложно остановить, так как регионы, допускающие попадание значительной части пластиковых отходов в воды рек, впадающих в океан, одновременно являются регионами с нестабильной экономикой, т.е. решение проблемы пластикового загрязнения океана невозможно без решения социально-экономических проблем в регионах. Возможность утилизации пластика, уже попавшего в открытый океан, осложняется увеличением объема микропластика, в который превращаются пластиковые отходы под действием естественных сил волн и течений.

Пластиковые частицы обладают способностью адсорбировать другие опасные органические и неорганические загрязнители, потенциально опасны для человека при попадании в организм.

Очевидно, что для сохранения естественных свойств океанических и речных вод, а также для сохранения экосистемы флоры и предотвращения попадания микрочастиц пластика в пищевые цепи, необходимо не только перекрыть потоки пластиковых отходов в океан, но и предотвратить разложение уже попавших в океан пластиковых отходов.

The Ocean Clean Up – решение по очищению океана от пластикового загрязнения [1]. Целью The Ocean Clean Up является создание технологичной системы, очищающей океанические воды от пластиковых отходов любого размера. Для разработки системы кампания собирала и анализировала большое количество данных о поведении пластика в океане. Эти данные никогда не собирали с целью его последующего извлечения, поэтому многое пришлось исследовать с нуля, используя первичные физические способы анализа:

- мега-экспедиции – 30 судов работали в океане, собирая образцы пластика и наблюдая за его взаимодействием с водой;
- в лабораториях частички пластика исследовали и классифицировали;
- наблюдение за пластиком с воздуха помогло смоделировать его движение и взаимодействие с морскими течениями.

Таким образом были присвоены точные показатели Большому Тихоокеанскому Мусорному Пятну – самому крупному скоплению пластика в океане: площадь: 1 600 000 км<sup>2</sup>; масса: 80 000 т; состав: 92% крупный и средний пластик, 18% микропластик. Были получены данные, на основе которых можно разрабатывать технологическую концепцию: тенденция пластика аккумулироваться под действием течений и тот факт, что большую массу составлял именно пластик крупного размера, делали возможным сам факт его сбора [3].

Так был разработан первый вариант системы. Она, принимая U-образную форму, автономно движется с помощью сил ветра, волн и течений, собирая пластик в неглубокий барьер, который является безопасным для рыб, но аккумулирует пластик, так как и макро-, и микропластик держатся на уровне поверхности воды.

Используя данные, полученные на входе исследования, были разработаны требования к системе – она должна использовать возобновляемые источники энергии, быть автономной, безопасной для морских обитателей, предполагать возможности отслеживания таких показателей, как географическое положение, форма, степень наполненности пластиком.

На основе данных, полученных с помощью компьютерного моделирования, предполагается возможным очистить 50% Большого Тихоокеанского Мусорного Пятна за ближайшие 5 лет.

Однако Система 1 показала достаточную нестабильность в отношении взаимодействия с пластиком в ходе испытаний в океане – часть пластика оказывалась за барьером системы с ее внешней стороны, переплывая сверху вместе с волнами.

Это стало толчком к более глубокому изучению взаимодействия пластика с физикой волн. Анализ первопричин проблемы показал, что переплывания пластика можно избежать, обеспечив стабильную разницу скоростей системы и пластика.

При этом неважно, будет система двигаться быстрее или медленнее пластика, главное – стабильность разницы скоростей. На основе этого было смоделировано две альтернативы. В первой система ускоряется по направлению ветра относительно скорости пластика с помощью буйков, во второй замедляется, используя тормозящий подводный парашют.

Следующим шагом был запущен тест системы для выбора оптимального варианта. При этом уменьшив размеры системы, была достигнута возможность всестороннего мониторинга показателей в реальном времени для ускорения процесса сбора данных и внесения доработок.

Кроме того, параллельно было разработано The Interceptor – первое масштабное решение по ограничению потока пластика из рек [2]. Он способен извлекать от 50 000 до 100 000 кг в день в оптимизированных условиях.

The Interceptor является экологически чистым и на 100% работает на солнечной энергии. Система привязана к руслу реки, чтобы использовать естественный поток реки для аккумуляции пластика, она предназначена для круглосуточной автономной работы. Плавающий барьер системы, который используется для направления мусора, охватывает только часть реки; он не будет мешать судам и не влияет на безопасность движения животных, это являлось критическим требованием при работе на крупных реках. Бортовой компьютер, подключенный к Интернету, контролирует производительность системы, энергопотребление и работоспособность компонентов.

На данных момент были построены четыре системы: две системы уже работают в Джакарте (Индонезия) и Кланге (Малайзия); третья Система находится во Вьетнаме и будет установлена в Кантхо в дельте реки Меконг (Вьетнам); четвертая предназначена для развертывания в Санто-Доминго (Доминиканская Республика). В дополнение к этим местам Таиланд подписал контракт на запуск The Interceptor вблизи Бангкока, также приближаются к завершению другие соглашения, включая соглашение в округе Лос-Анджелес (США), что является только началом к расширению масштабов [4].

Эффективное решение проблемы негативного влияния пластикового загрязнения океанических и пресных вод может быть достигнуто путем исследовательского и предпринимательского сотрудничества между государствами и некоммерческими организациями уже сейчас существуют возможности, ресурсы и начальные разработки для решения глобальной проблемы сохранности водных ресурсов.

### **Список литературы**

1. 2017 Annual report / The Ocean Clean Up – Rotterdam, June 2017 – 38 с.
2. David Azoulay, Miriam Gordon Plastic & health (the hidden costs of a plastic) / Center for International Environmental Law, February 2019
3. Britta D. Hardesty, Joseph Harari, Atsuhiko Isobe Using Numerical Model to Improve the Understanding of Micro-plastic in the Marine Environment / March 2017

4. [www.theoceancleanup.com](http://www.theoceancleanup.com), The Ocean Cleanup. «The Great Pacific Garbage Patch – The Ocean Cleanup». *The Ocean Cleanup*. Retrieved 8 May 2018.

5. Rivers' plastic emissions to the world oceans <https://theoceancleanup.com/sources/>.

## **ОБОСНОВАНИЕ НОРМАТИВОВ ВСКРЫТЫХ, ПОДГОТОВЛЕННЫХ И ГОТОВЫХ К ВЫЕМКЕ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ПЛАНОВОЙ И РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ**

**Лисенков А.А., Джарлкаганов У.А.**

*ИГД им. Д.А. Кунаева РГП «НЦ КПМС РК», Алматы, Казахстан*

Проблема повышения научной обоснованности нормативов запасов полезных ископаемых по степени готовности к добыче является одной из важных проблем проектирования и управления горнодобывающими предприятиями, оказывающих значительное влияние на результаты их деятельности. Настойчивые попытки ее решения предпринимались как в прежней, плановой системе хозяйствования, так и после перехода к рыночной экономике. Однако говорить об окончательном ее решении преждевременно. В этой ситуации предприятия вынуждены пользоваться отраслевыми нормативными документами, созданными еще в советский период [1-3]. Только некоторые, наиболее продвинутые из них самостоятельно или с привлечением сторонних организаций и специалистов проводили соответствующие исследования. Это АО «Карельский окатыш» [4], АО «Севредмет» [5], ОАО «Лебединский ГОК» [6], АК «АЛРОСА» [7], ОАО «Евразруда» [8]. ГКМ «Норильский никель» [9], в Казахстане – АО «ССГПО» [10], ТОО «Корпорация Казахмыс» [11] и др. Эти попытки не всегда приводят к желаемым результатам и не могут изменить к лучшему ситуацию, сложившуюся в отрасли.

Следует также сказать, что применяемые предприятиями отраслевые нормативные документы разрабатывались и вводились в действие в докомпьютерную эру, когда преобладали ручные методы проектирования и управления производством. В отличие от этого, сегодня наблюдается высокая степень оснащенности предприятий компьютерной техникой и программным обеспечением, с помощью которых решаются самые разные задачи, возникающие на практике. Таким образом, сложились благоприятные условия для того, чтобы ставить и решать все более сложные, многофакторные, наукоемкие задачи управления процессами и объектами недропользования.

К этому классу задач можно отнести и задачи нормирования запасов полезных ископаемых в карьерах и шахтах. Большое многообразие

их возможных постановок обусловлено, с одной стороны, разными условиями, в которых они решаются, а с другой – разными требованиями, предъявляемыми к результатам их решения. Поэтому научно-методическая база решения этих задач и основанная на ней нормативная база должны развиваться по трем одинаково важным и дополняющим друг друга направлениям – общему (теоретическому), специальному (прикладному) и цифровому (инструментальному).

Попытка создания научно-методической и нормативной базы нормирования запасов полезных ископаемых, учитывающей современные условия работы горнодобывающих предприятий и специфику разработки железорудных месторождений предпринята в Институте горного дела имени Д.А. Кунаева. Результаты этого исследования сводятся к следующему.

По первому направлению:

- разработана система принципов, на которых должны базироваться обновленные теория и практика нормирования вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов полезных ископаемых;
- обоснована необходимость выбора и реализации наиболее адекватного сложившимся условиям работы карьера/шахты режима управления запасами, а именно: режима поддержания на достигнутом уровне, наращивания или сокращения объемов вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов;
- доказана целесообразность перехода от обычно применяемых, жестко заданных нормативов запасов к их интервальным значениям, гибко меняющимся под воздействием влияющих на них факторов.

По второму направлению:

- разработаны методические положения, оптимизационные модели и расчетные схемы решения задач нормирования запасов полезных ископаемых при открытой и подземной разработке железорудных месторождений;
- проведена апробация результатов исследования с использованием данных, собранных на действующих карьерах и в шахте АО «ССГПО»;
- установлено, что применяемые в этих условиях нормативы запасов являются в одних случаях завышенными, а в других – заниженными по сравнению с их оптимальными значениями, рассчитанными по критерию минимизации экономических последствий принимаемых управленческих решений:

- доказана возможность получения значительного (миллиарды тенге) экономического эффекта от решения задач нормирования запасов на новой научно-методической базе.

По третьему направлению:

- разработаны и протестированы на реальных производственных данных алгоритмы и программы решения задач нормирования запасов полезных ископаемых при открытой и подземной разработке железорудных месторождений;
- ведутся переговоры о внедрении полученных результатов в условиях действующих карьеров и шахты АО «ССГПО».

Проведенное исследование показало, что после перехода к рынку рассматриваемая проблема не только не потеряла своей актуальности, но приобрела еще большую остроту. Прежние, чисто государственные механизмы регулирования деятельности недропользователей плохо согласуются с современными условиями работы предприятий и наносят им ощутимый экономический ущерб. Поэтому необходимо разрабатывать и вводить в действие адекватные этим условиям механизмы сбалансированного государственно-частного регулирования, учитывающие интересы всех заинтересованных сторон.

*Данное исследование проводилось в рамках целевой научно-технической программы «Технологическая модернизация горных производств на основе перехода к цифровой экономике» (№ BR05236712)*

### Список литературы

1. Инструкция по определению и учету вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов полезных ископаемых на предприятиях МЧМ СССР. – Белгород: ВИОГЕМ, 1974. – 39 с.
2. Методические указания по определению нормативов запасов полезных ископаемых по степени подготовленности к добыче на горных предприятиях Минчермета СССР. – Белгород, ВИОГЕМ, 1980. – 86 с.
3. Методические указания по определению нормативов запасов железной, хромитовой руды и объемов скальной вскрыши по степени подготовленности к выемке при проектировании карьеров Минчермета СССР. – Белгород, ВИОГЕМ, 1986. – 10 с.
4. Едигарьев В.Г. Обоснование подготовленных и готовых к выемке запасов при разработке пологопадающих маломощных месторождений (На примере рудников АО «Севредмет»). Автореф. канд. дисс. – Апатиты, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, 1996. – 21 с.
5. Бессмертный К.Э. Оптимизация объемов, готовых к выемке запасов на карьерах, разрабатывающих крутопадающие комплексные месторождения.- Автореф. канд. дисс. – С-Пб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 1997.– 19 с.

6. Мининг С.С. Нормирование запасов железистых кварцитов по степени подготовленности к добыче в карьере ОАО «Лебединский ГОК»// Горный информационно – аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2005, Выпуск № 4. – С.154 -155.

7. Акишев А.Н., Бахтин В.А., Васильев П.В. Нормирование запасов при выемке кимберлитовых руд с учетом извлекаемой ценности алмазов// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010, № 12. – С.222-226.

8. Вохмин С.А., Загиров Н.Х., Курчин Г.С., Зайцева Е.В. К вопросу оценки обеспеченности Таштагольского рудника подготовленными и готовыми к выемке запасами// Маркшейдерия и недропользование, 2014, №3 (71). – С. 44-51.

9. Подкуйко Н. В., Симонин П. В., Вохмин С. А., Зайцева Е. В. Актуализация нормирования запасов полезных ископаемых по степени подготовленности к выемке на рудниках ГМК «Норильский никель»// Горный журнал, 2015, №6. – С.51-54

10. Методические указания по определению и расчету основных параметров и показателей рабочей зоны карьера, характеризующих состояние горных работ. – г. Рудный, АО «ССГПО», 1996. – 8с.

## **МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ДАННЫМИ НА ОСНОВЕ IT ОБРАБОТКИ<sup>1</sup>**

**Текутьева Н.В., Цветковская И.И., Прокофьева Е.Н.**

*НИУ ВШЭ, МИЭМ им. А.Н. Тихонова*

Наличие большого количества современных спутниковых систем и аппаратов для аэрофотосъемки предоставляет возможность получать качественные снимки высокого разрешения. Используя методы дистанционного зондирования, можно получать информацию в различных спектральных диапазонах и с высокой периодичностью получения данных.

В основные задачи геомониторинга входит сбор информации об исследуемых объектах или земной поверхности. Одной из сфер, за которой необходимо проводить наблюдения и контролировать являются карстовые процессы и другие разрушительные природные явления, происходящие в горной местности. Предварительное обнаружение оча-

---

<sup>1</sup> Публикация подготовлена в ходе проведения исследования (№ 20-04-033 проекта) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2020 – 2021 гг. и в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации «5-100».

гов карстовых процессов необходимо для того, чтобы свести к минимуму опасность возможных карстовых проявлений и обеспечить устойчивость населения и хозяйственных объектов при внезапной активизации карстового процесса, т. е. проводить оперативный и локальный контроль. Дистанционное зондирование позволяет проводить исследование и собирать данные об опасных, недоступных и быстро изменяющихся объектах. Примеры ДЗЗ включают измерение глубины водного пространства, наблюдение и контроль таяния ледников и проблемы сокращения лесного массива.

Данные для геомониторинга можно получить с помощью искусственных спутников дистанционного зондирования, а также аэрофото съемки, при которой процесс съемки и получения данных происходит с более низкой высоты (от сотен метров до десятков километров), при помощи специальной фотоаппаратуры, установленной на корпусе летательного аппарата. Ещё одним из средств получения данных ДЗЗ являются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), представляющие из себя летательный аппарат, который управляется без экипажа на борту.

Аэрокосмические методы обработки снимков позволяют решать большой набор задач в экономической и физической географии. Основными методами для геоанализа, с помощью которых извлекается пространственная информация можно назвать дешифрирование и фотограмметрическую обработку. На данный момент существует большой спектр профессионального программного обеспечения и программных продуктов, позволяющих применять данные методы геоанализа профессионально. Помимо данных методов, в связи с бурным развитием искусственных нейронных сетей, методы классификации и распознавания образов стали применяться также для сферы геоанализа и прогнозирования георисков.

Основной задачей дешифрирования является распознавание геобъектов на изучаемой местности, с помощью специальных дешифровочных признаков и дальнейшем определении их особенных характеристик. Дешифрирование применяется для получения тематической и качественной информации об исследуемой территории или объекте.

Визуальное дешифрирование представляет собой сложный многоэтапный процесс логического анализа изображений [1]. Дешифрирование объектов производится на основании особых свойств фотоснимков. Основными свойствами являются форма изображения, тон, форма снимка, сам рисунок или структура, текстура, а также тени от объектов на геоснимке. Для реализации задач дешифрирования используются специальные геоинформационные системы, предназначенные для визуализации, хранения геоданных и выполнения различных аналитических

операций, например, программы QGIS и NextGis QGIS. В данных ГИС программах можно проводить построение карт местности, анализировать снимки ДЗЗ или мозаики снимков и грамотно оформлять результаты работы. Также, используя специальные серверные геоинформационные системы, предназначенные для хранения и организации многопользовательского доступа к геоданным позволяют представлять работы по картографии как веб-проект.

Другим способом анализа геоданных является дешифрирование с помощью методов нейронных сетей. При обработке снимков дистанционного зондирования, полученных с космических спутников и других видов съемки, одной из основных задач является распознавание геообъектов и классификация земного покрова. Классификация — процесс назначения меток класса объектам, согласно некоторому описанию свойств этих объектов [2]. Искусственная нейронная сеть состоит из набора слоев. В обобщенном варианте — это входной слой, набор скрытых слоев и выходной слой. Для задач распознавания образов и классификации по изображениям подходит тип нейронной сети, который называется сверточным. Данный тип нейронных сетей используется при обработке изображений большого разрешения и позволяет выделять специальные признаки из массива пикселей снимка. Изображение пропускается через чередование сверточных, нелинейных слоев, и с помощью полносвязного слоя порождается вывод [3]. Благодаря специальной структуре и математическим методам, сверточные сети обладают хорошей устойчивостью к смене ракурса, изменениям масштаба и прочим искажениям на фотографиях.

Фотограмметрия позволяет определить по снимкам исследуемого объекта его форму, размеры и пространственное положение в заданной системе координат, а также его площадь, объём, различные сечения на момент съёмки и изменения их величин через заданный интервал времени [4]. С помощью фотограмметрии изучаются геометрические и физические свойства полученных аэрофотоснимков.

Геоснимки, полученные в результате аэрофотосъемки подвержены различным искажениям, которые могут быть вызваны неоднородным рельефом местности, а также разными углами наклона. Конечной целью обработки методами фотограмметрии является преобразование снимка в определенную картографическую проекцию местности. Современная фотограмметрическая обработка изображений космической съемки и аэрофотосъемки производится с помощью комплексных программных решений, например Agisoft Metashape, Reality Capture, Pix4d, Autodesk ReCap Pro. Работа в данных программах позволяет выполнять геокодирование, строить такие виды картографических документов как цифро-

вая карта, цифровая модель рельефа (ЦМР) и цифровая модель местности (ЦММ), а также строить ортофотопланы местности или объектов.

Данные способы и методы обработки геоданных могут использоваться для создания интегрированных, комплексных систем по осуществлению контроля георисков и для других разработок в рамках различных социальных и экологических задач.

### **Список литературы**

1. Крутов Н.Г. Дешифрирование снимков: методические указания к выполнению лабораторных работ. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 55 с.
2. Зенин А.В. Анализ методов распознавания образов // Молодой ученый, №16, 2017, С. 125-130. URL <https://moluch.ru/archive/150/42393/> (дата обращения: 08.02.2020).
3. Романов А.А. Сверточные нейронные сети //XXI Международная научно-практическая конференция. Научные исследования: ключевые проблемы III тысячелетия., 2018, С. 5–9;
4. Краснопевцев Б.В. Фотограмметрия. – М.: УПП «Репрография» МИИГАиК, 2008. – 160 с.

## **ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР**

**Ларичкин Ф.Д., Новосельцева В.Д.**

*ИЭП КНЦ РАН, Апатиты*

В последние 40-50 лет в научном и прикладном плане природно-ресурсная значимость земных недр пересматривается и существенно повышается, в повестку дня выдвигается концепция комплексного освоения не только минерального сырья, но и всей совокупности ресурсов недр (водных, пространственных, термальных, и т.д.). Понятие «комплексное освоение недр», впервые было выдвинуто академиком Н.В. Мельниковым [1] в начале семидесятых годов прошлого века.

Важное значение для эффективного решения рассматриваемой проблемы принадлежит экономической науке, исследующей проблемы теории и методологии дифференцированной оценки экономической эффективности хозяйственного (коммерчески выгодного) использования каждого из ресурсов недр, каждого из ценных составляющих, компонентов из отдельности и комплексного освоения ресурсов недр в целом.

Точки зрения исследователей по фундаментальным и прикладным аспектам экономики комплексного недропользования высказаны в различные годы, в разных социально-экономических условиях, в значительной степени носят узкоотраслевой характер, зачастую являются противоречивыми. Ключевые методологические вопросы дифференци-

рованной стоимостной оценки и определения экономической эффективности извлечения и производства каждого из ценных компонентов минерального сырья (каждого ресурса недр) остаются слабо исследованными, поэтому нуждаются в теоретическом переосмыслении, обобщении и развитии применительно к рыночным условиям хозяйствования.

Комплексное освоение ресурсов недр (многокомпонентного сырья, заключающегося в одновременном или последовательном извлечении из него нескольких (двух и более) или всех (пользующихся спросом) ценных составляющих в обособленные продукты («мономинеральные» концентраты, химические элементы различной степени чистоты или их стандартные соединения) является характерной чертой современного производства большинства отраслей народного хозяйства. Кроме руд черных, цветных, редких, редкоземельных металлов, горно-химического и строительного сырья, нефти, угля, природного газа, горючих сланцев и т.п., проблема комплексного использования относится к сферам сельского хозяйства (одновременное получение мяса и молока, шерсти и кожевенного сырья, сырья для лекарственных препаратов и т. п.), растительного сырья – при использовании основной части древесины для различного рода строительных и столярных изделий, а щепы, опилок, отходов для химической переработки и (или) в качестве местного топлива. Подобные примеры можно продолжать, но уже приведенные убедительно свидетельствуют о целесообразности рассмотрения практически любого сырьевого ресурса (как природного, так и техногенного) в качестве потенциального источника получения разнообразной продукции и организации комплексного, как правило, многоотраслевого (межотраслевого) производства.

Обобщение, критический анализ существующих и разработка новых научных подходов и методологических принципов дифференцированного определения экономических параметров продуктов комплексного освоения недр и многопродуктовой переработки многокомпонентного минерального сырья, выполненные в Институте экономических проблем им. Г.П. Лузина КНЦ РАН [2] обусловили необходимость пересмотра основных терминов и понятий (зачастую сложившихся интуитивно без какого-либо научного обоснования) и совершенствования взаимосвязанных методологических проблем ценообразования, определения рациональной номенклатуры извлекаемых ценных компонентов, параметров кондиций для оконтуривания и подсчета промышленных запасов, а также оценки экономической эффективности комплексного освоения ресурсов недр, многопродуктовой переработки многокомпонентного минерального сырья.

Формирование экономически наиболее эффективной системы недропользования на основе комплексного освоения и использования всей совокупности ресурсов недр, применения малоотходных ресурсосберегающих технологий, экологизации производства и обеспечения конкурентоспособности продукции минерально-сырьевого комплекса на мировом рынке не может рассматриваться как одноразовое действие. Это сложный межотраслевой междисциплинарный многоэтапный непрерывный итерационный процесс, требующий глубоких теоретических, методологических исследований, обобщений, моделирования и практических проработок, диагностики, координации, мониторинга и коррекции [2]. При этом необходим учет специфики и закономерностей комплексных многопродуктовых производств, пересмотр традиционных терминов, понятий, подходов и понимания многих экономических категорий, принципов, методов, оценок. Из-за неоднозначного определения базовых понятий различные исследователи неизбежно приходят к различным, порой прямо противоположным, выводам.

В результате работ показано, что научно обоснованное определение стоимостных оценок каждого из ценных составляющих (компонентов) ресурсов недр (минерального сырья) является ключевой, центральной проблемой экономики комплексного освоения недр, использования минерального сырья, недропользования в целом. Традиционный подход к решению проблемы основывается на окупаемости полной себестоимости оцениваемого компонента (прямых + косвенных затрат), характерного для монопродуктовых производств, т.е. не учитывает специфику комплексных многономенклатурных производств. На графических моделях и на конкретном числовом примере комплексной переработки свинцово-цинково-баритовой руды показана ошибочность такого подхода [2], приводящая к парадоксальным результатам, когда отказ от производства убыточного ресурса (компонента), вопреки логике, приводит к снижению эффективности производства всех других ресурсов (компонентов).

Доказано, что: а) экономическая целесообразность использования каждого из ценных компонентов сырья (ресурса недр) в отдельности определяется из условия окупаемости только прямых дополнительных затрат, связанных с организацией извлечения оцениваемого ресурса (компонента), без учета какой-либо части косвенных расходов; б) экономическая эффективность комплексного использования ресурсов недр (многокомпонентного сырья) в целом, определяется из условия окупаемости общей суммы прямых и косвенных затрат на добычу и комплексную переработку ресурсов недр (минерального сырья) при учете только тех ресурсов (компонентов), производство (извлечение) которых экономически оправдано в соответствии с принципом, изложенным в пункте «а» [2].

Использование рекомендуемого метода оценки по сравнению с традиционным, существенно расширяет экономически эффективные границы комплексного освоения и использования ресурсов недр (в частности, минерального сырья, в том числе техногенного) и повышает рентабельность недропользования. Рекомендуемый подход должен использоваться при всех технико-экономических расчетах и обоснованиях комплексного освоения ресурсов недр, геолого-экономической оценке минерально-сырьевой базы, обоснования параметров кондиций, оконтуривании месторождений и подсчете промышленных запасов отдельных ценных компонентов и комплексного сырья в целом, экономической оценки инвестиционных проектов, выборе рационального и оптимального варианта освоения и использования ресурсов недр, и т.п.

*Цикл работ ИЭП КНЦ РАН по экономике комплексного освоения ресурсов недр и комплексного многопродуктового использования многокомпонентного минерального сырья удостоен премии имени Н.В. Мельникова Российской академии наук за 2019 год [3].*

### **Список литературы**

1. Мельников Н.В. Минерально-сырьевые ресурсы и комплексное их освоение. Избранные труды. М.: Наука, 1987. 300с.
2. Ларичкин Ф.Д. Научные основы оценки экономической эффективности комплексного использования минерального сырья. – Апатиты: КНЦ РАН, 2004. – 252 с.
3. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=d1010cf8-169b-4396-a69d-0c20ea1f92fd#content>.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА В РОССИИ**

**Прокофьева Л.М.<sup>1</sup>, Кузовлева Н.Ф.<sup>2</sup>, Бамба Занга Абубакар<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*МГРИ,*

<sup>2</sup>*Российский технологический университет г. Москва*

Уровень утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ) во многом отражает позицию государства и бизнеса относительно комплексного освоения недр и рационального использования добываемого минерального сырья, а также сохранения окружающей среды и осуществления природоохранной деятельности,

Попутный нефтяной газ (ПНГ) – природный углеводородный газ, растворенный в нефти, а также находящийся в «шапках» нефтяных и газоконденсатных месторождений. Извлеченный из нефти ПНГ представляет собой смесь различных легких и тяжелых углеводородов, со-

единений серы, инертных газов, водяных паров, водорода, азота, а также механических примесей (частиц пыли и грунта). По составу ПНГ богаче природного газа. Помимо метана и этана в нефтяном газе присутствуют пропан, бутан, пентан, гексан, гептан и другие тяжелые углеводороды.

Таким образом от обычного природного газа ПНГ отличается большим разнообразием состава и большей долей содержащихся в нем тяжелых углеводородов. Кроме того, ПНГ нестабилен по своему составу, за время эксплуатации нефтяного месторождения ПНГ способен существенно поменять процентное соотношение входящих в него компонентов. В первую очередь извлекается ПНГ, содержащийся в газовых шапках, а затем газ, растворенный в самой нефти. На 1 т добываемой нефти в зависимости от района добычи и стадии разработки месторождения приходится от 25 до 800 м<sup>3</sup> извлекаемого ПНГ. Таким образом объемы добычи ПНГ зависят от объемов добычи нефти.

Долгое время ПНГ считался побочным продуктом нефтедобычи (вредной примесью) и сжигался в факелах непосредственно на месте добычи. Сжигание ПНГ в факелах сопровождается выбросом парниковых газов (углекислого газа и метана) в атмосферу, загрязняющих веществ (сажи, соединений серы и азота, тяжелых металлов), приводит к термическому разрушению почв вокруг факела в радиусе от 10 до 25 м, исчезновению растительности в радиусе от 50 до 150 м, ухудшению экологической обстановки, росту заболеваемости в районах нефтедобычи [4].

В то же время ПНГ – невозобновляемый ценный природный ресурс, который можно эффективно использовать. С середины XX века нефтедобывающие страны стали активно ограничивать факельное сжигание ПНГ. Тем не менее часть ПНГ все же сжигается. Объем сжигаемого попутного нефтяного газа в мире в 2015 году достиг 147 млрд. м<sup>3</sup> и увеличился по сравнению с 2014 годом на 4,3%. Наиболее значительные объемы сжигания были характерны для основных нефтедобывающих стран (млрд м<sup>3</sup>) – России (22), Ирана (17), Ирака (13), США (12), Венесуэлы (10), Нигерии (7,5), Мексики (5), Казахстана (3), Индонезии (2,5), Омана, Туркменистана, Саудовской Аравии, Китая и Канады (по 2) [4].

Несмотря на то, что объемы сжигания в некоторых странах сравнительно невелики, ситуацию с полезным использованием и сжиганием ПНГ позволяет понять сопоставление стран по показателю интенсивности сжигания (м<sup>3</sup>/баррель), по этому показателю лидируют Узбекистан (47), Камерун (37), Туркменистан (19), далее следуют Алжир (16), Малайзия (15), Венесуэла (10), Индонезия (10), Иран (9), Австралия (8), Россия (5), замыкают список США (2,5), Китай (1), Саудовская Аравия (0,5) [4]. Хотя по интенсивности сжигания ПНГ Россия находится в

конце списка этот показатель у нашей страны все же хуже, чем у США, Китая и Саудовской Аравии, а учитывая значительные объемы добычи нефти и связанного с ней ПНГ, наша страна оказывается на первом месте в мире по объему нерационального использования ПНГ.

Основными способами использования ПНГ являются глубокая переработка в газ, топливо и сырье для химической промышленности на крупных газоперерабатывающих заводах, неглубокая переработка в газ и топливо на мобильных газоперерабатывающих установках (получают сухой отбензиненный газ и пропан-бутановую смесь – топливный газ), генерация электрической и тепловой энергии, закачка обратно в пласт. Производство электроэнергии оказывается оправданным для работы нефтепромыслов, удаленных от источников тепловой и электрической энергии в районах с неразвитой инфраструктурой. Обратная закачка в пласт для повышения внутрипластового давления и увеличения нефтеотдачи лишь на время отодвигает проблему утилизации ПНГ и не всегда приводит к желаемому результату повышения дебита скважин; кроме того, до 40% ПНГ может быть потеряно, так как не весь ПНГ можно будет извлечь при дальнейшей эксплуатации месторождения.

Основная часть (60%) попутного нефтяного газа в России добывается в виде растворенного в нефти газа, запасы которого оцениваются в 2,9 трлн м<sup>3</sup> [5]. Следовательно, добыча ПНГ непосредственно связана с увеличением добычи нефти (в 2015 г. добыча нефти составила 524,3 млн т, ПНГ – 78,6 млрд м<sup>3</sup>, в 2018 г. – соответственно 555,9 млн т и 89,5 млрд м<sup>3</sup>) [1,5].

В нашей стране переработка ПНГ долго не входила в число приоритетных задач и никак не регулировалась законодательно (только с 2001 года добывающие компании стали отражать добычу ПНГ в своих отчетах). Толчком к решению проблемы ПНГ в России явилась ратификация в 2004 году нашей страной Киотского протокола – первого международного соглашения по ограничению выбросов парниковых газов, основанного на рыночных принципах регулирования природопользования.

Проблема сжигания ПНГ была обозначена Президентом России В.В. Путиным в обращении к Федеральному собранию в 2007 году. Постановлением Правительства Российской Федерации от 8 января 2009 г. «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках» был установлен целевой показатель сжигания ПНГ в размере не более 5% от объема добытого попутного нефтяного газа.

В 2013 году вступило в силу Постановление Правительства Российской Федерации «Об особенностях исчисления платы за выбросы загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных уста-

новках и (или) рассеивании попутного нефтяного газа». Документом предусматривается повышение размера платы за сверхнормативные (свыше 5% от добычи) выбросы вредных веществ путем применения повышающих коэффициентов: в 2013 г. – в 12 раз, начиная с 2014 г. – в 25 раз, а с 2020 г. – 100 раз. Если приборы учета отсутствуют, коэффициент составит 120 вне зависимости от объема сжигания. Для стимулирования инвестиций в переработку ПНГ действует вычет из суммы штрафов, позволяя уменьшить коэффициент до единицы.

Внедрение нормативного показателя допустимого сжигания ПНГ, повышение штрафов за сверхнормативное сжигание, а также поэтапное увеличение повышающих коэффициентов мотивировало нефтяные компании системно заниматься проблемой утилизации ПНГ. В результате уровень утилизации ПНГ в России повысился с 76,4% в 2010 г. до 86,8% в 2017 г. В 2018 году утилизировано лишь 85,1% добытого ПНГ, что связано с ростом извлечения ПНГ на месторождениях Западной и Восточной Сибири, удаленных от основной транспортной инфраструктуры и центров газопереработки [1].

По разным оценкам, в проекты эффективного использования ПНГ в 2013-2018 гг. было инвестировано 358-800 млрд руб. [2]. Степень утилизации ПНГ наиболее высока у крупных вертикально интегрированных нефтяных компаний (ВИНК). ПАО «Сургутнефтегаз», ПАО «Татнефть» и ПАО «ЛУКОЙЛ» достигли и даже превзошли необходимый уровень утилизации ПНГ в 95%, у государственных компаний ПАО «Роснефть» и «Газпром нефть», рост добычи не успевает за ростом утилизации, но близок к нормативному [2,4]. Гораздо хуже обстоят дела у независимых нефтяных компаний, у них недостаточно средств для реализации проектов использования ПНГ в качестве негативных факторов выступают также отсутствие специализированной транспортной инфраструктуры и равноправного доступа к ней, а также низкие стимулы экономического характера. Рост полезного использования ПНГ государство обеспечивало в основном административными методами. Для независимых нефтяных компаний бизнес, связанный с утилизацией ПНГ, является убыточным. Одним из механизмов государственной поддержки таких компаний в направлении повышения уровня утилизации ПНГ должно стать развитие государственно-частного партнерства, которое подразумевает в первую очередь софинансирование создания производственной и транспортной инфраструктуры, а также обеспечение государственных гарантий при получении кредитов на развитие инновационных технологий.

Нельзя отрицать и того, что эффективные экономические методы регулирования важны и для крупных компаний. Дискуссионным оста-

ся вопрос налогообложения добычи ПНГ. В настоящее время добыча попутного нефтяного газа не облагается налогом на добычу полезных ископаемых (НДПИ). Министерство финансов РФ предлагает ввести НДПИ с 2023 года, ставку налога предлагается установить в 2023 году в размере 50 руб. за 1 тыс. м<sup>3</sup>, в 2024 году повысить до 100 руб., а в 2025 году – до 150 руб. за 1 м<sup>3</sup> [2]. В отличие от природного газа, который используется в основном в энергетике, ПНГ – важное сырье для химической промышленности (55% добываемого в России ПНГ используется для переработки). Введение налога может привести к удорожанию сырья для химической промышленности и, следовательно, к росту себестоимости готовой продукции высоких переделов и даже отказу от проектов получения товаров с высокой добавленной стоимостью на основе ПНГ.

Минэнерго РФ выступает за повышение уровня полезного использования ПНГ до 97,5%, то есть за введение штрафов за сжигание более 2,5% газа (в 2018 году сумма штрафов за сжигание ПНГ сверх нормы составила 405,6 млн руб., из которых 385 млн руб. поступили в региональные бюджеты) [2].

В связи с повышением эффективности использования жидкого топлива на транспорте и использованием электромобилей развитие транспорта становится основным фактором неопределенности спроса на важнейший ресурс – нефть, в то время как химическая промышленность, бесспорно, фактор роста спроса на нефть и ПНГ. Доля нефтехимической промышленности в структуре российской промышленности в настоящее время составляет лишь 5%, тогда как в США – 25%, КНР – 30%. Суммарная выручка от продажи нефтехимической продукции в мире – 3 трлн долларов [3]. Такие государства как Саудовская Аравия, Иран, Китай делают упор на создание технологических кластеров на основе углеводородного сырья.

В 2020 году из-за непредвиденных событий, связанных с распространением «COVID-19», приведших к спаду производства и усилению конкуренции на сырьевых рынках, цены на нефть на мировом рынке опустились до рекордно низкого уровня с мая 2003 года (27 марта 2020 г. цена майских фьючерсов на нефть Brent на бирже ICE, на площадках которой сосредоточено 50% мировых объемов торгов фьючерсными контрактами на нефть, снизилась до 25,98 долларов за баррель). В связи с этим следует ожидать снижение выручки от экспорта нефти и природного газа, что негативно скажется на российской экономике в целом, а также приведет к уменьшению вклада углеводородного сырья в ВВП России. Однако, это – толчок к тому, чтобы наконец кардинально поменять приоритеты – перейти от наращивания добычи и экспорта углеводородов к их эффективному и рациональному использованию, в частно-

сти к развитию нефте- и газохимии, в том числе к глубокой переработке ПНГ с выпуском высоколиквидных продуктов с высокой добавленной стоимостью (пластмасс, синтетического каучука, растворителей и др.).

### Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». URL: <http://gosdoklad-ecology.ru/2018/pdf/> (дата обращения: 20.03.2020).

2. Минэнерго предложило альтернативу новому налогу для нефтяников. URL: <https://www.rbc.ru/business/21/01/2020/5e256c3a9a79476b4e020006> (дата обращения 27.03.2020).

3. Попутная прибыль. Использование попутного нефтяного газа: мировой опыт. //Сибирская нефть. 2018. № 152. URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2018-june/1715822/> (дата обращения: 26.03.2020).

4. Проблемы и перспективы использования попутного нефтяного газа в России. – URL: <https://docviewer.yandex.ru/view/0/?page=%3D%3D&lang=ru> (дата обращения 25.03.2020).

5. Эдер Л.В, Проворная И.В., Филимонова И.В. Добыча и утилизация попутного нефтяного газа как направление комплексного освоения недр: роль государства и бизнеса. //Бурение и нефть. 2016. № 10. URL: <https://burneft.ru/archive/issues/2016-10/8> (дата обращения 25.03.2020).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕСУРСОВ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА НА ТЕРРИТОРИИ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

**Краденых И.А.**

*ХФИЦ ДВО РАН, г. Хабаровск*

**Актуальность, постановка проблемы.** В техногенных россыпях сосредоточены значительные запасы золота, которые по основным золотодобывающим регионам составляют от нескольких сотен тонн как, например, в Забайкальском, Красноярском, Хабаровском, Приморском краях, Амурской и Иркутской областях, и порядка тысячи тонн в Магаданской области [1]. На современном этапе, освоение столь крупного минерального потенциала могло бы стать самостоятельным направлением в горнодобывающей отрасли. Однако для массового вовлечения техногенных ресурсов в хозяйственный оборот требуются их инвестиционная оценка, исследование и создание новых технологий, адаптированных к решению существующих задач [2, 3].

В основу исследования положены горно-геологические данные о техногенных месторождениях, представляющих собой россыпной узел, территориально расположенный в Бекчи-Ульском районе центральной части Хабаровского края. Данный узел состоит из нескольких объектов и условно разделен на месторождения малого масштаба – с объемом переработанной ранее горной массы менее 2000 тыс. м<sup>3</sup>, и среднего масштаба – более 2000 тыс. м<sup>3</sup> (таблица 1).

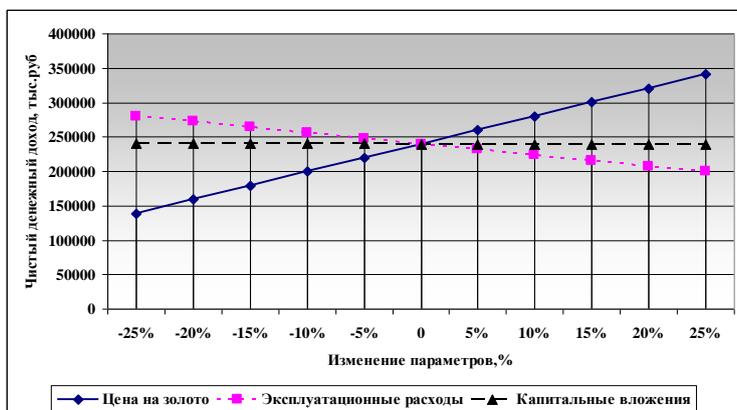
**Таблица 1**

**Расчетные и вероятные ресурсы техногенного узла  
Бекчи-Ульский**

Объекты Бекчи-Ульскому узла	Среднее содержание на массу, г/ м <sup>3</sup>	Переработано горной массы, тыс. м <sup>3</sup>	Объем горной массы, тыс. м <sup>3</sup>	Ресурсы техногенной россыпи, кг
Удачный	0,2	–	338,64	149
Заманчивый	0,29	1191	360,42	173
<b>Итого мало-масштабные объекты</b>	–	–	<b>699,05</b>	<b>322</b>
С. Ул	0,23	5338	1497,56	614
Кулибина	0,29	5053	1495,92	733
Бекчи	0,26	5862	2177,14	762
Петропавловский	0,41	–	1925,1	847
<b>Итого средне-масштабные объекты</b>	–	–	<b>7095,62</b>	<b>2956</b>
Всего	–	17444	7794,68	3278

На первом этапе были проведены исследования, определяющие экономическую эффективность и целесообразность освоения данного техногенного золотороссыпного узла. На основе исходных данных были сделаны расчеты, позволяющие определить уровень влияния отдельных факторов на изменение критерия эффективности – чистого денежного дохода (рисунок 1).

В качестве основных влияющих факторов были выбраны следующие: цена на золото; величина эксплуатационных расходов; размер капитальных затрат. В результате моделирования установлены зависимости между факторными и результативными показателями. Следует отметить, что модель показывает достаточную устойчивость к изменениям влияющих факторов, что говорит об экономической целесообразности вовлечения техногенных россыпных участков в повторную обработку [4].



**Рис. 1. Влияние факторов на эффективность освоения техногенного узла Бекчиульский**

Следующий этап исследований направлен на определение инвестиционной привлекательности изучаемых техногенных объектов. Были сделаны экономические расчеты для двух технологических вариантов отработки: вариант 1 – открытый способ с бульдозерно-гидравлической технологией; вариант 2 – подводный (с дражной технологией). В таблице 2 представлены результаты относительно основных показателей инвестиционной привлекательности изучаемых объектов недр.

В качестве наиболее важного показателя эффективности проектов с точки зрения стоимостной оценки месторождений и участков недр был выбран чистый дисконтированный доход NPV. Как показали расчеты, NPV для обоих вариантов является положительной величиной. При этом NPV для варианта 2 почти в 1,6 раза превышает величину варианта 1. Согласно полученным данным, при бульдозерно-гидравлической технологии показатель IRR (внутренняя норма рентабельности) выше более чем на 40 % дражного варианта 2, что связано со значительными капитальными вложениями варианта 2. Следует отметить, что даже при увеличении ставки дисконтирования до 25 % как бульдозерно-гидравлическая, так и дражная технология добычи обеспечивает предприятию достаточную внутреннюю норму дохода, которая в свою очередь позволит сделать возврат кредитных средств и выплату процентов по займу, в случае финансирования у банков [5]. Это говорит о прибыльности обоих вариантов в случае сохранения внешних экономических факторов, например, цен на золото и уровня расходов на поддержание текущей деятельности золотодобывающих предприятий.

Таблица 2

**Показатели инвестиционной привлекательности освоения техногенных месторождений золота**

Способ отработки	NPV (тыс. руб.)	IRR (%)	PI (%)	PP (лет)
	<i>Ставка дисконтирования 15%</i>			
<b>I вариант</b>	3264735,4	50,7	6,9	0,5
<b>II вариант</b>	5144766,5	31,59	8,45	2,6
<i>Ставка дисконтирования 20%</i>				
<b>I вариант</b>	2841034,2	48,8	3,25	0,6
<b>II вариант</b>	4315271,3	30,95	6,1	2,8
<i>Ставка дисконтирования 25%</i>				
<b>I вариант</b>	2486831,1	47,1	2,93	1,19
<b>II вариант</b>	3667345,1	30,89	5,4	0,7

**Выводы.** Систематизация знаний о техногенных образованиях направлена, прежде всего, на повышение эффективности использования ресурсов из недр Земли. Проведенное исследование способствует формированию механизма оценки экономической эффективности и инвестиционной привлекательности техногенных месторождений россыпного золота, что в свою очередь позволяет создать основу для практических рекомендаций недропользователям при освоении рассматриваемых объектов в золотодобывающих районах Хабаровского края.

### Список литературы

1. Литвинцев В.С., Алексеев В.С., Краденых И.А., Усиков В.И. Ресурсный потенциал техногенных золотороссыпных месторождений и стратегия их масштабного освоения // Маркшейдерия и недропользование. – 2017. – № 5(91). – С. 21-29.
2. Литвинцев В.С., Серый Р.С., Банщикова Т.С., Сас П.П. Проблемы оценки и освоения техногенных образований золотосодержащих россыпей Приамурья // ФТПРПИ. – 2016. – № 2. – С. 72–79.
3. Архипова Ю.А., Краденых И.А. Вариант повышения эффективности функционирования горнодобывающих предприятий в современных условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 54. – С. 442-452.
4. Litvintsev V.S., Alekseev V.S., Kradenykh I.A. The technology of development of residue objects of precious metals placer deposits // Problems of Complex Development of Georesources electronic resource. «E3S Web of Conferences» – 2018. – С. 01005.
5. Краденых И.А., Литвинцев В.С. Перспективы развития среднего и малого бизнеса в золотодобывающей отрасли // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2016. – № 7. – С. 34-41.

# КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ДФО В ЦЕЛЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ

Архипова Ю.А.

*ХФИЦ ДВО РАН, г. Хабаровск*

Горнодобывающей отрасли принадлежит значительная роль в социально-экономическом развитии регионов ДФО. Важнейшие макроэкономические данные субъектов: доля отрасли добыча полезных ископаемых (ДПИ) в ВРП, инвестиции в основной капитал по ДПИ, доходы и расходы бюджета и другие показатели подтверждают это [1].

В 2018 г. ДФО году занял 7 место по объему налоговых поступлений Российской Федерации [2]. Общая сумма налоговых поступлений по всем уровням бюджета составила порядка 854 млрд руб., или 4 % совокупных налоговых поступлений РФ. Основную долю в бюджет вносят два крупных налога: на прибыль и доходы физических лиц. Около половины налоговых отчислений ДФО (48 %) обеспечиваются за счет добычи полезных ископаемых.

Основными проблемами в отрасли ДПИ являются инфраструктурное обеспечение и высокие затраты на реализацию ресурсных проектов в регионах ввиду удаленности и суровых климатических условий.

Вопросы, связанные с воспроизводством и освоением минерально-сырьевой базы дальневосточного региона, в значительной мере имеют различные экономические ограничения. Необходимо развитие внутрирегионального использования сырья от его добычи до производства конечной продукции при расширении транспортной доступности. Очень большое количество перспективных горных проектов не реализуются в связи с расположением месторождений в труднодоступных районах. Значительная часть территории не обеспечена дорогами. Целесообразно для решения проблемы использование частно-государственного партнерства. Процент бюджетных средств в проектах, имеющих особое значение для регионов низок и не достигает 20 %, за исключением нефтегазовых [3].

Для повышения инвестиционной привлекательности субъектов ДФО на федеральном уровне принимается ряд мер, способствующих привлечению инвесторов и сглаживанию объективных удорожающих факторов. Примером является льготный режим территории опережающего социально-экономического развития (ТОР). Созданные налогово-правовые механизмы позволяют работать с минимальной налоговой нагрузкой на бизнес в период выхода проекта на прибыль и в течение последующих 5–10 лет (в зависимости от механизма). Это дает возможность значительно сократить сроки реализации и окупаемости проекта.

В федеральной программе «Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года» говорится о повышении эффективности освоения известных, в том числе неразрабатываемых, месторождений путем внедрения современных технологий переработки, обогащения и комплексного извлечения полезных ископаемых. Критерием эффективности комплексного освоения недр является достижение оптимальных для развития народного хозяйства страны показателей полноты использования ресурсов недр и участвующих в процессе их освоения трудовых и материальных ресурсов.

В качестве примера возможного комплексного освоения с целью экономической оценки было выбрано золоторудное месторождение Дяппе (Хабаровский край, Ульчский район). Расчеты выполнялись для 3 вариантов: 1) извлечение только золота, 2) извлечение золота и сурьмы (комплексный), 3) вариант комплексный (Au+Sb) на условиях TOP. Результаты расчетов представлены в таблице.

Таблица

**Сравнительная эффективность освоения месторождения Дяппе**

Показатель	Ед. изм.	Варианты			
		1	2	3	
Эксплуатационные запасы:	Au	кг	7064	7064	7064
	Sb	т	-	29475	29475
Извлечение:	Окисленная руда Au	%	93,2	93,2	93,2
	Сульфидная руда Au	%	86,2	86,2	86,2
	Сурьмяная руда	%	-	70	70
Товарная продукция	Au	кг	6318	6318	6318
	Sb	т	-	20633	20633
Цена:	Au	руб./г	2920	2920	2920
	Sb	руб./т	-	120000	120000
Стоимость товар. продукции, всего:	млн руб.		18448,5	20924,5	20924,5
	Au	млн руб.	18448,5	18448,5	18448,5
	Sb	млн руб.	-	2475,9	2475,9
Инвестиционные расходы		млн руб.	2503,4	3379,5	3379,5
Производственная себестоимость		млн руб.	10430	16202,7	16095
Чистая прибыль		млн руб.	5243,1	2461,4	3435,4
Чистый дисконт. доход (NPV (10%))		млн руб.	2202,4	355,4	1032,2
Внутренняя норма дохода (IRR)		%	29,7	12,3	15,2
Индекс доходности (PI)		год	1,97	1,1	1,3
<b>Бюджетная эффективность</b>					
НПТИ		млн руб.	1096,5	1094	948,2
Налог на имущество		млн руб.	193,3	133,2	6,05
Налог на прибыль		млн руб.	1310,8	710,2	291,49
Прочие налоги и отчисления		млн руб.	10,30	10,42	10,42
Единые социальные платежи		млн руб.	318,2	320,2	320,34
Налог на доходы физических лиц		млн руб.	122,8	123,5	123,57
Итого		млн руб.	3051,8	2391,6	1700,06

Результаты расчетов показывают наиболее выигрышным по показателям NPV, IRR и PI первый вариант. На показателях второго варианта сказываются увеличенные капитальные и эксплуатационные затраты, которые потребуются для строительства дополнительных объектов, внедрения технологического оборудования, увеличения штата работников и многое другое. Вариант 3 по сравнению со вторым является более предпочтительным для недропользователя. Расчеты показали, что проект становится убыточным в случае увеличения ставки риска более чем на 25%.

В данном случае, применялись налоговые льготы на условиях TOP. Так, сравнивая эти два варианта, NPV составляет 1032,2 млн руб. против 355,5 млн руб. во втором варианте, IRR 15,2% против 12,3, а PI – 1,3 года против 1,1. По бюджетной эффективности: экономия средств предприятия между третьим и вторым вариантом составляет 691,54 млн руб. в пользу предприятия. Доход государства составляет 1,7 млрд руб., часть его поступает в региональный бюджет.

Таким образом, если речь идет о наибольших поступлениях средств в бюджет государства, то первый вариант беспроигрышный. Но учитывая поставленные задачи в «Стратегии развития МСБ.....», а именно комплексное извлечение ценных компонентов из руд месторождений, а также о развитии и поддержке малого и среднего предпринимательства – необходимо реализовывать третий вариант.

Приведенные расчеты комплексного освоения месторождения являются примером того, насколько значительны инвестиционные затраты для недропользователя. Средства необходимы на: подготовку территории строительства, горнокапитальные работы, создание перерабатывающего комплекса, закупку горного оборудования, строительство объектов подсобного и обслуживающего назначения, наружных сетей и сооружения водо- и теплоснабжения, объектов энергетического хозяйства, транспорта, связи и т.д. А значительную долю в капитальных вложениях занимает инфраструктурное обеспечение (в т.ч. строение дорог).

### Список литературы

1. Архипов Г. И. Минеральные ресурсы горнорудной промышленности Дальнего Востока. Стратегическая оценка возможностей освоения. – Хабаровск: Институт горного дела ДВО РАН, 2017. – 820 с.

2. <https://www.gks.ru/>

3. Архипова Ю.А. Добыча полезных ископаемых в субъектах Дальневосточного федерального округа как фактор повышения уровня их социально-экономического развития. Региональные проблемы развития Дальнего Востока России и Арктики: тезисы докладов I Национальной (Всерос-

сийской) научно-практической конференции «Моисеевские чтения», посвященной памяти камчатского ученого Р.С. Моисеева. – Петропавловск-Камчатский: изд-во «Камчатпресс». – 2019. С. 16-19.

## ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЦ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ КОМПОНЕНТОВ ГОРНОЙ МАССЫ КАРЬЕРА ПРИ ОТРАБОТКЕ ШТОКВЕРКОВ ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ РУДЫ

Агабалян А.Ю.

*ООО «Геосервис», г.Ереван, Республика Армения*

**Введение.** Горная масса, удаляемая из конечных контуров карьера по экономической значимости, делится на балансовые руды (положительная экономическая значимость), забалансовые руды (потенциальная экономическая значимость) и вскрышные породы (отрицательная экономическая значимость).

Обоснованное разграничение отмеченных составляющих частей горной массы в контурах карьера имеет большое экономическое значение.

**Постановка задачи и методы исследования.** Методами математической статистики и высшей математики дано обоснование корреляционной зависимости функции приближения содержания в хвостах обогащения  $\theta$  от содержания металла  $\alpha$  в исходной руде в определенном доверительном интервале [1]:

$$\theta = a\alpha + b, \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  – численные коэффициенты.

Подставив значение  $\theta$  из уравнения (1) в известную формулу выхода концентрата, получим

$$\gamma = \frac{\alpha(1 - a) - b}{\beta - a\alpha - b}. \quad (2)$$

Из полученного уравнения (2) при  $\gamma=0$ , можно получить формулу определения неизвлекаемого содержания  $\alpha_n$ , которое полностью переходит в хвосты обогащения. В этом случае неизвлекаемое содержание  $\alpha_n$  выражает значение отвального содержания  $\theta_0$  в хвостах обогащения [2]

$$\alpha_n = \theta_0 = \frac{b}{1 - a}. \quad (3)$$

Определение минимального промышленного содержания основано на равенстве полученного его стоимостного выражения  $D_{min}$  с извлекаемой ценностью приростного объема  $\Delta I_{ц}$ :

$$D_{min} = \Delta I_{ц} \cdot \quad (4)$$

С учетом формул извлекаемой ценности и уравнения (1), формула натурального значения минимального промышленного содержания будет иметь следующий вид:

$$\alpha_{min} = \frac{D_{min}(\beta - b) + bЦ_{к}}{(Ц_{к}(1 - a) + D_{min}a)K_{к}}, \quad (5)$$

где  $K_{к}$  – коэффициент изменения качества руды при добыче, доли ед. (при определении бортового содержания  $K_{к}=1$ ).

Ожидаемый срок перевода забалансовых запасов в балансовые можно определить из следующего уравнения:

$$I_{ц}\rho_{ц}^{\tau} = 3_{пр}\rho_{з}^{\tau}, \quad (6)$$

где  $I_{ц}$  – извлекаемая ценность руды, у.е./т;  $3_{пр}$  – приведенные затраты, у.е./т;  $\rho_{ц}$  и  $\rho_{з}$  – прогнозируемые показатели годового изменения цен на металлы и удельных затрат на добычу и переработку 1 т руды, соответственно, доли ед.;  $\tau$  – ожидаемый срок перевода забалансовой руды в балансовую, лет.

Для получения числовых значений параметров определения ожидаемого срока, проведен анализ тенденции роста мировых цен на основные металлы за период в 77 лет – с 1940 по 2017 г.г. Выявлена линия экономического тренда и получена ее аналитическая зависимость.

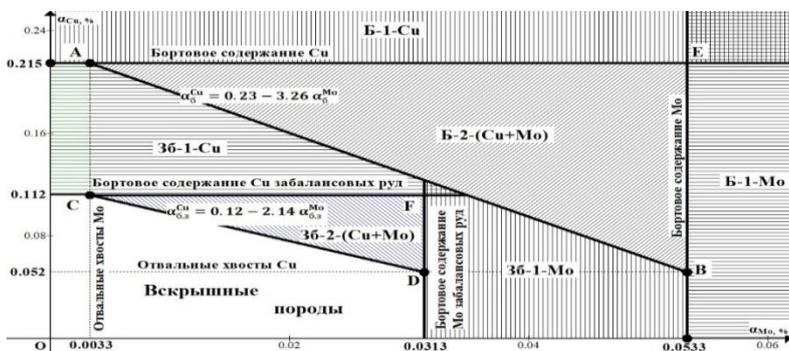
Предложенный принцип основан на определении среднего содержания  $\alpha_{ср.з}$  в забалансовых запасах на основе ожидаемого срока их перевода в балансовые

$$\alpha_{ср.з} = \frac{100 3_{пр.з}}{Ц_{м}K_{к}\epsilon_{з}} \left( \frac{\rho_{з}}{\rho_{ц}} \right)^{\tau}. \quad (7)$$

где  $3_{пр.з}$  – приведенные затраты на погрузку, транспортировку и переработку бедной руды с временного склада, у.е./т;  $Ц_{м}$  – цена металла в концентрате, у.е./т;  $\epsilon_{з}$  – извлечение металла в концентрат из бедной руды, %.

**Результаты исследования.** Разработан графоаналитический метод определения границ областей экономической значимости элементов горной массы карьера при двухкомпонентной руде. Метод проиллюстрирован на примере оценки медно-молибденового месторождения, где

полученные аналитические зависимости границ областей экономической значимости компонентов горной массы карьера изображены на едином графике (рис.1).



**Рис. 1. Карта границ областей экономической значимости компонентов горной массы карьера**

**Выводы.** В первую очередь определены ключевые, для разграничения компонентов горной массы, содержания медно-молибденовой руды.

По формуле (5) определены бортовые содержания ( $K_k=1$ ) меди (0.215%) и молибдена (0.0533%) балансовых запасов руды.

По формуле (7) определены требуемые средние содержания меди и молибдена в забалансовых рудах, с максимальным ожидаемым сроком ( $\tau=50$  лет) их перевода в балансовые запасы. На основе полученных верхних пределов (бортовые содержания балансовых запасов) и требуемых средних содержаний ценных компонентов в забалансовой руде, методом вариантов определены нижние пределы (бортовые содержания забалансовых запасов руды) содержаний меди (0.112%) и молибдена (0.0321%).

По формуле (3) определены неизвлекаемые содержания (отвальные хвосты) меди (0.052%) и молибдена (0.0033%) в перерабатываемой руде.

На основе полученных содержаний выделена область с доказанной положительной экономической значимостью, которая состоит из участков с балансовыми запасами по извлекаемой ценности одного компонента руды (Б-1-Сu, Б-1-Мо) и по сумме извлекаемых ценностей обоих компонентов руды – Б-2-(Cu+Mo).

Далее, выделена область с потенциальной экономической значимостью. В ней аналогично выделены участки с забалансовыми

запасами по извлекаемой ценности одного компонента руды (Зб-1-Cu, Зб-1-Mo) и забалансовыми запасами по сумме извлекаемых ценностей обоих компонентов руды – Зб-2-(Cu+Mo). Также выделена область с отрицательной экономической значимостью – вскрышными породами.

В точках А и С извлекаемые ценности балансовой и забалансовой руды обеспечиваются только соответствующими бортовыми содержаниями по меди, так как извлекаемая ценность по молибдену с неизвлекаемыми содержаниями равна нулю. Аналогично, в точках В и D извлекаемая ценность руды по меди равна нулю.

Отрезок АВ представляет собой совокупность точек с координатами соответствующих содержаний металлов, обеспечивающих суммарную извлекаемую ценность балансовой руды, равную стоимостному выражению бортового содержания.

Отрезок CD полностью аналогичен отрезку АВ, но отражает границу двухкомпонентных забалансовых руд и вскрышных пород.

### **Список литературы**

1. Агабян Ю.А. Общая теория оптимального освоения недр (твердые полезные ископаемые). – Saarbrucken, Германия: Palmarium Academic Publishing, 2015. – С. 288.

2. Агабян А.Ю. Техничко-экономическое обоснование полноты извлечения металлов в концентрат/ Вестник Национального Политехнического Университета Армении – Металлургия, Материаловедение, Недропользование – 2016 – №2 – С. 97-108.

## **ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Цукерман В.А., Горячевская Е.С.**

*ИЭП КНЦ РАН, г. Анапаты*

Рассмотрены экономические проблемы, связанные с освоением и обработкой минерального сырья Арктической зоны Российской Федерации (Арктики), обусловленные различными факторами, основные из которых:

- суровые природно-климатические условия;
- повышенные затраты на производство продукции и жизнеобеспечение населения;
- ограниченные финансовые ресурсы;
- состояние основных фондов и степень износа технологического оборудования предприятий;
- недостаточная эффективность государственного регулирования научно-технологической деятельности;

- ненадлежащая ориентированность образовательной системы на требования предприятий;
- сложившиеся исторически хозяйственные связи;
- демографическая структура.

По оценкам зарубежных специалистов использование научно-технологических достижений на 50-60 % определяет возможности экономического роста разных стран [1]. Инструментарий социально-экономической политики в развитых странах многообразен и основан на:

- законодательных мерах стимулирования капиталовложений в инновационные технологии;
- дотациях и субсидиях государственным и частным предприятиям из средств бюджета и внебюджетных фондов;
- эффективной налоговой и амортизационной политике;
- кредитах, субсидируемых государством или получаемых под низкий процент;
- развитии систем распространения научно-технической информации.

Устойчивый экономический рост и эффективность освоения минерального сырья связаны, прежде всего, с научно-технологической политикой государства. При этом, для повышения эффективности экономики необходима разработка новых подходов методов, способов и технологий системы управления горными предприятиями с использованием основных факторов, влияющих на инновационное развитие [2].

Региональная составляющая государственной научно-технологической политики в настоящее время приобретает большое значение во многих странах. Для арктических регионов такая система объективно обусловлена экономическими проблемами функционирования горных предприятий.

Следует отметить, что добыча и освоение месторождений полезных ископаемых являются высокотехнологичными процессами, которые стимулируют отраслевые инновационные проекты, способствуют их реализации и повышению конкурентоспособности. Арктические предприятия минерально-сырьевой направленности являются потребителями экономически эффективных технологий комплексной переработки руд. В этой связи, «сырьевая» направленность арктической промышленности и их инновационное развитие в полной мере коррелируются со стратегией перехода экономики России на научно-технологический путь развития [3-7].

Авторами проведены исследования экономических проблем освоения минерального сырья на основе оценки финансовых возможностей реализации инновационных проектов двенадцати промышленных арктических предприятий, по которым имеется официальная бухгалтерская

отчетность за 2014-2019 г.г., с использованием методики О.М. Мельничук [8]. Исследования проводились по трем условиям: финансовые коэффициенты, стабильность прибыли, значение чистого оборотного капитала [9, 10].

Анализ финансовых показателей показывает, что только два предприятия (ОАО «Шахта угольная» и ОАО «Сусуманзолото») имеют стабильное финансовое положение. Только два предприятия (ПАО «АЛРОСА-Нюрба» и ПАО «Сибнефтегаз») получают стабильную прибыль в анализируемый период.

Практически все арктические предприятия, кроме ПАО «Сибнефтегаз» и ПАО «Селигдар», имеют положительное сальдо чистого оборотного капитала, что является необходимым условием генерирования денежных средств для развития.

Результаты проведенных исследований экономических проблем освоения минерального сырья 12 промышленных предприятий показывают, что за 2014-2019 г.г. ни одно не удовлетворяет всем трем условиям и соответственно не имеет необходимых финансовых возможностей для разработки и реализации инновационных проектов в средне- и долгосрочной перспективе.

### Список литературы

1. Волостнов Б.И., Кузьмицкий А.А., Поляков В.В. Современная научно-техническая и инновационная политика: структура, приоритеты, характеристики // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2011. № 2. С. 3-37 [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16548319> (дата обращения: 16.04.2017)

2. Komkov N.I., Tsukerman V.A., Goryachevskaya E.S. Analysis of the Main Factors of Innovative Development of the Arctic Regions of Russia // Studies on Russian Economic Development. – 2019. – Vol. 30. – No. 1. – Pp. 22–27. DOI: 10.1134/S107570071901009X

3. Tsukerman V., Kozlov A., Goryachevskaya E., Teslya A. The impact of innovative transformation of industry on the socio-economic development of the Russian Arctic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 302. Issue 1, 012108. 2019 (4th International Scientific Conference on Arctic: History and Modernity; Saint Petersburg; Russian Federation; 17-18 April 2019). DOI: 10.1088/1755-1315/302/1/012108

4. Kozlov A., Kankovskaya A., Teslya A., Zharov V. Comparative study of socio-economic barriers to development of digital competences during formation of human capital in Russian Arctic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 302. Issue 1, 012125. 2019 (4th International Scientific Conference on Arctic: History and Modernity; Saint Petersburg; Russian Federation; 17-18 April 2019). DOI: 10.1088/1755-1315/302/1/012125.

5. Цукерман В.А., Горячевская Е.С. Инновационное промышленное развитие как основа экономического роста северных регионов // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера – 2014: Материалы Четвертого Всероссийского научного семинара (24-26 сентября 2014 г., Сыктывкар): в 2 ч. – Сыктывкар: ООО «Коми республиканская типография», 2014. – Ч. II. – С. 274-280

6. Цукерман В.А. Состояние, проблемы и перспективы инновационного развития минерально-сырьевого комплекса Севера и Арктики России // Записки Горного института. – 2011. – Т. 191. – С. 212-217

7. Цукерман В.А., Горячевская Е.С. Оценка финансово-экономической и инновационной деятельности промышленных предприятий Арктики минерально-сырьевой направленности // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2015. № 4 (47). С. 71-86

8. Мельничук О.В. Инвестиционная привлекательность металлургической компании: методика оценки // Российское предпринимательство. – 2012. – № 1 (199). – С. 128-134

9. Цукерман В.А., Горячевская Е.С. Финансовое обеспечение инновационного развития промышленных предприятий Арктики // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики: материалы XXIV Международной научно-практической конференции, Алушта, 16-20.09. 2019 г. / Научно-технический союз Крыма. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2019. – С. 112-118

10. Tsukerman V.A., Goryachevskaya E.S., Ivanova L.V. On Innovation Activities of Industrial Companies of the North and the Arctic under the Conditions of Resource Restrictions // Proceedings of the 2017 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (September, 24-30, 2017). – St. Petersburg. Publ. Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», 2017. – Pp. 593-597. DOI: 10.1109/ITMQIS.2017.8085893.

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ГЕОМОНИТОРИНГА**

**Прокофьева Е.Н.<sup>1</sup>, Востриков А.В.<sup>1</sup>, Некрасов Г.А.<sup>1</sup>,  
Поливода Д.Э.<sup>1</sup>, Редин Д.Е.<sup>1</sup>, Гончаренко С.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>. НИУ ВШЭ,

<sup>2</sup>НИТУ «МИСИС», г. Москва

Совершенствование методических основ проектирования горнотехнических систем комплексного освоения недр направлено на формирование инновационных энерго и ресурсосберегающих геотехнологий, обеспечивающих требуемую интенсивность и безопасность работ, в том числе на основе раннего обнаружения предпосылок негативных явлений

и рисков. Здесь, например, активно развивается комплексный подход к обработке данных дистанционного зондирования, при котором предполагается совместное использование результатов измерений, полученных при помощи различных технологий, производящих спутниковую съемку как в оптическом, так и радиолокационном диапазонах.

Широкое применение спутниковых радиолокационных данных началось в 1991 году с запуском спутника ERS-1 (Европейское космическое агентство) с радиолокатором на борту. Первоначальная цель запуска этого первого гражданского спутникового радиолокатора среднего пространственного разрешения (20 м) определялась довольно узко и ограничивалась морскими приложениями (мониторинг ледовой обстановки, айсбергов, судоходства, течений, нефтяных пятен и т.д.). Однако, уже после прохождения спутником нескольких полных циклов повторения орбиты выяснилось, что кроме морских приложений у этого радиолокатора имеется большой потенциал и для выполнения различных задач на суше. Использование космических снимков в сопряжении с наземными наблюдениями за состоянием природно-территориальных комплексов открывает новые возможности для экологических исследований, позволяя проводить мониторинг окружающей природной среды с выявлением ее изменений во времени, определять характер распространения загрязнений под влиянием промышленных объектов на обширных территориях и сопоставлять находящиеся в различной экологической ситуации объекты между собой [1-5]. Объединение технологий позволяет достичь выигрыша по сравнению с раздельной обработкой за счет расширения объема получаемой информации и возможностей получения данных.

Дистанционное зондирование приобретает все большее значение и применение в горнодобывающей промышленности и экологических исследованиях благодаря широкому спектру быстро развивающихся технологий и методов, которые генерируют большие данные за меньшее время. Фотограмметрия, СНС, радар и набор бортовых датчиков сканирования и мониторинга выступают ключевыми системами, методами и инструментами. Мини-, нано и микроспутники относятся к числу современных систем наблюдения Земли, которые привлекают все больший интерес в мировом исследовательском сообществе, нацеленном на получение точных пространственных данных для поддержки интегрированных геопространственных процессов и устойчивых решений [6-8].

Достижения в области алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения повышают возможности для изучения сложных данных о добыче полезных ископаемых и окружающей среде и моделирования сценариев для определения оптимальных вариантов.

Традиционные геодезические и картографические методы слишком ограничены в пространственном масштабе и временном разрешении, чтобы соответствовать быстрым пространственно-временным изменениям в связи между добычей полезных ископаемых, окружающей средой и обществом. Поэтому необходимы новые подходы и исследовательские инновации, которые могут обеспечить высокое пространственное и временное разрешение для геовизуализации и геомониторинга. Для эффективного и комплексного мониторинга условий добычи полезных ископаемых рекомендуются новые методы, которые должны сочетать гибридные данные из нескольких источников, которые в основном получены с помощью методов наземной съемки и дистанционного зондирования. По мере роста глобального спроса на полезные ископаемые возрастают и глобальные экологические проблемы, и риски, связанные с небезопасной и нерегулируемой добычей полезных ископаемых. Последние тенденции свидетельствуют о быстром росте потребления полезных ископаемых и металлов с ростом индустриализации. Это нашло отражение в значительном увеличении на 162% производства железа и ферросплавных металлов в период с 2000 по 2016 год (Reichl, Schatz & Zsak, 2018).

Развитие использования и технологий обработки и анализа данных космоснимков определяется рядом преимуществ: высокая скорость получения данных после съёмки (не более суток), обеспечение периодичности съёмки за счёт множественной группировки, большое пространственное покрытие, контроль множества объектов на основе объективных и многогранных данных, масштаб съёмки [9,10].

Отрасли добычи полезных ископаемых, для которых необходимы данные спутниковых навигационных систем и космоснимки с учётом специфики технологического процесса и инфраструктуры: угольные шахты, карьеры по добыче руд цветных металлов, золота, алмазов и др., добыча и транспортировка нефтегазовых ресурсов, лесозаготовка и тд. Структурная обработка больших данных и построение динамических моделей обеспечивает сокращение производственных затрат на построение и совершенствование геотехнологий, рост промышленной безопасности объектов горной инфраструктуры, геоэкологический контроль за состоянием окружающей среды, выявление вызванных антропогенными и природными изменениями ландшафтов.

Использование спутниковых снимков для мониторинга окружающей среды позволяет добиться полного разового охвата всей территории производственного объекта, а дистанционные методы позволяют проводить экологическую оценку не только в пределах отдельных пунктов наблюдения, но и на любом выбранном участке. Современные цифровые модели рельефа успешно используются для мониторинга земле-

пользования, расчета объема отвальных пород и развития эрозионных процессов в мелиорированных карьерах и отвалах, кроме того, перспективы имеет идея интеграции принципов, обеспечивавших экологическую чистоту функционирования биологических систем, и создание на их основе экотехнологий горного производства.

#### *Благодарности*

Публикация подготовлена в ходе проведения исследования (№ 20-04-033 проекта) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2020 – 2021 гг. и в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации «5-100».

#### **Список литературы**

1. Prokofyeva E. N., Vostrikov A. V., Gribanov I., Гончаренко С. Н. Analytical modeling for the modern mining industry // Eurasian Mining. 2019. No. 2. P. 30-35. doi

2. Prokofyeva E. N., Vostrikov A. V., Starykh V. Integrated information system for the assessment of quality and organizational sustainability of the mining industry, in: 2019 International Science and Technology Conference «EastConf» (March, 1-2 2019). IEEE, 2019. P. 1-4.

3. Prokofeva E. N., Vostrikov A. V., Fernandez E., Borisov N. Navigation satellite systems as the audit foundation for mining companies // Eurasian Mining. 2017. No. 1. P. 30-32.

4. Prokofeva E. N., Vostrikov A. V., Shapovalenko G. N., Alvarez A. The development of effective geomonitoring for mining area with industrial review // Eurasian Mining. 2017. No. 2. P. 61-63.

5. Trubetskoy, K.N., Galchenko, Y., Eremenko, V.A. Fundamentals of converging mining technologies in integrated development of mineral resources of lithosphere 2018 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 134(1), 012064

6. Гончаренко С.Н., Ле Бинь Зьонг, Петров И. В., Стоянова И. А. Моделирование параметров инновационных водоохраных мероприятий на основе производственно-технологических показателей добычи угля на предприятиях Вьетнама / Горный журнал, №9, 2014г. с. 143-146

7. Rylnikova, M., Ainbinder, I., Radchenko, D. Role of Safety Justification of Mining Development for the Regulatory Framework Formation and Mineral Resources Man-agement 2018 E3S Web of Conferences 41,01033

8. Темкин И. О., Клебанов Д. А., Дерябин С. А., Конов И. С. Построение интеллектуальной геоинформационной системы горного предприятия с использованием методов прогнозной аналитики // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3. – С. 114–125.

9. Стратегия развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014 – 2020 годы и на перспективу до 2025 года; URL:

<http://government.ru/docs/8024/> (Распоряжение Правительства РФ от 01.11.2013 N 2036-р (ред. от 18.10.2018) дата обращения: 27.03.2019).

10. Ералин Ж.М., Гончаренко С.Н. Разработка моделей решения ключевых проблем стратегического развития уранодобывающего предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 4. – С. 199–208. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04- 0-199-208.

## **ИНСТРУМЕНТЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ МИНЕАЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ В СУБЪЕКТАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Крюков В.Г.**

*ИГД ДВО РАН, г. Хабаровск*

Система государственного управления ресурсными фондами и предприятиями характеризуется функционированием нескольких блоков: исполнительная и представительная власть; судебные органы; координирующие структуры; органы общего и специального контроля. Общими инструментами управления для них являются законы и подзаконные акты, правила и инструкции, программы и стратегии, общественные и сопутствующие институты. Несмотря на значительный опыт функционирования в рыночных условиях и разработанную нормативно-правовую базу деятельность властных структур не всегда успешна.

Цель исследования заключается в анализе действующих инструментов государственного управления и их совершенствовании.

Практика использования инструментов порождает определенные проблемы. Из достаточно обширного их списка наибольшую актуальность имеют 3 группы. В первую включаются правовой нигилизм и лицензирование – как проявление некомпетентности или преднамеренного игнорирования законодательных норм. К второй группе относятся вопросы восполнения минерально-сырьевой базы и комплексности использования сырья, недостаточно эффективно решаемые или игнорируемые в силу отсутствия региональных программ или стратегий развития минерального комплекса. Третью группу представляют вопросы привлечения к управлению недрами общественных институтов, а также представителей мелкого и среднего бизнеса.

**Правовой нигилизм:** Достаточно указать наиболее актуальные нарушения законодательными органами власти и правительством РФ Конституции РФ:

- ст. 9, п.1 «Земля и другие природные ресурсы используются и охраняются в Российской Федерации как основа жизни и деятельности народов, проживающих на соответствующей террито-

рии». Добытое на территории сырье, как правило, обеспечивает потребности только владельцев и руководства компаний.

- ст. 72, п. 1 «В совместном ведении Российской Федерации и субъектов Российской Федерации находятся: в) вопросы владения, пользования и распоряжения землей, недрами, водными и другими природными ресурсами». В реальности субъектам оставлено право владения, пользования и распоряжения только общераспространенными полезными ископаемыми.

Нормы ряда федеральных законов противоречат друг другу. Например, в нормах пользования отходами горного производства, техногенными месторождениями, ФЗ «О недрах» и ФЗ «Об отходах производства и потребления» существуют принципиальные различия. Закон «О недрах» устарел и не обеспечивает всю полноту отношений в минеральном комплексе, несмотря на обилие поправок. Постановления и распоряжения федерального правительства, предоставляя возможность развития крупным компаниям, игнорируют интересы мелких и средних предприятий.

Недропользователи нарушают федеральные законы, особенно в части охраны окружающей среды, хищнической отработки богатых частей рудных тел, извлечения из комплексных руд только высоколиквидного металла. Штрафы за неисполнение нормативных требований настолько малы, что подталкивают владельцев компаний и предприятий не исполнять проектные документы в полном объеме.

Предлагаемые решения:

- привести в соответствие с Конституцией Российской Федерации все нормативные правовые акты;
- доработать законопроект «Горный кодекс» и ввести его в практику вместо федерального закона «О недрах». При этом объектами отношений должны стать месторождения, а не предприятия;
- разработать и принять федеральные законы «О геологическом изучении недр», «Об освоении техногенных месторождений», «О лицензировании».

**Лицензирование:** В лицензировании участков недр выделяются три проблемы:

- долгосрочность получения лицензии, измеряемая 1,5-2,5 годами (практика по Дальнему Востоку), исключая общераспространенные виды сырья;
- непрозрачность получения лицензии. Любая заявка может быть отклонена от участия в аукционе (конкурсе) на основании формального положения ФЗ «О недрах», (редакция от 27.12.2019 г, ст. 14, п. 1): «заявка на предоставление лицензии подана с нарушением установленных требований, в том числе, если ее содержание не соответствует объявленным условиям конкурса или

- аукциона». При этом требования устанавливаются чиновниками;
- сведение к минимуму конкурсной формы предоставления недр в пользование.

Предлагаемые решения:

- введение упрощенной процедуры предоставления права разработки месторождений, основанной на заявительном принципе, с возможностью конкурса при наличии нескольких претендентов на один объект;
- передать лицензирование участков недр по всем видам полезных ископаемых (за исключением недр федерального значения) в ведение субъектов РФ;
- установить безаукционный (безконкурсный) доступ малых предприятий к мелким месторождениям с трудноизвлекаемыми или выработанными запасами ПИ.

**Минерально-сырьевая база:** Государство не в полной мере управляет формированием минерально-сырьевой базы страны, что сказывается на:

- снижении профессионального уровня геологоразведочных работ и «кадрового голода» в геологической отрасли;
- переходе на лицензирование участков недр с ресурсами категорий  $P_2$  и  $P_3$  по причине отсутствия объектов с реальными запасами;
- слабом использовании техногенных месторождений в силу высоких затрат предприятий, связанных с проведением геологического изучения отходов и постановки запасов на Государственный баланс, часто сопоставимых, а в отдельных случаях и превышающих ожидаемый доход от добычи;
- низкой эффективности государственного управления минеральными ресурсами, заключающейся в отсутствии комплексных программ развития геологоразведочных работ применительно к субъектам РФ, формализации геологического изучения недр, учета и контроля деятельности геологических и горнодобывающих предприятий, экспертизы запасов, их учета и контроля движения и др.

Предлагаемые решения:

- передать вопросы геологического изучения недр с финансовым обеспечением в ведение специализированной организации;
- законодательно стимулировать развитие юниорного бизнеса (заявительный принцип, налоговые льготы, оборот объектов и др.);
- восстановить налог на воспроизводство минерально-сырьевой базы. Эти средства, переданные в ведение субъектов РФ, распределять на конкурсной основе среди специализированных геологических организаций для подготовки объектов в государственный фонд недр;

- геологическое изучение недр на основе научно обоснованных региональных стратегий развития минерального комплекса, согласованных с государственной программой воспроизводства и использования природных ресурсов.
- упрощение обязательных процедур изучения, экспертизы, постановки на баланс металлов техногенных месторождений путем постановки на государственный баланс ресурсов одновременно со списанием запасов в процессе добычи.

**Комплексность.** Руды практически всех месторождений драгоценных, цветных и редких металлов относятся к сложным, полиметалльным образованиям. При официальном рассмотрении результатов разведки эксперты и руководители предприятий стараются исключить попутные и примесные элементы из подсчетов.

Основные проблемы комплексного использования руд:

- поставка на рынок концентратов, т.е. продукции первого передела, стоимость которых определяется только по основному компоненту;
- потери в силу использования устаревшего оборудования и технологий;
- практическое игнорирование результатов исследований геологических и горных институтов Российской Федерации.

Предлагаемые решения:

- законодательно обеспечить льготные условия горнодобывающим предприятиям, занимающимся глубокой переработкой руд с выделением максимального числа полезных компонентов (предоставление лицензий на пользование участками недр на конкурсной основе, частно-государственное партнерство, и др);
- законодательно ввести в практику выявление и подсчет запасов как основных, так и попутных и примесных компонентов;
- обеспечить государственный учет и контроль комплексности освоения месторождений полезных ископаемых;
- обеспечить государственное финансирование разработок современных технологий добычи и обогащения руд, разработку приборов и оборудования НИИ и ОКБ системы РАН, соответствующих ВУЗов и Исследовательских Центров.
- обеспечить законодательную поддержку, объявленной Президентом Российской Федерации индустриализации промышленности.

**Управление недрами:** К управлению недрами, помимо органов государственной власти, в меньшей мере муниципальных образований, привлекаются владельцы крупных компаний. Мелкие и средние предприятия исключаются из системы управления недрами. Научные сооб-

щества, общественные институты и местное население, в основном, не имеют возможности влиять на добычу полезных ископаемых, их реализацию и распределение доходов. Эта ситуация входит в противоречие со статьями 3 и 9 Конституции России.

Предложение: неукоснительно выполнять нормы Конституции России.

Таким образом, основная цель системы управления заключается в интенсификации природопользования, то есть в максимальном использовании всех полезных свойств сырья, в том числе и за счет его глубокой переработки, способствующей сокращению удельного объема добываемых природных ресурсов на душу населения. Оптимизация природопользования рассматривается в качестве стратегической задачи региональных органов государственной власти, решение которой должно привести к максимальному удовлетворению потребностей жителей.

## **СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ МЕДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РОССИИ**

**Рыжова Л.П., Курчик А.М., Бондаренко Д.В.**

*МГРИ им. Серго Орджоникидзе, г. Москва*

Ключевой особенностью современной рыночной ситуации стал переход на принципиально новый уровень стратегирования минерально-сырьевого комплекса – это цифровизация геологоразведки и недропользования. В «Стратегии развития минерально-сырьевой базы России» уже сформированы базовые принципы и требования к процессу формирования «цифровой геоэкономики»: роботизированность технологий сбора, обработки, накопления и предоставления геологической и горно-технологической информации, внедрение цифровых технологий в технологические процессы добычи и переработки минерального сырья и т.д. Однако, этих мероприятий недостаточно. Необходимы системные цифровые изменения во всем минерально-сырьевом комплексе, а также в смежных с ним отраслях экономики принципиально нового уровня, основанные на использовании искусственного интеллекта (R-технологии), технологий управления большими объемами данных (BigData и т.д.), цифровом маркетинге и менеджменте (CRM) и т.д.[3]

В начале 90-х годов, когда экономика страны начала функционировать в рыночных условиях, возник ряд проблем в состоянии минерально-сырьевой базы медной промышленности страны:

- рентабельность значительного объема ранее разведанных запасов многих месторождений различных видов полезных ископаемых, прежде всего из-за низкого качества руд и быстрого роста цен на материальные ресурсы; по данным переоценки 1995-1999

гг. количество балансовых (прибыльных) резервов уменьшилось в среднем на 30%;- появление резко дефицитных видов минерального сырья связано с тем, что крупные разведанные месторождения урана, марганца, хрома в период распада СССР находились в Казахстане, Узбекистане, Украине; в современных условиях металлургическое производство в России таких металлов, как марганец, хром, титан, алюминий, ниобий, тантал основано на импортном сырье;

- высокая степень истощения запасов многих крупных месторождений в старых добывающих районах, в которых горнодобывающие предприятия часто являются градообразующими;
- значительное сокращение финансирования геологоразведочных работ привело к резкому снижению физического объема буровых, горнорудных и других работ и, как следствие, к систематическому отставанию прироста запасов от добычи по большинству видов полезных ископаемых с 1992 по 2004 гг.;
- ухудшение экологической обстановки в крупных горнодобывающих регионах [2].

Межотраслевое взаимодействие предприятий минерально-сырьевого комплекса, ориентированное на преодоление указанных проблем в современных рыночных условиях, ставит задачу оценки и управления этим процессом на основе широкого внедрения цифровых технологий.

Знание сырьевой базы металлургической отрасли делает возможным прогнозирование перспектив ее развития, планирование строительства новых металлургических предприятий и развитие действующих, совершенствование технологии получения металла из рудного сырья. Вовлечение в переработку техногенных и вторичных источников металлургического сырья дает возможность не только решать экологические проблемы переработки различных отходов, но и сохранить природные невозобновляемые источники сырья для будущих поколений.

На территории России сформировано несколько основных баз цветной металлургии.

Предприятия, занимающиеся производством тяжелых цветных металлов, в основном базируются в районах добычи сырья, так как потребность их в источниках электроэнергии сравнительно невелика.

Первое место в России по разведанным запасам, добыче и обогащению медных руд, а также выплавке меди принадлежит Уральскому экономическому району, который представлен такими предприятиями как Красноуральский, Кировоградский, Среднеуральский, Медногорский комбинаты.

Наибольший прирост в сырьевом секторе промышленности в 2019 году показала добыча цветных металлов (прирост 10,9% к августу 2018 года), в том числе медной руды на 10,9% в годовом выражении.

Знание сырьевой базы отрасли делает возможным прогнозирование перспектив ее развития, планирование строительства новых предприятий и развитие действующих, совершенствование технологии получения металла из рудного сырья. Вовлечение в переработку техногенных и вторичных источников сырья дает возможность не только решать экологические проблемы переработки различных отходов, но и сохранить природные невозобновляемые источники сырья для будущих поколений.

Главной целью развития металлургической промышленности России на период до 2020 года, поставленной в Стратегии развития металлургической промышленности России на период до 2020 г. [1], являлось обеспечение растущего спроса на металлопродукцию в необходимых номенклатуре, качестве и объемах поставок металлопотребляющим отраслям на внутренний рынок (с учетом перспектив их развития), на рынок стран СНГ и мировой рынок на основе ускоренного инновационного обновления отрасли, повышения ее экономической эффективности, экологической безопасности, ресурсо- и энергосбережения, конкурентоспособности продукции, импортозамещения и сырьевого обеспечения [4].

Стратегия была разработана по трем вариантам: инерционному, энерго-сырьевому, инновационному. Они подлежат стратегическому анализу с учетом поставленных задач и конкурентных преимуществ, имеющихся у медной промышленности России.

### **Список литературы**

1. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 18 марта 2009 г. № 150 «Об утверждении Стратегии развития металлургической промышленности России на период до 2020 года»– URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/95358/>.

2. Оценка перспектив развития горно-металлургической базы ряда металлов в Российской Федерации/Птицын А.М., Дюдин Ю.К., Синдаровский А.Н., Руднев Б.П. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2002.

3. Lyudmila P. Ryzhova, Alexander M. Kurchik, Angela-UrielleSaley, Alexander R. Kalinin To the question of digitalization of indicators of the mineral complex. /XIII International Scientific Conference Analysis of International Relations 2020. Methods and Models of Regional Development. Winter Edition (Katowice, Poland 09 January 2020). – URL: [https://air.ue.katowice.pl/pdf/2020a/15\\_Ryzhova\\_Kurchik\\_Saley\\_Kalinin.pdf](https://air.ue.katowice.pl/pdf/2020a/15_Ryzhova_Kurchik_Saley_Kalinin.pdf)

4. Мясков А.В., Попов С.М. Методические основы формирования направлений использования техногенного минерального сырья /Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. – № 6. – С. 231-240.

# О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЕРСОНАЛА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Полецук М.Н.

НИИОГР, г. Челябинск

В условиях ужесточения конкуренции на рынках продукции и труда горнодобывающим предприятиям для сохранения конкурентоспособности помимо воспроизводства необходимо осуществлять опережающее развитие с темпами, не меньшими чем у конкурентов [1, 2].

Важную роль в процессах воспроизводства и, особенно, развития играет взаимодействие персонала. Как показывает анализ результатов деятельности ряда угле- и горнодобывающих предприятий несогласованное взаимодействие приводит к перерасходу ресурсов, особенно при развитии неосязаемых активов, а также при разработке и реализации улучшений. В результате – требуемые результаты не достигаются, снижается темп развития [3, 4, 5].

Эффективность взаимодействия персонала горнодобывающего предприятия определяется:

- в воспроизводственном процессе – согласованностью представлений о требуемом уровне подготовки и организации процесса, взаимообусловленном качеством выдачи и выполнения наряда, а также качеством осуществления трудовых процессов [6, 7];
- в процессе развития – пониманием каждым субъектом необходимости и путей улучшения, их мотивации и квалификации решения соответствующих задач [5, 8].

Укрупненная схема формирования взаимодействия персонала представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Схема формирования эффективности взаимодействия персонала

Оценка согласованности представлений работников показывает, что уровень конкордации (согласованности) их мнений преимущественно не превышает 0,5-0,6 и в отношении процессов воспроизводства выше, чем процессов развития. Следует отметить, что для успешного совершенствования производства требуется больший уровень единства [9, 10]

Исследования показали, что одной из причин низкой согласованности в направлениях улучшения является недостаточное единство работников всех уровней управления в оценке текущего состояния предприятия и в необходимости преобразований.

Таким образом, повышение эффективности взаимодействия персонала горнодобывающих предприятий основано на:

- формировании единых представлений о целях предприятия и способах их достижения, возможных трудностях;
- среднесрочном планировании деятельности подразделений, увязывающим их интересы;
- декомпозиции этих планов в согласованные между подразделениями наряды, регламентации действий;
- системе мониторинга и контроля состояния процесса и информирования работников о нем.

Приоритетным направлением повышения эффективности взаимодействия персонала является проработка с работниками целевого и текущего состояния предприятия, характеризующего эффективностью и безопасностью производства.

### **Список литературы**

1. Фёдоров А.В. Концепция опережающего развития угледобывающего производственного объединения /А.В. Федоров //Развитие регионального угледобывающего объединения: результаты, анализ, осмысление, опыт. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – №12 (специальный выпуск 50). – С. 9-15.

2. Федоров А.В. Обеспечение долговременной жизнеспособности угледобывающего производственного объединения /А.В. Федоров, А.В. Великосельский, О.А Лапаева; Под общ. ред. В.Б. Артемьева – М.: Изд-во «Горная книга», 2019. – 277 с.

3. Галкина Н.В. Социально-экономическая адаптация угледобывающего предприятия к инновационной модели технологического развития /Н.В. Галкина. – М.: Экономика, 2007. – 248 с.

4. Артемьев В.Б. Конкордация – критерий и средство повышения эффективности и безопасности производства / В.Б. Артемьев, А.Б. Килин, А.С. Костарев, В.П. Кавышкин, В.А. Галкин, А.М. Макаров // Уголь. – 2014. – № 3. – С. 68-72.

5. Николаев Н.А. Развитие трудового капитала персонала предприятия: [монография] /Н. А. Николаев, М. Н. Полещук; М-во общего и проф. образования Свердл. обл. Образовательно-научный инст-т мен-та. – Екатеринбург: Альфа Принт, 2019. – 91 с.

6. Галкин А.Вал. Снижение риска травмирования персонала горнодобывающего предприятия путем совершенствования нарядной системы: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 – «Охрана труда (в горной промышленности)» /А.Вал. Галкин. – Москва, 2011. – 131 с.

7. Кулецкий В.Н. Методика повышения качества трудовых процессов: Отдельная статья /В.Н. Кулецкий, С.В. Жунда, А.С. Довженок, А.В. Галкин, М.Н. Полещук //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № 9 (специальный выпуск 42). – 40 с.

8. Артемьев В.Б. Подходы к повышению конкурентоспособности угледобывающего предприятия и его персонала /В.Б. Артемьев, С.А. Волков, В.В. Лисовский, В.А. Галкин, А.М. Макаров, С.И. Захаров. dOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-6-4-9//Уголь>. – 2019. – №6. – С. 4-9.

9. Буйницкий А.И. и др. О повышении конкурентоспособности персонала на разрезе «Березовский» /А.И. Буйницкий, М.Н. Полещук //Открытые горные работы в XXI веке – результаты, проблемы и перспективы развития-1. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mining Informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). – 2017. – № 12 (специальный выпуск 37). – С. 346-358.

10. Галкин В.А. Проектирование организационной структуры угледобывающего предприятия: Отдельная статья / В.А. Галкин, А.Б. Килин, А.М. Макаров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – 28 с.

## **ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС РОССИИ: НЕИЗБЕЖНОСТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ**

**Бутов И.И.<sup>1</sup>, Воинов М.С.<sup>2</sup>, Подгаецкий А.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ОУ ИРПОН,

<sup>2</sup>ООО «Пироксенит»,

<sup>3</sup>ИПКОН РАН, г. Москва

Наиважнейшая задача сегодня – повышение эффективности использования полезных ископаемых и снижение нагрузки на окружающую среду. Важность и необходимость экологической модернизации производства, которая является одной из основных государственных стратегий, обоснована в программных документах высшего руководства страны, законах РФ и носит последовательный и многоплановый характер. Государство приняло решение задействовать правовые механизмы и экономические стимулы для понуждения разработки и использования

бизнесом экологически чистых технологий и производств. Отметим, что в индустриально развитых странах давно установлены существенные штрафы, жесткий государственный надзор и контроль в области природопользования, неотвратимость возмещения вреда за загрязнение окружающей среды. В настоящее время минерально-сырьевой комплекс России вынужден нести значительные расходы на охрану окружающей среды, охрану недр, что на фоне сложностей с привлечением инвестиций, значительной изношенности основных фондов неминуемо приводит к значительному снижению конкурентоспособности предприятий, связанным с увеличением себестоимости производства, негативно влияет на эффективность отработки месторождений и, в ряде случаев, является для них причиной значительного экономического ущерба и даже банкротства.

В этих условиях назрела необходимость создания горнотехнических систем на основе комбинированных технологий освоения и утилизации всех георесурсов в замкнутом технологическом цикле, базирующихся на внедрении малоотходных, ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих технологий. Компании, активно внедряющие инновации, придерживающиеся стратегии рационального использования недр, комплексного освоения месторождений, смогут выйти на качественно новый уровень долгосрочной, пролонгированной эффективности, определяющейся не только масштабом сокращения затрат, но и созданием дополнительной стоимости, за счет использования и переработки отходов производства.

Научные основы теории комплексного освоения недр, заложенные в трудах академиков Н.В. Мельникова, М.И. Агошкова, В.В. Ржевского, К.Н. Трубецкого, нашли дальнейшее развитие в работах различных научных коллективов, особенно хотелось бы отметить ИПКОН РАН, и в течение последних десятилетий остаются стратегическим направлением в горных науках. Реализация на практике разработанных новых подходов и решений направленных на полноту и комплексность освоения месторождений и снижение экологического ущерба, позволяет существенно снизить издержки предприятий. Так, отнесение в соответствии с законодательством вскрышных, выемочных пород, хвостов обогащения, шламов, золошлаковых продуктов и других материалов, которые образуются в результате ведения работ по добыче и обогащению полезных ископаемых к продукции позволяет вывести горные предприятия из-под действия требований природоохранного законодательства.

Нами разработана и успешно внедряется «Инновационная Программа оптимизации производства», в том числе по оптимизации платежей за отходы производства (вскрышные / выемочные породы, хво-

сты обогащения руды) IV, V класс опасности, (далее – Программа), созданная на основе инженерных решений, которые нацелены на изменение, дополнение, корректировку технологических процессов, возможного вовлечения в переработку промежуточных продуктов промышленного производства в целях доизвлечения полезного ископаемого без увеличения платежей по НДС (нормативные потери) и учитывают необходимость создания надлежащей деловой культуры производства. Программа разрабатывалась с соблюдением требований Федеральных законов РФ и действующей нормативной правовой документации.

Программа включает следующие этапы:

1. Проведение экологического, горного аудитов (аудита недропользования) технических проектов и иной документации предприятий горнопромышленного комплекса России, которые дадут возможность скорректировать деятельность горнодобывающих предприятий по охране недр и окружающей среды в целом.

2. Приведение Технических проектов в соответствие требованиям Федеральных законов Российской Федерации и действующих нормативных правовых актов. Разработка, корректировка технологических регламентов по горным процессам, процессам обогащения, техническим условиям на промежуточные продукты, образующиеся в процессе производства, в соответствии требованиям Федеральных законов Российской Федерации действующим нормативным правовым актам, позволяющие значительно минимизировать размер экологических платежей за отходы производства.

3. При необходимости проведение корректировки разделов «Рекультивация», «Охрана окружающей среды», «Охрана недр» и других разделов Технического проекта, внесение изменений в разделы «Разработка проектов ликвидации (частичной ликвидации), консервации объектов ведения горных работ».

4. Проведение оценки воздействия на окружающую среду (корректировки Проекта «Оценка воздействия на окружающую среду» (ОВОС)).

5. Корректировка Проекта нормативов образования отходов и лимитов на их размещение (ПНООЛР); Проекта нормативов предельно-допустимых выбросов (ПДВ); Проекта нормативов допустимых сбросов (НДС); Проекта обоснования санитарно-защитной зоны (СЗЗ); Проекта зон санитарной охраны (ЗСО) водоносных источников и др. для получения КЭР для предприятий I категории.

Принимаемые проектные (инженерные) решения не ограничиваются только предупреждением и ликвидацией последствий негативного воздействия на окружающую природную среду, вызванных процессом

добычи и обогащения полезных ископаемых в результате использования традиционных технологий, без учета новых требований законодательства. Разрабатывается комплекс мероприятий и перечень дополнительной документации в составе Проекта, формирующие принципиально новый подход к разработке проектной документации и направленные на минимизацию расходов горнопромышленного предприятия на природоохранную деятельность.

Опыт реализации проектов по экологической модернизации горнодобывающих производств показал, что для успешного внедрения малоотходных, ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих технологий, снижения платы за негативное воздействие на окружающую среду необходимо формирование междисциплинарных творческих коллективов, объединение усилий специалистов различных специальностей, геологов, горных инженеров, технологов, экономистов, юристов, геоэкологов.

### **Список литературы**

1. В.П. Дробаденко, И.И. Бутов. Недропользование и экологизация экономики. Маркшейдерский вестник. 2017 год. №2 С. 10-19.

2. Трубецкой К. Н. Основные направления и пути решения проблем ресурсосбережения при комплексном освоении недр // Маркшейдерия и недропользование. 2010. №3 С. 22–29.

3. Трубецкой К.Н. Междисциплинарные направления и задачи горных наук для решения проблем освоения недр Земли в XXI веке.//Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008, № 4.

4. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Перспективные направления развития комбинированной геотехнологии в свете совершенствования технологического уклада горного производства. //Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2019. Вып. 3.

## **РАСЧЕТ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ШВЕ ТАУНГ» В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ РЕЛЬЕФА**

**СисМус<sup>1</sup>, Кубрин С.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>НИТУ «МИСиС»,

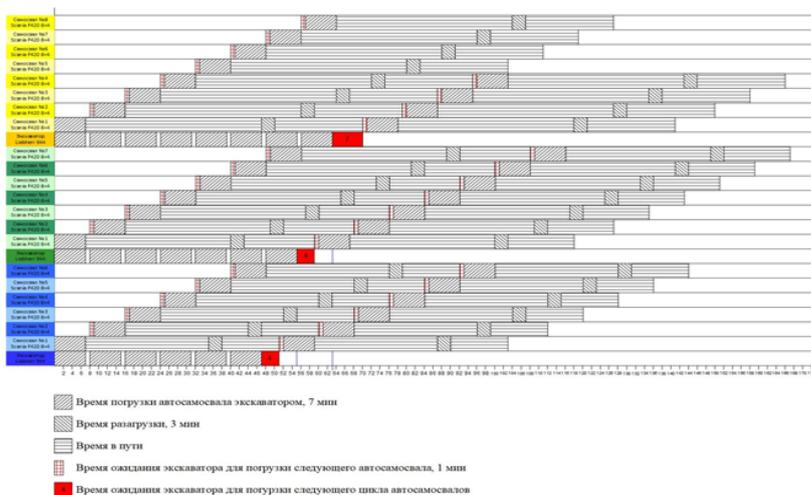
<sup>2</sup>ИПКОН РАН, г. Москва

Месторождение «ШВЕ ТАУНГ» располагается в сложных условиях рельефа в Республике Союз Мьянма. А также климатические условия накладывают особенности на горные работы и транспортировку. Поскольку в сезоне дождей, который длится около 4 месяцев (с июня по сентябрь) бывают сильные ливни, разработка ведется только в период



удельные расходы топлива при движении автомобилей от производственных участков в речной порт на реке Чиндуин и обратно с грузом и порожнем.

На основе полученных результатов рассчитаны оптимальное время движения от участков на угольные склады в порту и обратно и циклы движения автомобилей для перевозки угля. Построена циклограмма работ трех добычных участков. Выявлено время простоев экскаваторов и определено необходимое количество автосамосвалов. При этом по списку используемых машин всего 14 автосамосвалов, а по определению циклограммы нуждаются всего 20 автосамосвалов (для первого участка 6, для второго участка 7 и для третьего участка 8 автосамосвалов).



**Рис. 2. Циклограмма работы автомобильного транспорта для перевозки угля месторождения «Шве Таунг»**

## ИДЕНТИФИКАЦИИ МАНЕВРА ВСТРЕЧНОГО АВТОМОБИЛЯ НА ОСНОВЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Каунг Пъей Аунг<sup>1</sup>, Кубрин С.С.<sup>2</sup>

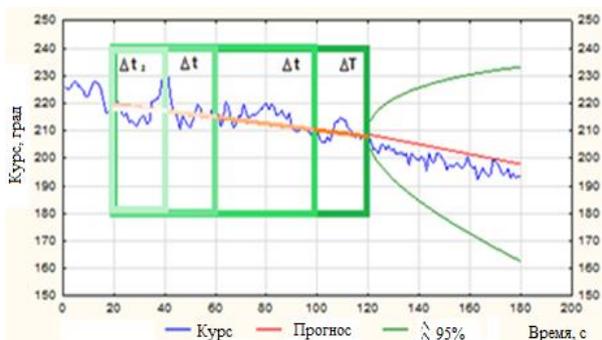
*НИТУ МИСиС, г. Москва, ИПКОН РАН, г. Москва*

Количество аварий, происходящих в стесненных условиях карьеров остается постоянным и довольно высоким из года в год. Причинами аварий в основном являются неточности в оценке маневренных характеристик автомобиля при конкретной загрузке, с учетом сложности до-

рожных условий, плохо просматриваемых участков дороги и трудность идентификации маневра встречного автомобиля. Маневрирование встречного автомобиля приводит к необходимости периодического пересчета параметров опасного сближения. Это означает что некоторое время, до выявления процесса маневрирования встречного автомобиля, оценки параметров опасного сближения ошибочны, а после этого момента и до завершения маневрирования параметры кратчайшего сближения не определены.

Анализ существующих способов оценки параметров опасного сближения автомобилей показал, что в настоящее время оценка таких параметров (дистанции и времени опасного сближения) производится исходя из визуально водителем. Совместные маневры автомобилей, требуют пересчет параметров опасного сближения. Для автоматизации совместно маневрирования нескольких автомобилей можно использовать автоматизированную информационную систему (АИС), которая бы обеспечивала связь между отдельными транспортными единицами, формирующие информационные сообщения с идентификационными данными, местом нахождения, направлением движения и скоростью.

Для повышения безопасности разезда автомобилей необходимо на основе данных АИС производить прогнозирование зон совместного перемещения сближающихся автомобилей. Влияние маневрирование встречного автомобиля при расчете его элементов движения необходимо учитывать на основе использовании статистических оценок. При этом необходимо использовать все доступные параметры движения встречного автомобиля получаемые с помощью средства АИС.



**Рис. 1.** Пример обнаружения маневра курсом

Для идентификации маневра встречного автомобиля разработан алгоритм (рис. 2). Автомобиль считается маневрирующим курсом и/или скоростью, если для некоторого набора временных окон (рис. 1), увеличивающихся постепенно на 5 секунд ( $\Delta T = 5n$ ,  $n \in \mathbb{N}$ ), знак тангенса угла наклона  $\alpha$ ,  $\alpha'$  прямой, аппроксимирующей набор значений соответствующего параметра движения встречного автомобиля  $\{p(\Delta T)\}$ , сохраняет знак ( $\text{sgntg}\alpha = \text{sgntg}\alpha'$ ).

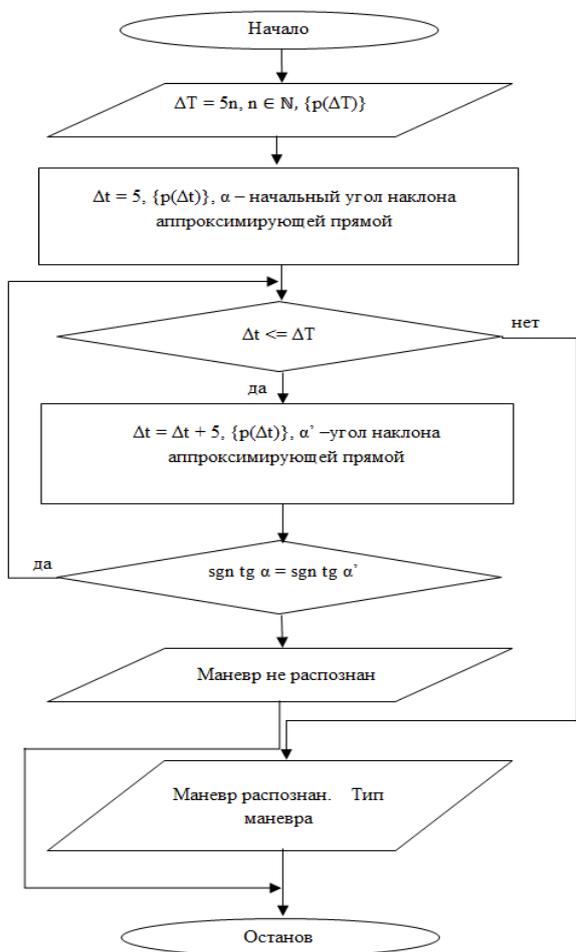


Рис. 2. Блок-схема алгоритма распознавания маневрирования

В каждой серии для каждого типа маневра определялся набор значений параметров модели авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего ( $p, d, q$ ) и интервалов  $\Delta t_p$ ,  $\Delta t_i$ , при котором прогнозная траектория отклонялась от фактической на величину не свыше 75 метров, а соотношение  $\Delta t_p / \Delta t_i$  наибольшее.

На основе проведенных экспериментальных и теоретических исследований разработан метод оценки параметров опасного сближения автомобилей на основе проективного преобразования зон нахождения сближающихся автомобилей, учитывающий возможное маневрирование встречного самосвала, заключающийся в следующем:

1. Автомобиль обнаруживается с помощью АИС;
2. По размерам автомобиля и средней скорости оценивается время распознавания маневра;
3. Производится распознавание маневра;
4. В зависимости от типа маневра, размеров и скорости автомобиля выбирается интервал обрабатываемой предыстории и интервал прогнозирования;
5. Рассчитывается прогнозная траектория;
6. Оценивается погрешность расчета прогнознй траектории;
7. Действия 2 – 6 производятся для определения с параметров движения собственного автомобиля;
8. Определяется время, дистанция и точка опасного сближения;
9. Рассчитанные зоны нахождения сближающихся автомобилей с параметрами опасного сближения визуализируются.

# ЦИФРОВИЗАЦИЯ И РОБОТОТЕХНИКА В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ СЕКТОРЕ

---

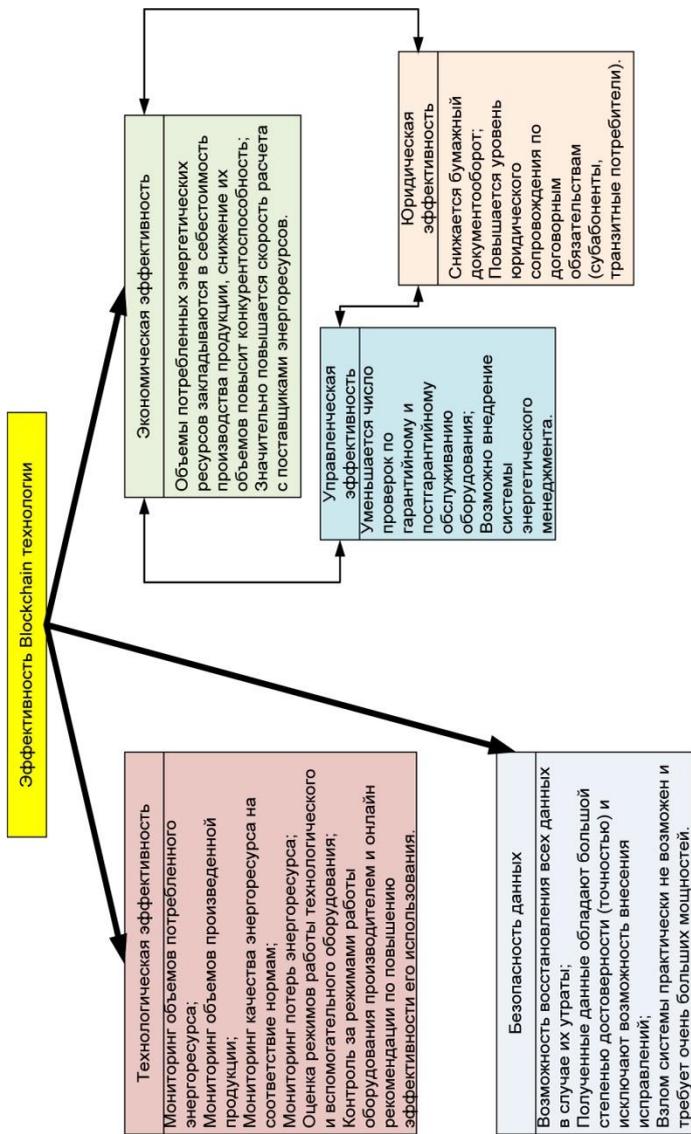
---

## АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ BLOCKCHAIN ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Решетняк С.Н.

*НИТУ «МИСиС», ИПКОН РАН, г. Москва*

В настоящее время, в рамках реализации Программы «Цифровая экономика Российской Федерации», имеется потребность в применении современных технологических решений на всех этапах производства продукции. В качестве одного из таких решений является Blockchain технология, а объектом исследования является система энергоснабжения горного предприятия. Под этой системой следует понимать все системы горного предприятия по получению либо производству энергетического ресурса, транспортировке и его потреблению. В частности к таким системам относятся первичные системы: электроснабжения, теплоснабжения, вторичные системы: система подачи сжатого воздуха и т.д. Blockchain-технология это выстроенная по определенным правилам, непрерывная последовательная цепочка блоков непрерывно растущая, содержащих определенную информацию по всем проведенным транзакциям [1]. Используемая информация хранится на множестве, независимых друг от друга, персональных компьютеров и синхронизируются согласно правилам построения системы. Потеря информации на одном из элементов Blockchain-технологии, не приводит к потерям информации, т.е. имеется возможность полностью ее восстановить, используя другие элементы технологической цепи [2, 3]. Следует отметить, что система энергоснабжения горного предприятия, будь то предприятие по добыче полезного ископаемого открытым или подземным способом, является весьма многофакторной и постоянно развивающейся системой. Это обусловлено тем, что помимо технологического характера системы (производство, преобразование, транспортировка, потребление энергоносителя), система энергоснабжения обладает элементами экономического характера (потребление энергетического ресурса закладывается в себестоимость добычи продукции). Кроме этого, система энергоснабжения обладает элементами управленческого характера (система энергоменеджмента) и обладает элементами юридического характера (заключение договоров на поставку энергетического ресурса с энерго-



**Рис. 1. Эффективность использования Blockchain технологии в системах энергоснабжения горного предприятия**

снабжающей организацией, работа с субабонентами и транзитными потребителями). Под субабонентами следует понимать потребителей энергии подключенных к сетям предприятия и имеющий договор на поставку. Под транзитными потребителями следует понимать потребителей энергии подключенных к сетям предприятия не имеющих договор с предприятием, но имеющий договор с третьими лицами (энергоснабжающей организацией). Все вышесказанное подтверждает актуальность использования Blockchain-технологии в системах энергоснабжения горного предприятия.

Эффективность использования Blockchain-технологии в системах энергоснабжения горного предприятия представлена на рис.1. Следует отметить, что представленный рисунок не в полной мере отражает эффективность использования Blockchain-технологии и при необходимости может быть дополнен.

Однако следует отметить и ряд аспектов, которые значительно тормозят внедрение этой технологии [4] и в частности системах энергоснабжения горного предприятия. Прежде всего, необходим обученный персонал, для работы в данной технологии, т.е. обеспечивающий корректность записи и имеющий цифровую подпись. Помимо этого, необходимы определенные требования к программному обеспечению, которые обусловлены достаточной простотой и надежностью, но обладающей высшей степенью безопасности. Это позволит предотвратить попытки взлома системы посторонними. Кроме того, необходимо решение вопроса по обеспечению достаточно большой пропускной способности сети и предоставления узлу необходимого объема дискового пространства.

В заключении следует отметить, что хотя децентрализованная архитектура построения Blockchain-технологии все еще проигрывает централизованной, именно на это технологическое решение возлагаются достаточно большие надежды по применительной практике по замене автоматизированных информационно-измерительных систем управления и учета, в том числе в системах энергоснабжения горных предприятий.

### Список литературы

1. Nakamoto S.A Peer-to-Peer Electronic Cash System//Bitcoin. <http://coinspot.io/technology/bitcoin/perevod-stati-satoshinakamoto> (Дата обращения 20.01.2020).
2. Лагутин И.Б., Сусликов В.Н. Правовое обеспечение блокчейн-технологий (вопросы теории и практики) Финансовое право. 2018. № 1. С. 25-29.
3. Савельев А.И. Некоторые правовые аспекты использования смарт-контрактов и блокчейн-технологий по российскому праву. Закон. 2017. № 5. С. 94-117.

4. Соловьев А.И. Блокчейн: подводные камни//Открытые системы. СУБД. 2016. №4. <http://www.osp.ru/os/2016/04/13050987/> (Дата обращения 20.01.2020).

## О НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧАХ ДИНАМИКИ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

Побегайло П.А.<sup>1</sup>, Ильина А.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*ИМАШ РАН,*

<sup>2</sup>*МАИ (НИУ), г. Москва*

**Введение.** Не смотря на то, что одноковшовые гидравлические экскаваторы (ОГЭ) существуют уже более полувека, и число работ посвященных их совершенствованию давно перевалило за несколько тысяч, многие вопросы и проблемы их проектирования и эксплуатации еще не нашли своего полного решения. К числу таких тем, несомненно, относятся и различные задачи динамики этих машин.

На наш взгляд, очевидно, что в дальнейшем углублении и расширении нашего знания о динамике ОГЭ лежит ключ к их совершенствованию и, как следствие, к росту эффективности открытых горных работ. Ведь именно ОГЭ в настоящее время являются там основной боевой единицей.

Отметим, что настоящая работа была начата нами не так давно и сейчас находится на первой половине своего пути. Представлению первых полученных нами на сегодня результатов и посвящен настоящий доклад.

**Основной текст.** В рамках исследования динамики ОГЭ нами с коллегами были поставлены, рассмотрены и решены следующие задачи:

- выполнить анализ литературы в области динамики ОГЭ, их отдельных подсистем (привод, системы управления и пр.) [1, 2];
- провести анализ литературы в области динамики манипуляционных систем и иных, похожих на ОГЭ, технических систем;
- в рамках создаваемой нами методологии проектирования ОГЭ на ранних стадиях проектной деятельности [3 и др.] было необходимо: выделить те задачи динамики которые будут способствовать улучшению качества проектных разработок ОГЭ; определить место этих задач в общей технологии проектирования ОГЭ, их связи с иными задачами (этапами) проектирования;
- сформулировать общие требования к физическим моделям динамики ОГЭ и их подсистем (в первую очередь к рабочему оборудованию (РО) и гидравлическому приводу);

- построить ряд частных физических моделей ОГЭ, с соответствующим математическим и программным оформлением (сейчас сюда входят и те модели, что были построены нами с коллегами задолго до начала системного исследования динамики ОГЭ).

В качестве примера решения последней задачи укажем на построение нами фундамента физической модели динамики РО ОГЭ [4 и др.] – причем она выписана как для традиционного трехзвенного РО, так и для не традиционного – четырехзвенного (речь тут идет, в первую очередь, об уравнениях движения).

В математический «базис» этих физических моделей нами положено векторное нелинейное дифференциальное уравнение второго порядка.

Необходимо отметить, что с одной стороны использование такой физической модели позволяет с приемлемой точностью и с достаточной простотой исследовать и оценить качество проекта РО за счёт того, что мы можем вычислить скорости и ускорения его элементов (для всех рассматриваемых вариантов конструкции). Заметим, что при этом возможно рассмотрение различных сочетаний рабочих движений, с учетом и без учета сил трения в шарнирах.

С другой стороны, эта модель позволяет параллельно разработке конструкции РО начать создание системы управления машиной. Более детально наши с коллегами наработки в этой части представлены в работах [5, 6 и др.].

В работах [7–9] можно найти еще ряд наших с коллегами частных исследований динамики ОГЭ.

**Заключение.** В настоящем тексте, весьма кратко, представлены основные результаты полученные при исследовании динамики ОГЭ. Основными итогами этой работы на сегодня являются:

- 1). Определены отдельные лакуны и частные неточности в имеющихся моделях оценки динамики ОГЭ.
- 2). Разработаны основы методологии проектирования РО ОГЭ для ранних стадий проектирования с учетом ряда задач динамики.
- 3). В рамках предложенной нами методологии проектирования РО ОГЭ разработаны: требования к потребным моделям оценки динамики ОГЭ; некоторые элементы физических моделей с соответствующим для них математическим и программным обеспечением.
- 4). В рамках указанного выше рассмотрены некоторые задачи синтеза системы управления ОГЭ.

Отметим также, что рассмотрение вопросов динамики ОГЭ, проводимое в рамках создания методологии проектирования этих машин, тесно связано с иным нашим направлением исследований – разработкой элементов системы экспресс – диагностики карьерных экскаваторов [10–13 и др.].

## Список литературы

1. Побегайло П.А. Исследования динамики одноковшовых гидравлических экскаваторов: современное состояние и некоторые перспективы // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2014, № 11, с. 154-158.
2. Побегайло П.А. Современное состояние и некоторые перспективы исследований динамики одноковшовых гидравлических экскаваторов // Труды X Всероссийской научной конференции «Нелинейные колебания механических систем» (Нижегород, 26–29 сентября 2016 г.) / Под редакцией Д.В. Баландина, В.И. Ерофеева, И.С.Павлова. Нижегород: Издательский дом «Наш дом», 2016, с. 610 – 613.
3. Побегайло П.А. Мощные одноковшовые гидравлические экскаваторы: методология проектирования рабочего оборудования (на ранних стадиях проектирования). М.: СвР-АРГУС, 2017. 210 с.
4. Побегайло П.А., Ильина А.Н. Физическая модель оценки динамики гидравлических экскаваторов на ранних стадиях проектной деятельности // Уголь. 2018. № 12. с. 33 – 37. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-12-00-00>.
5. Колесникова С.И., Побегайло П.А., Цветницкая С.А. Аналитический синтез системы управления выводом робота-манипулятора в целевое множество состояний // Обзорные прикладной и промышленной математики. 2018. № 25, Выпуск 3. 2 с. <http://www.tvp.ru/conferen/vsppmXIX/repso088.pdf>.
6. Kolesnikova S., Tsvetnitskaya S., Pobegailo P. An Extension of the Method of Aggregated Regulators to a Discrete Stochastic Object // 2019 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON 2019), Tomsk, 18-20 april 2019. [S. 1.]: IEEE, 2019. P. 14-19.
7. Крикун А.В., Побегайло А.П., Побегайло П.А. Некоторые исследования колебаний системы «рабочее оборудование–гидропривод» одноковшового гидравлического экскаватора // Труды Девятой Всероссийской научной конференции им. Ю.И. Неймарка «Нелинейные колебания механических систем». 24-29 сентября 2012 г. г. Нижний Новгород, 2012. С. 749-755.
8. Pobegailo P.A., Mitrev R., Gruychev R. CAD/CAE investigation of a large hydraulic mining excavator // Machine design, Vol.3, 2011, № 3. pp. 17-22.
9. Синев А.В, Побегайло П.А., Брысин А.Н., Соловьев В.С. Использование единого аксиально-поршневого насоса для исполнительных механизмов гидравлического карьерного экскаватора // Проблемы машиностроения и автоматизации, № 2, с. 53-57, 2016.
10. Комиссаров А.П., Побегайло П.А., Шестаков В.С. Методика экспресс анализа энергопотребления при экскавации горных пород // ГИАБ, 2014, № 12, с. 138 – 141.
11. Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю. Элементы системы экспресс диагностики состояния карьерных экскаваторов в условиях эксплуатации: блок оценки концентраторов напряжений в металлоконструкциях со стыковыми швами // ГИАБ. 2018. S.50. с. 216—229. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-50-216-229.
12. Обоснование выбора точек контроля металлоконструкций экскаваторов драглайнов / Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю., Мутыгуллин А.В., Шигин

А.О. // Уголь. 2018. №.6. с. 48—53. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-6-48-52.

13. Комплексный подход к безопасной эксплуатации элементов металлоконструкций карьерных экскаваторов / Крицкий Д.Ю., Шигин А.О., Бовин К.А., Побегайло П.А. // ГИАБ. 2017. S.32. с. 307—319. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-38-307-319.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ УЧАСТКА «ПИХТОВСКИЙ» КЕДРОВСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА**

**Монаков Е.В., Романова В.Е., Евсева Е.В.**

*НИТУ «МИСиС», г. Москва*

В последние несколько лет у горнодобывающих компаний России все чаще возникает вопрос об эффективном использовании геоинформационных технологий, которые должны обеспечивать и охватывать весь производственный цикл: от геологоразведки до контроля над горным производством и управления потоками геоданных.

Моделирование тектонических нарушений является не единственной, но одной из важных задач, которые можно решать с помощью современных геоинформационных систем. Это во многом способствует своевременному принятию мер по обеспечению устойчивости массива, а также предотвращению негативных геодинамических явлений.

В рамках данной работы нашей группой была создана геологическая 3D модель угольных пластов «Кемеровский» и «Волковский». Данные пласты на сегодняшний день обрабатываются компанией «Кузбассразрезуголь» и имеют большое количество нарушений на всей протяженности. Моделирование производилось при помощи горно-геологической информационной системы «Micromine».

В данной модели наглядно продемонстрированы сдвиги и разрывы пластов, что дает возможность взглянуть на картину нарушений в целом, а не только видеть отдельные их зоны на 2D разрезах.

Выявление тектонической нарушенности по тем или иным признакам значительно облегчает построение прогнозной карты в еще ненарушенном массиве, а также позволяет оперативно перейти к ее анализу.

## **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ И РОБОТИЗАЦИИ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ СЕКТОРЕ**

**Сивенков Е.А., Сатубалова М.С.**

*НИТУ «МИСиС», г. Москва*

Сектор информационных технологий постепенно становится ключевым звеном развития внутри- и внешнеэкономических отношений между странами.

Применение информационных технологий и цифровизация производственных процессов является одним из способов для сокращения издержек и повышения конкурентоспособности и производственного потенциала промышленных предприятий.

Сегодня в сфере цифровизации горнодобывающих предприятий существует два популярных направления – *Большие данные (BigData)* и *Промышленный интернет вещей (IndustrialInternet of Things)*.

*Промышленный интернет вещей (IIoT)* — это сеть, работающая в режиме реального времени и состоящая из конечных устройств (датчиков, сенсоров), облачного сервера, которые подключены к сети через сетевые шлюзы. К сетевым шлюзам можно отнести WiFi, Bluetooth и прочие виды связи.

Малые данные как информация об объектах механизмах, оборудовании, устройствах, помещениях, транспортных средствах, температуре, давление собираются с конечных устройств и через сетевые шлюзы отправляются в облако – удаленный сервер в датацентре, в котором обрабатывается, анализируется и хранится информация. Здесь данные со всех устройств интегрируются и подвергаются аналитике. После этого выявляется пригодная (применимая) информация, как характеристика, потенциальные проблемы, и даже выдвигаются рекомендации направленные на улучшение их производительности, т.е. малые данные превращаются в *большие данные*.

*Большие данные (BD)* – это базовая автоматизация, позволяющая совершенствовать процессы и подготавливать большие массивы данных, которые сложно анализировать традиционными методами.

Они характеризуются тремя решающими признаками: объем полученных данных, скорости, с которой эти данные добываются и обрабатываются и типом данных (структурированные или неструктурированные).

Вместе все три характеристики определяют, может ли этот поток данных быть обозначен как *большие данные*.

Если сравнить эти две области, суть Больших данных, в большинстве своем, заключается в сборе огромного количества данных, но не подвергая этот поток информации какому-либо процессу, который бы помог извлечь из этого массива данных, применимую в производстве информацию. Анализ происходит только на поздних стадиях и происходит задержка или пробел между этапами, когда данные добыты и когда она обрабатывается.

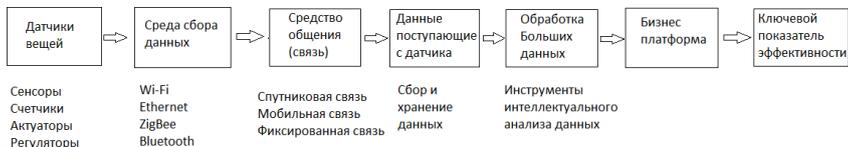
Интернет вещей, в свою очередь, нацелен на одновременную добычу и обработку потоков данных, которые управляются в режиме реального времени для точных решений и анализа на основе ... данных. Собранный информация обрабатывается сразу в реальном времени как для оптимизации производительности, так и для исправления неисправностей и выявления проблем на ранних стадиях.

Многие эксперты, побывав на предприятиях, где внедрена система промышленного интернета вещей, признает в ней ту технологию, которая вносит существенную трансформацию в организацию современных производственных процессов и создание новых цепочек взаимодействия. Компания DundeePreciousMetals, уже использует наклейки RFID на касках шахтеров и транспортных средствах позволяют мгновенно отслеживать их состояние и местоположение на 3D-картах (например, определять, нужно ли техобслуживание для транспортных средств). Результат: Повышение безопасности шахтеров. Объем производства увеличился на 400 %, что на 30 % превышает первоначальную цель. Снижение энергопотребления и затрат на коммуникации. Оптимизация использования ресурсов.

В качестве еще одного доказательства положительного влияния применения IoT систем на функциональность горных предприятий можно привести пример интервью управляющего директора ведущего австралийского поставщика оборудования для измерения уровня, коммутации и измерения давления, Джона Лидберра, который считает, что IoT также способствует сокращению времени простоя: «IoT помогает операторам понять, есть ли поломка или ухудшение производительности, предоставляя им возможность быстро и адекватно реагировать. В горнодобывающей промышленности каждый сокрушенный камень — это деньги в банке. Операторы не могут позволить себе отключить системы в течение пары часов, пока они ждут, пока инженер поедет на площадку, поскольку это может привести к существенным потерям в производстве. Нашим инженерам не всегда требуется физическое присутствие на месте для проведения ремонта; с разрешения операторов они могут удаленно войти в систему и помочь персоналу шахты устранить неисправность, сэкономив сайту ценное время и деньги.

Таким образом, промышленный интернет вещей и большие данные помогают автоматизировать многие операции, предоставляя возможность беспрепятственному и взаимосвязанному сбору и обмену данных для показателей производительности в режиме реального времени, а также удаленного мониторинга и контроля при горных работах. Эта технология может полностью преобразовать отрасль, повысить меры безопасности в опасных средах, помочь повысить общую

производительность и оказать положительное влияние на прибыль компании.



**Рис. 1. Схема работы IoT системы**



**Рис. 2. Передача данных от конечного устройства к облачному серверу**



**Рис. 3. Передача данных с облачного сервера к конечному устройству**

### Список литературы

1. <https://mining.komatsu/blog/details/the-future-of-mining-four-trends-for-tomorrows-success>.
2. <https://www.mining-technology.com/features/featureten-technologies-with-the-power-to-transform-mining-4211240/>.
3. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-andResources/deloitte-au-er-digital-revolution.pdf>.

## ВОПРОСЫ СОВМЕСТНОГО КАРТИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА УГЛЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Гаврилов В.Л.<sup>1,2</sup>, Гончарова Н.В.<sup>1</sup>, Хоютанов Е.А.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> ИГДС СО РАН, г. Якутск, республика Саха (Якутия)

Из-за общего ухудшения состояния минерально-сырьевой базы многие добывающие предприятия вынуждены переходить на разработку более сложных по строению месторождений с неоднородными по качеству полезными ископаемыми. Это предполагает целесообразность поиска и эффективного использования различных технических и технологических решений, методов организации и управления, позволяющих сгладить противоречия между природной изменчивостью свойств сырья в недрах и необходимостью поставок на рынок продукции с уровнем, обеспечивающим максимально высокие цены и стабильный в динамике спрос.

В полной мере это относится к ряду угольных месторождений, в первую очередь с дефицитными марками коксующегося угля и антрацита, например, Апсатскому, Горловскому, Нерюнгринскому, Эльгинскому, условия разведки и освоения которых сопоставимы со сложными рудными залежами. Для них характерны: выклинивание, расщепление, невыдержанная мощность и углов падения пластов и их свит; нарушенность и неоднородность горных массивов и формирующих их пород; изменчивость и неаддитивность свойств топлива различных природных и технологических типов в запасах; кластерное распределение в них полезных и вредных компонентов; другие природные и техногенные факторы. Теория и практика разведки, моделирования, оценки запасов и их освоения не в полной мере учитывают эти особенности. Большинство проектов отработки сложных по строению и неоднородных по потребительским свойствам угля месторождений ориентированы на средние природные и формируемые на их основе показатели качества продукции. Это дополнительно актуализирует поиск резервов по повышению эффективности и конкурентоспособности деятельности угледобывающих предприятий, включая более точную дифференциацию поставляемого потребителям топлива по технолого-экономической ценности.

Работу невозможно выполнить без: сбора, обобщения и рационального использования всех видов данных, аккумулируемых в специализированных базах; генерации новых знаний на основе материалов, накопленных научным сообществом; применения быстро развивающихся информационных технологий в условиях непрерывного расширения их возможностей по решению сложных и трудоёмких задач; оперативной многовариантной оценки и переоценки геологических ресурсов, балансовых, забалансовых, вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов месторождений. Многоэтапный процесс оценки и переоценки должен учитывать, как текущую и прогнозируемую конъюнктуру рынка различных марок и сортов угля, так и возможности максимально полного выявления и использования минерально-сырьевого потенциала самих

месторождений на основе эффективного применения ресурсосберегающих, экологически приемлемых и экономически эффективных наилучших доступных геотехнологий.

Лаборатории открытых горных работ ИГД СО РАН и проблем рационального освоения минерально-сырьевых ресурсов ИГДС СО РАН выполняют исследования в области комплексного управления качеством угля в цепочках его разведки, добычи, обогащения и логистики. Объектами изучения выступают месторождения коксующегося и энергетического угля Якутии. Для ряда из них сформированы, зарегистрированы и пополняются специализированные базы данных с отобранными и сохранёнными в различных форматах текстовыми и табличными материалами, графическими документами, цифровыми файлами. С учётом многоаспектности проблемы в базы введены и анализируются сведения, относящиеся не только к основной проблеме в рамках специальностей наук о Земле, но и по смежным отраслям.

Построение каркасных и блочных моделей месторождений, геостатистический анализ их запасов осуществляется с применением программных комплексов «Майнфрейм», «Микромайн», ArcGIS. Изучается характер и закономерности распределения запасов угля в пространстве: зольность общая и связанные с ней составляющие; окисленность угля в зонах выходов пластов на поверхность, переходных, тектонических нарушений, обводненных, находящихся в многолетней мерзлоте; обогащаемость и спекаемость с дифференциацией по технологическим маркам и сортам на различных участках месторождений; теплотворная способность. По уточненным условиям отработки пластов с применением различных геостатистических методов строятся геолого-технологического карты качества. Они являются одной из основ для: формирования максимально точных и достоверных представлений о расположении в пластах типов и сортов угля, различных по составу, параметрам, свойствам, структурно-текстурным характеристикам; планирования и ведения горных работ в режиме управления качеством добываемого угля на различных этапах промышленного освоения залежей. Из полученных на основе выполненных исследований результатов отметим те, которые прямо или косвенно имеют отношение к вопросу совместного картирования показателей качества угля.

Показано, что добывающая компания, являясь сложной вероятностной системой, работает на контакте геологической и рыночной сред, которые выступают носителями разных категорий неопределенности, влияющих на успешность предприятия. Предложены типы минерально-сырьевого потенциала, учитывающие стадию разведки месторождения, характер изучения его вещественного состава, этап освоения геологиче-

ского объекта. В соответствии с современными требованиями оценку запасов следует производить с учётом увеличения количества одновременно контролируемых и управляемых параметров. В отношении угольных месторождений Южной Якутии это дополнительно могут быть показателями окисленности угля ОХ по стандарту ASTM D5263, реакционная способность кокса CRI и прочность кокса после взаимодействия с  $\text{CO}^2$  – CSR, содержание вредных и опасных компонентов в угле в соответствие с новыми стандартами основных потребителей российского топлива в Китае, Японии, Южной Корее. В контексте комплексного использования потенциала месторождений этот перечень следует дополнить попутно извлекаемыми компонентами, например, металлами, такими как германий, галлий, уран. Более точное представление о достижимом технико-экономическом потенциале месторождений должно производиться суммированием потенциала его раздельно оцениваемых участков, пластов, пачек.

На примере Эльгинского месторождения путём дифференциации зольности угля на составляющие разработана методика оценки технологического и природного разубоживания, показана высокая изменчивость составляющих и целого по площади пластов и в разрезе. Угольные предприятия учитывают данный факт недостаточно, что ведет к неполному использованию геологического потенциала сложно построенных месторождений. Показаны возможности повышения полноты и качества отработки запасов угля на основе изучения структуры и приконтактных зон пластов с использованием предложенных схем управления зольностью при добыче угля за счет извлечения породных и высокозольных прослоев разной мощности. С целью более эффективного использования выполнено разделение запасов угля на технологические марки, группы и подгруппы, например, легко-, средне- и труднообогащаемые, что создает новые возможности для более эффективного управления при решении задачи максимизации выхода концентрата с заданной зольностью. С использованием уточнённых горно-геологических условий отработки различных участков и пластов месторождений проведены работы по конструированию технологических схем с валовой и селективной выемкой угля. Разработан способ экспресс-анализа прибыли от отработки участка угольного месторождения. Данный показатель, рассмотренный как функция запасов угля, коэффициента извлечения при обогащении, потерь, разубоживания, цены, затрат, уровня надежности предприятия, варьирует в широком диапазоне, а уровень самостоятельного влияния каждого фактора и их сочетаний может быть различным.

Повышение достоверности представлений о сложных угольных месторождениях как объектах эффективного и сбалансированного освоения предполагает развитие методических подходов, связанных с взаимной увязкой и совместным использованием геологических и геотехно-

логических моделей, выбором линейных и нелинейных методов интерполяции для более точной оценки в запасах типов и сортов угля, их потребительских свойств, включая неаддитивно изменяющиеся.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА**

**Кубрин С.С., Загоршменный И.М., Загоршменный А.И.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

Анализ результатов работы шахт АО «СУЭК-Кузбасс» показывает, что в условиях отработки высокогазоносных пластов применяемые способы и схемы проветривания не обеспечивают снятия ограничений на выемочных участках по газовому фактору для работы оборудования в полном объеме. В тоже время анализ режимов работы механизированного комплекса показывает наличие резервов по производительности в процессе выполнения цикла по выемке угля. В этом случае необходимо рассматривать режимы работы выемочного комплекса при оперативном управлении выемочным комбайном, учитывая максимально возможную скорость подачи комбайна в текущий момент времени на основе прогноза концентрации метана в соответствии с требованием ПБ в пределах выемочного участка. Возможность разработки модели оперативного управления подтверждается результатами натурных наблюдений в лаве 17-49 шахты «Польсаевская» [1].

С целью установления зависимости изменения скорости подачи комбайна во времени, было проведено моделирование отбойки и транспортировки угля в пределах выемочного участка. Рассмотрен процесс выемки угля при движении комбайна от конвейерного штрека к вентиляционному штреку. Ограничивающим фактором является объем метана выделяемого из отбитого угля в пределах выемочного участка. При этом предполагается, что объем выделяемого метана пропорционален объему отбитого угля. Изменение выделения количества метана во времени не учитывалось.

Исходные данные моделирования соответствуют выемочному участку № 17-49 пласта Бреевский шахты «Польсаевская» АО «СУЭК-Кузбасс».

Для описания перемещения изменяющихся объемов угля в пределах выемочного участка при изменении скорости подачи комбайна и влияния на показатели датчика метана на вентиляционном штреке выемочного участка необходимо использовать дискретную функцию сдвига, так как аналитическими методами данная система не может быть описана.

В общем случае движение выемочного комбайна вдоль линии забоя происходит с некоторой скоростью  $V_k$ , изменяющейся по неизвестному закону  $V_k = V_k(t)$ . Тогда местоположение выемочного комбайна определяется как координата  $x(t)$  и находится из решения дифференциального уравнения  $\frac{dx}{dt} = V_k(t)$ .

При работе комбайна уголь в точке  $x$  попадает на скребковый конвейер. Объем угля можно описать функцией  $\varphi = \varphi(x)$ . Загрузка лавного конвейера меняется в пространстве и во времени  $\varphi = \varphi(x, t)$ .

Тогда, с учетом того, что скорость у большинства лавных (скребковых) конвейеров постоянна и не может быть изменена ( $V_{sk} = const$ ), увеличение объема угля в результате отбойки его выемочным комбайном (в приближении, что весь отбитый уголь перемещается на скребковый конвейер и пренебрегая габаритами выемочного комбайна) запишется выражением  $\varphi = \varphi(x_k, t) = \varphi(x_{ki}, t_i) + dM = \varphi(x_i, t_i) + \gamma hm V_k dt$  ( $\gamma$  – объемный вес угля,  $h$  – длина шнека,  $m$  – мощность пласта). Перемещение груза скребковым конвейером (со скоростью  $V_{sk}$ ) – операция сдвига – преобразование функции  $\varphi(x, t)$ , которое описывается выражением  $\varphi(x_i, t + dt) = \varphi(x_i - V_{sk} dt, t)$  для всего пространства лавы (то есть для всех  $x_0 \leq x_i \leq x_n$ ,  $x_0$  – координата начала скребкового конвейера, расположенного у нижнего штрека в месте, где происходит пересып угля со скребкового конвейера на перегружатель,  $x_n$  – координата конца скребкового конвейера, расположенного у верхнего штрека). При этом часть конвейера, расположенная у верхнего штрека, и представляющая собой участок, который появился за отрезок времени  $dt$ , остается пустой  $\varphi(x, t) = \varphi(x_n \div x_n - V_{sk} dt, t + dt) = 0$ .

Уголь, который находился на лавном конвейере, на нижнем сопряжении поступает на перегружатель. Этот объем угля равен  $\varphi_{out}(x, t) = \varphi(x_1 \div x_1 + V_{sk} dt, t)$ . Аналогично лавному конвейеру перемещение горной массы осуществляется на перегружателе, дробильном комплексе и ленточном конвейере.

Соотношения, описывающие поступление угля на технологическое оборудование (скребковый и ленточный конвейера, перегружатель, дробилку) имеют вид:

$$\begin{cases} \varphi_{sk}(x_i, t_i) + dM = \varphi_{sk}(x_i, t_i) + \gamma hm V_k dt \quad (x_i = x_k) \\ \varphi_p(x_i, t_i) + dM = \varphi_p(x_n \div x_n - V_p dt, t_i) = \varphi_{sk}(x_1 \div x_1 + V_{sk} dt, t_i) \frac{V_{sk}}{V_p} \\ \varphi_d(x_i, t_i) + dM = \varphi_d(x_n \div x_n - V_d dt, t_i) = \varphi_p(x_1 \div x_1 + V_p dt, t_i) \frac{V_p}{V_d} \\ \varphi_{lk}(x_i, t_i) + dM = \varphi_{lk}(x_n \div x_n - V_{lk} dt, t_i) = \varphi_d(x_1 \div x_1 + V_d dt, t_i) \frac{V_d}{V_{lk}} \end{cases} \quad (1)$$

В соотношении (1) следующие обозначения: индекс sk – скребковый конвейер; индекс p – перегружатель; индекс d – дробилка; индекс lk – ленточный конвейер. Аналогично учтены процессы описывающие перемещение угля по технологическому оборудованию и перемещение (пересып) угля с одного на другое технологическое оборудование [2].

При моделировании процессов отбойки и перемещении отбитого угля в пределах выемочного участка был предусмотрен критический объем угля в объеме 70 тонн. Начальная скорость подачи комбайна принята 10 м/мин., что соответствует техническим возможностям применяемого в лаве оборудования. С учетом указанного ограничения получен график движения комбайна с указанием номеров секций, где скорость должна быть скорректирована в меньшую сторону. В результате применения оперативного управления очистным комбайном время рабочего прохода очистного комбайна (снятия «стружки») составило 32,4 минут, что на 25% позволило увеличить производительность комбайна в сравнении с номинальным режимом, предусмотренным технической документацией и увеличить суточную нагрузку на очистной забой с соблюдением требований по безопасному ведению горных работ. Выбирая режим движения комбайна при отбойке угля можно спрогнозировать его объемы на транспортной системе выемочного участка в определенный период времени.

Анализ результатов моделирования позволил определить диапазон приемлемых скоростей подачи выемочного комбайна при проведении шахтного эксперимента. После получения результатов шахтного эксперимента, аналогичные параметры были использованы в разработанной модели. Полученные результаты представлены в табл. 1

**Таблица 1**

**Результаты шахтных экспериментов и моделирования**

Средняя скорость подачи комбайна (м/мин.)	Продолжительность наблюдений, с	Вынимаемая мощность, м	Объем угля, определенный на основе модели, т	Фактический объем угля, т	Погрешность, %
2,15	595	1,74	47,86	44,5	7
5,9	363	1,74	78,76	71,5	9,2
3,83	629	1,74	90,12	85,2	5,5
10,15	112	1,74	42,52	37,5	11,8
5,26	234	1,74	46,06	48,1	4,6

Наибольшая погрешность не превышает 11,8%. В целом, с учетом всех рассмотренных зон (с 1-й по 5-ю), отклонение вычисленного общего

объема угля от фактически замеренного, составляет 7,6%. Это свидетельствует об адекватности разработанной математической модели описания технологического процесса отбойки и транспортировки угля и о возможности использования математического моделирования для нахождения оптимальных режимов работы комплексно-механизированного забоя.

### **Список литературы**

1. Копылов К.Н., Загоршменный И.М., Кубрин С.С. Вопросы управления очистным комплексом при отработке высокогазоносных пластов на примере шахты «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс»// Уголь. – 2016. – № 12. – С. 32-34 .DOI:10.18796/0041-5790-2016-12-32-34.

2. Копылов К.Н., Кубрин С.С., Загоршменный И.М. Использование моделирования для управления очистным комбайном в высокопроизводительных лавах// Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 4.– С. 30–40. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-30-40.

## **НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОСТРОЕНИЮ И ПАРАМЕТРАМ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ**

**Кубрин С.С., Загоршменный И.М., Харченко А.В.**

*ИПКОН РАН, г. Москва*

Согласно п.22 Федеральных норм и правил [1] в горных выработках шахты надшахтных зданиях и сооружениях должен быть оборудован комплекс систем и средств, обеспечивающий организацию и осуществление безопасности ведения горных работ, контроль и управление технологическими и производственными процессами в нормальных и аварийных условиях и такой комплекс объединяется в многофункциональную систему безопасности (МФСБ). В настоящее время при росте объемов добычи угля возрастают нагрузки на забой и на скорость передвижения фронта очистных работ. Значительно выросли размеры выемочных блоков, что привело к росту объемов подготовительных работ. Общая протяженность горных выработок выросла в несколько раз. Все это увеличивает риски возникновения инцидентов, аварийных ситуаций и аварий. Поэтому, следует изменить не просто отдельные требования, предъявляемые к МФСБ для угольных шахт, но и сам подход к проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации этих многофункциональных систем безопасности. В связи с этим появилась необходимость пересмотра и актуализации существующих нормативов [2, 3] с целью систематизация терминов и определений, требований национальных и международных нормативных документов, опыта эксплуатации и результатов расследования аварий.

В переработанной версии ГОСТ МФСБ состоит из следующих подсистем:

- Аэрологическая безопасность обеспечивается подсистемами:
  - контроля и управления стационарными вентиляторными [газоотсасывающими] установками, вентиляторами местного проветривания;
  - контроля и управления дегазационными установками и подземной дегазационной сетью;
  - аэрогазового контроля;
  - контроля запыленности, пылевых отложений и управления пылеподавлением;
  - контроля изолирующих перемычек и прилегающей области выработанного пространства за ними.
- Геодинамическую безопасность за счет контроля динамических явлений массива горных пород, контроль и прогноз внезапных выбросов и горных ударов обеспечивают подсистемы:
  - геофизического регионального и локального прогноза внезапных выбросов и горных ударов;
  - деформационного контроля угольного массива и горных пород.
- Противопожарную безопасность обеспечивают подсистемы:
  - контроля и управления пожарным водоснабжением
- Связь, оповещение и определение местоположения персонала обеспечивают подсистемы:
  - наблюдения [определения] местоположения персонала (позиционирование);
  - аварийного оповещения;
  - поиска [обнаружения] людей, застигнутых аварией;
  - оперативной, технологической, громкоговорящей и аварийной подземной связи;
  - прямой телефонной и дублирующей ее альтернативной связи с аварийной горноспасательной службой, обслуживающей шахту.
- Взрывозащиту обеспечивают подсистемы:
  - контроля и управления средствами взрывозащиты горных работ;
  - контроля и управления средствами взрывозащиты в газоотсасывающих и дегазационных трубопроводах и установках.

Подготовленные сотрудниками ИПКОН РАН редакции указанных ГОСТ, соответствуют научно-техническому уровню национальных стандартов, опыту использования многофункциональных систем безопасности и будут способствовать повышению безопасности работ, со-

кращению затрат на поиски новых технических решений, унификации изделий, повышению ведения горных работ.

### **Список литературы**

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Серия 05. Выпуск 40. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2019. 198 с.
2. ГОСТ Р 54977-2012 «Оборудование горно-шахтное. Системы безопасности угольных шахт многофункциональные. Термины и определения» М.: Стандартинформ, 2013.
3. ГОСТ Р 55154-2012 «Оборудование горно-шахтное. Системы безопасности угольных шахт многофункциональные. Общие технические требования». М.: Стандартинформ, 2013.

## **РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА ОСНОВНЫХ ПРОЦЕССОВ НА КАРЬЕРАХ**

**Адилханова Ж.А., Бояндинова А.А.**

*Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «Институт горного дела  
им. Д.А. Кунаева», Алматы, Казахстан*

Эффективный менеджмент технологических процессов на горнодобывающем предприятии – залог прибыльного и успешного предприятия. Несмотря на достаточно высокий научный, теоретический и практический уровни развития данного направления, обилие представленных на рынке программных продуктов, вопрос эффективного технологического менеджмента остается весьма актуальным и важным. Проведенный авторами анализ позволил установить, что наиболее слабым звеном существующих систем является учет взаимосвязи параметров технологии горных работ и технологии производственных процессов, горнотехнических условий эксплуатации карьера и пр. Кроме того, при установлении плановых показателей не учитываются в должной мере техническое состояние и степень износа технологического оборудования, как следствие, нормы выработки устанавливаются некорректно. Это негативно влияет на качество оперативного планирования и принимаемых управленческих решений. Таким образом, разработка системы технологического менеджмента на карьерах является актуальной задачей, востребованной предприятиями.

Информационная платформа системы технологического менеджмента строится на основе архитектуры «клиент-сервер» и содержит ряд рабочих мест для специалистов и три сервера (коммуникационный, баз

данных и приложений), объединённых в локальную сеть [1]. Коммуникационный сервер управляет процессом передачи данных и обеспечивает преобразование форматов представления данных, поступающих по каналам связи от внешних информационных систем. Сервер баз данных обеспечивает реализацию запросов к единой базе данных от всех рабочих мест. Сервер приложений предназначен для выполнения программ имитационного моделирования.

Одним из важнейших преимуществ трехуровневой архитектуры клиент-сервер является разгрузка сервера баз данных от выполнения части операций, перенесенных на сервер приложений. Сервер приложений может быть запущен в одном или нескольких экземплярах на одном или нескольких компьютерах, что позволяет использовать вычислительные мощности организации столь эффективно и безопасно, как этого пожелает администратор системы.

Применение такого подхода позволит распределить уровень бизнес-логики среди нескольких компонентов и уменьшить количество проблем при развертывании системы путем централизации большего количества логики на серверах. Серверные компоненты, перешедшие на выделенные сервера приложений, обеспечивают возможность управления пулами соединений с базой данных, облегчая задачу серверу баз данных за счет значительного уменьшения одновременного количества соединений, т.к. одно соединение может обеспечить работу нескольким клиентам [2].

Другим немаловажным преимуществом выбранной архитектуры является снижение сетевого трафика при выполнении запросов. Между клиентской программой и сервером приложений передается лишь минимально необходимый поток данных – аргументы вызываемых функций и возвращаемые от них значения. Например, при необходимости выбора пяти записей из таблицы, содержащей миллион, клиентское приложение посылает серверу запрос, который сервером компилируется и выполняется, после чего результат запроса (те самые пять записей, а вовсе не вся таблица) передается обратно клиентской программе.

Также важным преимуществом является упрощение настройки клиентов – при изменении общего кода сервера приложений автоматически изменяется поведение приложений клиентов, т.е. обеспечивается единое поведение всех клиентов. Данное преимущество позволяет эффективней наращивать функциональность и обновлять программное обеспечение.

Еще одним преимуществом архитектуры клиент-сервер является возможность хранения бизнес-правил на сервере, что позволяет избежать дублирования кода в различных приложениях, использующих общую базу данных. Вэтом случае любое редактирование данных, в том

числе и редактирование нештатными средствами, может быть произведено только в рамках этих правил.

Кроме того, для описания серверных бизнес-правил в наиболее типичных ситуациях существуют весьма удобные инструменты – CASE-средства, позволяющие описать удобные правила, и создавать реализующие их объекты базы данных (индексы, триггеры), буквально рисуя мышью связи между таблицами без какого бы то ни было программирования. При этом клиентское приложение будет избавлено от значительной части кода, связанного с реализацией бизнес-правил непосредственно в приложении. Отметим также, что часть кода, связанного с обработкой данных, также может быть реализована в виде хранимых процедур сервера, что позволяет еще более «облегчить» клиентское приложение, а это означает, что требования к рабочим станциям могут быть не столь высоки. Это, в конечном итоге, удешевляет стоимость автоматизированной системы даже при использовании дорогостоящей серверной СУБД и мощного сервера баз данных.

Таким образом, базовая информационная платформа, построенная на архитектуре «клиент-сервер», состоит из трех основных подсистем:

- сервер баз данных, управляющий хранением данных, доступом и защитой, резервным копированием, отслеживающий целостность данных в соответствии с бизнес-правилами и выполняющий запросы клиента;
- клиент, предоставляющий интерфейс пользователя, выполняющий логику приложения, проверяющий допустимость данных, посылающий запросы к серверу и получающий ответы от него;
- сеть и коммуникационное программное обеспечение, осуществляющее взаимодействие между клиентом и сервером посредством сетевых протоколов.

Конфигурация информационного обеспечения клиент-сервер использует трехуровневую модель, в которой клиент обращается к услугам сервера приложений, а тот, в свою очередь, к серверу баз данных. Диалоговые компоненты «Средства представления» и «Логика представления» размещаются на клиенте, что позволяет обеспечить графический интерфейс. Компоненты управления данными «Операции с базой данных» и «Файловые операции» размещаются на сервере баз данных, логика «Прикладная логика» и «Логика управления данными» – на сервере приложений, который осуществляет обработку данных и основные расчеты.

Поскольку эта схема предъявляет наименьшие требования к серверу, она обладает наилучшей масштабируемостью. Для сокращения нагрузки на сеть и упрощения администрирования приложений компо-

нент «Прикладная логика» в информационной платформе размещается на сервере. При этом вся логика принятия решений оформляется в виде хранимых процедур и выполняется на сервере баз данных.

Таким образом, разработана архитектура системы технологического менеджмента основных процессов на карьерах, которая характеризуется хорошей масштабируемостью, надежностью, пониженной нагрузкой на сеть, простотой настройки клиентских рабочих мест.

Дальнейшая реализация выполненных исследований позволит осуществлять календарное планирование горно-транспортных работ с учетом фактического технического состояния основного технологического оборудования, наличия и характера проявления индивидуальных горно-геологических и горнотехнических условий, оперативно и экономически эффективно реагировать на их изменения, осуществлять оптимизацию работы горно-транспортного комплекса. Нормы выработки устанавливаются для каждой единицы конкретно взятого оборудования с учетом его типа, технических возможностей, степени использования во времени, режима эксплуатации, качества формируемого рудопотока и пр. Такой подход позволяет на порядок повысить уровень качества управления производственными процессами.

*Работа выполнена в рамках темы «Разработка научно-методического обеспечения системы менеджмента технологических процессов на карьерах» Программно-целевого финансирования по договору № 279 от 29.03.2018 г.*

### **Список литературы**

1. Эммерих В. Конструирование распределенных объектов. – М., 2002. – 512 с.
2. Г.И. Радченко Распределенные вычислительные системы. – Челябинск, 2012. – 184 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ МЕДНОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ АО «АГМК»**

**Мансуров А.А., Кузиев Д.А.**

*НИТУ «МИСиС», г. Москва*

ОАО «Алмалыкский ГМК» – ведущее предприятие в Узбекистане по производству цветных и драгоценных металлов. Медная обогатительная фабрика (МОФ) входит в состав комбината и является основным объектом по переработке руд.

Основные процессы (измельчение, обогащение) переработки полезного ископаемого происходят в цехе измельчения и флотации. Процесс измельчения является наиболее энергоемким и требующим больших затрат процессом в технологии переработки руд. Даже небольшое повышение эффективности эксплуатации оборудования для измельчения медной обогатительной фабрики, сулит большие экономические выгоды для комбината и страны в целом.

Высокий уровень технического обслуживания и ремонта, наличие необходимого числа запасных частей позволяет эффективно использовать машины и оборудование, создает условия для бесперебойной безопасной работы при условии максимальной производительности каждой единицы оборудования и наименьшими эксплуатационными расходами.

Среди основного электромеханического оборудования отделения измельчения обогатительной фабрики, мельница является самым сложным энергоемким оборудованием.

В общем случае эффективность работы мельниц можно повысить следующими путями:

1. Замена изнашивающихся металлических частей оборудования на износостойкую резину, полимерные и композитные материалы.

2. Отказ от громоздких спиральных классификаторов в пользу компактных и производительных гидроциклонов.

3. Применение мельниц самоизмельчения.

4. Применение наиболее механизированных приспособлений для ремонта оборудования и оптимизация организации ремонтов.

5. Применение передовых технологий по ранней диагностике и устранению дефектов и повреждений оборудования.

6. Разработка и внедрение новых конструкций механических передач на основе зацепления через «третье тело» и «орбитального» зацепления.

7. Разработка мельниц электромагнитного измельчения (ЭМИ).

8. Разработка и внедрение мельниц на основе электрогидравлического эффекта.

В данной работе остановимся на эффективности измельчительного оборудования (шаровых мельниц), за счет применения механизированных приспособлений для ремонта оборудования и оптимизация организации ремонтов.

Мельница состоит из стального барабана и привода. Срок службы барабана может достигать до 25-30 лет. При измельчении руд крепостью  $f = 14 \div 18$  барабан подвергается абразивному и гидроабразивному износу, поэтому футерован плитами. Стальные крышки с обоих концов,

также защищены футеровкой. Футеровка мельниц стальная, отливается преимущественно из стали 110Г13Л. Масса одной футеровочной плиты 340÷500 кг. Срок службы футеровок составляет от 6 до 15 месяцев. При проведении текущих ремонтов (для крупногабаритных мельниц – через 8160 час.) требуется замена футеровочных плит.

Ремонт мельниц на АГМК в настоящее время все еще осуществляется с помощью ручного труда. Средства механизации для наиболее тяжелых операций (выбивка болтов, крепления футеровочных плит, обрушивание изношенных футеровочных плит, укладка новых плит в барабане мельницы, обтяжка гаек болтов по месту установки мельницы и другие операции) отсутствуют. Поэтому целесообразна разработка и внедрение конструкций для механизации самых трудоемких операций текущего ремонта – перефутеровки.

Техническое обслуживание и ремонт оборудования (мельниц) осуществляется силами подразделений АО «АГМК». Повышение эффективности существующих мельниц МОФ обеспечивается улучшением условий эксплуатации за счет собственных средств. В частности за счет механизации ремонтных работ можно обеспечить уменьшение времени простоев оборудования в ремонте.

На основании материалов, опубликованных в журналах, на зарубежных фабриках используют приспособления для выполнения перефутеровочных работ внутри барабанов мельниц фирм ООО «ХК «ИНТРА ТУЛ», компаний Russell Mineral Equipment, Outotec, «Новые Технологии» официального дилера холдинга «ИНТЕХПРОС», а также предприятий-изготовителей ЧАО «НКМЗ», «УРАЛМАШ» и других.

Конечно, внедрение всех этих устройств, требует времени и средств. Ввиду этого, для повышения эффективности мельниц, считаю целесообразным изготовление и использование несложного приспособления для механизации перефутеровки мельниц диаметром 4,5м. Данная конструкция разработана специалистами ремонтной службы МОФ АО «АГМК».

Приспособление (Рис.1), имеет захват – фиксирующий штырь 1, который вставлен в овальное отверстие прижимной планки 2 и отверстие футеровочной плиты. Прижимная планка соединена со стрелой 3 через пространственный шарнир 4, одна из трех осей которого проходит через центр тяжести футеровочной плиты для ее легкого поворота при укладке на место крепления, а одна – фиксируемая регулировочным болтом 5 для создания определенной ориентации плиты. Стрела получает движение от лебедки 6, монтированной на оси 7, установленной в шарнирных рычагах 8, соединенных с кронштейнами 9.

Кронштейны закреплены на люках барабана. Овальные отверстия планки и плиты на штыре выполнены для предотвращения самопроизвольного поворота плиты вокруг штыря 1.

Захватные кулачки 10, шарнирно соединены с проушиной 11, связанной резьбовым соединением со стержнем 12, снабженным рукояткой 13 для его вращения. При вращении рукоятки кулачки двигаются вперед (назад), опираясь на упор 14, выдвигаются (убираются) из прорезей штыря и таким образом производится фиксация плиты. Для более надежной фиксации плиты производится поджим ее передвижным упором 15. 16 – скоба для безопасности работ.

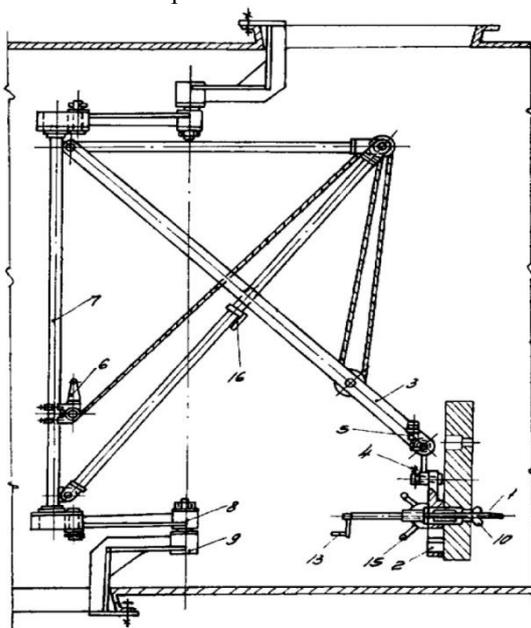


Рис. 1. Конструкция устройства для перефутеровки шаровых мельниц

Приспособление является наиболее простым и минимально затратным в изготовлении. Приспособление выполнено из условия его удобного монтажа внутри мельницы, оно состоит из отдельных узлов весом, не превышающим 45кг, что обеспечивает его сборку вручную, не прибегая к подъемным средствам.

Экономия времени на перефутеровку при ремонте одной мельницы составит до 16 часов. За счет сокращения времени нахождения оборудо-

вания в ремонте, повышается эффективность его эксплуатации в условиях МОФ ОАО «Алмалыкский ГМК».

### **Список литературы**

1. Думов А.М. Оборудование фабрик по переработке минерального сырья: учеб.пособие / А.М. Думов, А.А. Николаев. – М.: Изд. Дом НИТУ «МИСиС». 2016.
2. Донченко А.С. Справочник механика рудообогатительных фабрик, М., «Недра», 1986.
3. Притыкин Д.П. Механическое оборудование заводов цветной металлургии. Часть I, М., Металлургия, 1988.
4. Свирин В.Г. Ремонтно-вспомогательное хозяйство обогатительных фабрик, М., Недра, 1983.
5. intratool.com
6. rmeglobal.com
7. intehros.ru
8. nkmz.com
9. uralmash.ru

## **ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ**

**Решетняк С.Н.**

*НИТУ «МИСиС», ИПКОН РАН, г. Москва*

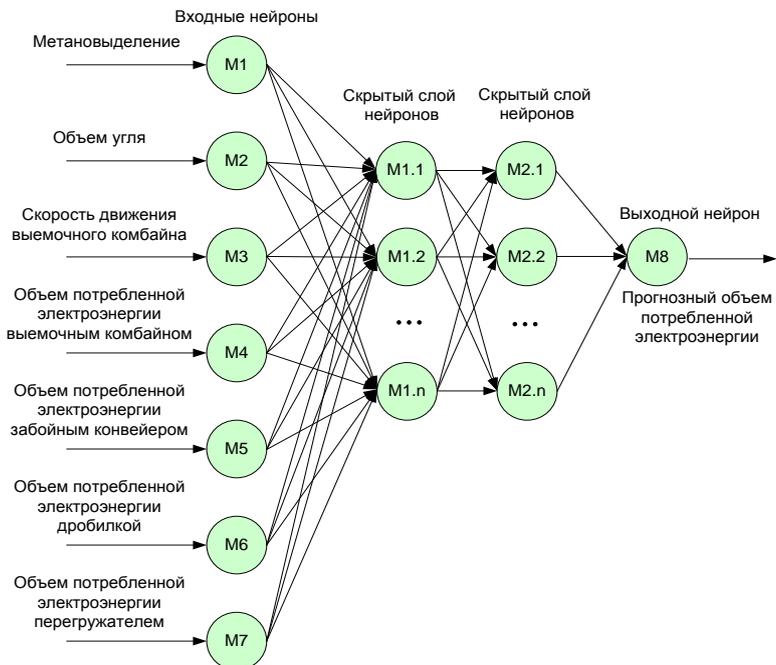
Повышение уровня энергетической эффективности в условиях высокопроизводительных угольных шахт, является весьма актуальной задачей, это позволит повысить уровень конкурентоспособности на мировом рынке угля, которые в данный момент переживает не простые времена. В настоящее время проводится ряд научных исследований по повышению уровня эффективности технологического процесса извлечения угля [1], по внедрению новых способов повышения энергетической эффективности в условиях высокопроизводительных угольных шахт [2, 3]. Однако, с целью прогнозирования удельных объемов электропотребления, при изменении режимов работы основного технологического оборудования, а также изменению горно-геологических условий, необходимо создание нейронной сети, системы электроснабжения высокопроизводительного выемочного участка угольной шахты.

Искусственные нейронные сети – это технология, которая основана на нейрофизиологии, физике, математике, статистике, технике и компьютерных науках. Любые искусственные нейронные сети состоят из

совокупности нейронов и их связей между собой. Нейроны являются обрабатывающими элементами сети (процессорами) и их способности обработки данных ограничены двумя правилами: правилом комбинирования входных сигналов и правилом активации. Эти правила дают возможность по некой совокупности входных сигналов определить сигнал на выходе. Этот сигнал при помощи взвешенных связей передается другим элементам. Каждая взвешенная связь имеет свой весовой коэффициент (вес) и от его значения зависит, усилится передаваемый сигнал или будет подавляться[4, 5].

На рис. 1 представлена Прогнозная модель электропотребления высокопроизводительного выемочного участка угольной шахты построенная с использованием искусственной нейронной сети. Данная модель состоит из семи входных нейронов, двух скрытых слоев нейронов, а также одного выходного нейрона. В частности, в качестве входных используются нейроны получающие сигналы по метановыделению, объему добытого угля, скорости движения выемочного комбайна, объемах потребленной электроэнергии выемочного комбайна, забойного конвейера, дробилки и перегружателя. Внутри нейронной сети имеется 2 скрытых слоя нейронов обеспечивающих решения определенных задач по обучению. В качестве результирующего выступает выходной нейрон, с которого выходит прогнозный объем потребленной электроэнергии выемочного участка угольной шахты.

В математическом представлении модель нейрона описывается следующей парой уравнений:



**Рис. 1. Прогнозная модель электропотребления высокопроизводительного выемочного участка угольной шахты построенная с использованием искусственной нейронной сети**

$$u_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j;$$

$$y_k = \varphi(u_k + b_k),$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_m$  — входные сигналы;  $w_1, w_2, \dots, w_{km}$  — синаптические веса нейрона  $k$ ;  $u_k$  — линейная комбинация входных воздействий;  $b_k$  — порог;  $\varphi(u_k + b_k)$  — функция активации;  $y_k$  — выходной сигнал нейрона.

Сумма взвешенных входных сигналов и порога называется локальным индуцированным полем нейрона:

$$v_k = u_k + b_k.$$

Функция активации  $\varphi(v)$  определяет величину выходного сигнала нейрона в зависимости от индуцированного локального поля  $v$ .

Нейроны можно разделить на три группы:

- Входные (получают сигналы извне).
- Выходные (выводят результаты вычислений во внешнюю среду).
- Скрытые (нужны для того, чтобы изменять сигналы).

В заключении следует отметить, что при использовании искусственной нейронной сети для создания прогнозов потребления электроэнергии на угольной шахте, то можно заметить некоторые преимущества, по отношению к другим методам прогнозирования:

- снижение вероятности ошибок происходит из-за того, что технология прогнозирования электропотребления путем использования нейронных сетей, дает возможность установить сложные зависимости количества потребляемой электроэнергии от входных данных;
- нейронная сеть может самостоятельно определить, важность того или иного параметра (фактора) в зависимости от того, какое влияние он оказывает на конечный размер потребляемой энергии.
- возможность обучения нейронной сети, при изменении ряда технологических и горно-геологических параметров добычи угля подземным способом, на основе новых полученных данных.

### Список литературы

1. Рубан А.Д., Артемьев В.Б., Забурдяев В.С., Забурдяев Г.С., Руденко Ю.Ф. Проблемы обеспечения высокой производительности очистных забоев в метанообильных шахтах. – М.: Издательство ООО «Московский издательский дом», 2009г. – 396 с.
2. Копылов К.Н., Кубрин С.С., Решетняк С.Н. Актуальность повышения уровня энергоэффективности и безопасности выемочного участка угольной шахты. Уголь 2018 № 10 с. 66 – 70. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-66-70.
3. Reshetnyak S., Bondarenko A. Analysis of technological performance of the extraction area of the coal mine. III-rd International innovative mining symposium, IIMS 2018 Kemerovo. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101014 (дата обращения 20.08.2020).
4. Хайкин Саймон. Нейронные сети. Полный курс. 2-е изд., испр. / Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.
5. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия — Телеком, 2002. – 382 с.

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ РАБОТ

---

---

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ В ГОРНОРУДНЫХ РАЙОНАХ

Янин Е.П.

*ГЕОХИ РАН, г. Москва*

Экологическая геохимия изучает историю химических элементов в окружающей среде, распределение и поведение которых – поступление, миграция, концентрирование, трансформация, биопоглощение – определяются биогеохимической функцией человечества [9]. Понятие «недропользование» объединяет различные формы эксплуатации природно-ресурсного потенциала недр и мер по их рациональному использованию и сохранению [4]. Все виды недропользования сопровождаются разнообразными по характеру и степени проявления техногенными (прежде всего, геохимическими и минералогическими) процессами.

Важнейшим видом недропользования является добыча рудных полезных ископаемых, масштабы воздействия которой на окружающую среду горных районов настолько велики, что всецело определяют их современные эколого-геохимические особенности. «Рудная деятельность человечества, – как в свое время отметил В.И. Вернадский, – является одним из больших биогеохимических процессов современной эпохи и вносит новое в геохимию всех химических элементов» [1, с. 528]. А.Е. Ферсман [7] показал, что геохимическая работа человека в ходе горнорудной деятельности может быть сведена к трем основным пунктам: 1) извлечение химических элементов из недр, 2) интенсивное перераспределение (распыление) их на земной поверхности, 3) колоссальное накопление горных масс, изъятых из естественной обстановки и поставленных в новые геохимические условия, что сопровождается образованием новых видов химических соединений и осадочных отложений. Важен и тот факт, что в настоящее время в большинстве случаев степень извлечения из добываемых руд полезных компонентов относительно невелика. Часто из них извлекается только 1–3 компонента при содержании в рудах в несколько раз большего числа потенциально полезных компонентов (и являющихся, нередко, опасными загрязняющими веществами). Например, по оценкам ИПКОН РАН [3], доля недоизвлеченных из исходных руд цветных металлов составляет (в %): Си 15–25, Zn 26–47, Ni 10–25, Pb 25–39, Mo 19–23, Sn 35–58, W 35–50. Эти потери,

связанные преимущественно с несовершенством обогатительных технологий, обусловили накопление в отходах цветной металлургии на начало 2000-х гг. огромные массы металлов (в тыс. т): 9000 Zn, 2480 Ni, 980 Pb, 114 Mo, 540 Sn, 129 W.

Техногенные геохимические преобразования, протекающие в горнорудных районах, нередко захватывают территории, многократно превышающие площади горных отводов, и проявляются в трансформации химического состава различных компонентов окружающей среды [5, 8]. Размеры зон влияния эксплуатируемых рудных месторождений и сопутствующих им предприятий на прилегающие территории достигают десятки, часто сотни, иногда даже тысячи квадратных километров; радиус образующихся при осушении месторождений депрессионных воронок составляет десятки километров. Особенно сильное воздействие испытывают поверхностные водные системы горнопромышленных районов. В таких районах ежегодно в отвалы поступают огромные массы отходов добычи и обогащения руд; отводятся (обычно в местные водные системы) значительные объемы сточных и дренажных вод; в атмосферу выбрасываются существенные количества пыли и газов, содержащих широкий круг химических элементов и их соединений, которые, осаждаясь на подстилающую поверхность, в конечном счете в составе поверхностного стока поступают в местные водотоки. Это резко интенсифицирует миграцию химических элементов и сопровождается формированием в окружающей среде интенсивных техногенных геохимических аномалий, обладающих полиэлементным составом и значительным протяжением. Наиболее интенсивные и протяженные геохимические аномалии (техногенные потоки рассеяния) формируются в водотоках в зонах влияния обогатительных фабрик и металлургических заводов (табл. 1, рис. 1).

**Таблица 1**

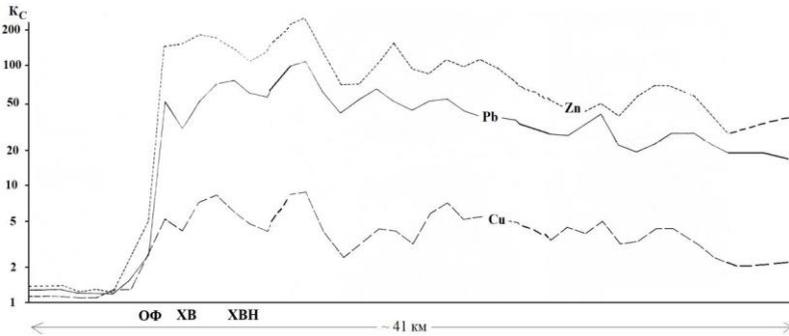
**Геохимические ассоциации в донных отложениях рек горнорудных районов Северной Осетия**

Источник (период воздействия)	Интервалы значений коэффициентов концентрации элементов относительно местного фона в русловом аллювии				
	> 100	100–30	30–10	10–3	3–1,5
1	2	3	4	5	6
Разведочные выработки	–	–	–	Pb	Zn-Cu-Ag-Bi
Горнорудное предприятие (20–25 лет)	–	–	Zn- Ag	Pb	Cu-Nb-Ga-Y-As

1	2	3	4	5	6
То же (35–40 лет)	–	–	Zn	Pb-Ag	Ba-Nb-Cu-Y-Sr-Bi-As
То же (> 150 лет)	–	Pb	Zn	Ag-Cu	Ga-Ni-Co-Sn-Bi-Nb-As
Горно-обогатительное предприятие (15–20 лет)	–	–	Zn	Pb-As	Y-Cu-Sc-Ag-Co-Ba-Sb-Bi
То же (90 лет)	–	Zn-Ag-Pb	Cu	Ba-Bi-Cd-As	Mn-Mo-Sn-Co-Zr-Nb-Hg-Sb
Металлургический завод	Ag-Cd-Zn-W-Pb-Hg	Mo-Sn-Bi-In	As-Co	Nb-Sb	Ga-Ni-Mn-Sr

Характер и интенсивность проявления последствий техногенеза в горнорудных районах в общем случае зависят от типа месторождения и состава руд, характера вмещающих пород (возраста и типа коры выветривания), гидрогеологических и ландшафтно-геохимических условий, а также от принятой системы добычи, транспортировки, обогащения и передела минерального сырья [2, 5, 8]. Особое значение имеют такие факторы, как количество сульфидов в разрабатываемой горной массе, степень проработки сульфидосодержащих пород процессами окисления, продолжительность существования источников воздействия, объемы и состав отходов и способы их хранения, объемы, состав, степень очистки и способы отведения сточных и дренажных вод, интенсивность поставки в водотоки твердого материала поверхностным стоком. С эколого-геохимической точки зрения особенно опасными являются промышленно-генетические типы месторождений, разработка которых приводит к увеличению мощности зоны гипергенеза и сопровождается резкими изменениями геохимических условий миграции химических элементов, что, например, типично, с одной стороны, для сульфидных месторождений (активная миграция Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Pb и др.), с другой стороны, для месторождений, связанных со щелочными породами (активная миграция Cr, TR, F, As и др.) [2]. Особенно опасным является разработка месторождений в северных тундрово-лесных районах, где развиты процессы выщелачивания.

Таким образом, в настоящее время в освоенных горнорудных районах существуют (формируются) два основных типа геохимических аномалий (являющихся, с утилитарной точки зрения, зонами загрязнения): природные (рудогенные) аномалии, обусловленные естественными процессами, и техногенные аномалии, связанные с основными видами про-



**Рис. 1. Тяжелые металлы (Cu, Pb, Zn) в донных отложениях р. Ардон в зоне влияния горнорудных объектов.**

$K_c$  – коэффициент концентрации относительно фона, ОФ – Мизурская обогатительная фабрика, ХВ – хвостохранилище (старое), ХВН – хвостохранилище (новое). График построен по результатам сглаживания 10-ти проб (отобранных на 5 створах, пробы на каждом створе отбирались у левого и правого берега)

изводительной деятельности, – геологоразведочными работами, горнорудными (добыча руд), горно-обогатительными (обогащение руд) и (в отдельных случаях) металлургическими (переработка руд) предприятиями. Техногенные геохимические аномалии, с одной стороны, должны учитываться при интерпретации материалов, получаемых при проведении поисково-съёмочных и геологоразведочных работ, особенно в старых горнорудных районах. С другой стороны, при выполнении оценок воздействия горного производства на окружающую среду, при проведении экологической экспертизы и при планировании функционального использования горнорудных территорий возникает необходимость разделения («разбраковки») рудогенных и техногенных геохимических аномалий.

В общем случае определение генезиса геохимических аномалий, установленных в ходе геологоразведочных работ или прикладных эколого-геохимических исследований, требует знания природных особенностей данного района, специфики воздействия геологоразведки, горнорудной промышленности, сопутствующей хозяйственно-бытовой деятельности на состояние окружающей среды, проявляющихся в особенностях распределения и поведения химических элементов и их соединений в различных природных компонентах, прежде всего, в почвах и донных отложениях водных объектов, способных длительное время депонировать техногенное загрязнение [10]. В горнорудных районах техногенные геохимические аномалии, фиксируемые почвами и донны-

ми отложениями водотоков, обычно отличаются четко выраженным градиентом концентрации химических элементов (загрязняющих веществ) от центра к периферии. Центральные части аномалий приурочены к источнику загрязнения, где уровни содержания элементов в десятки и сотни раз выше их фоновых концентраций. Их размеры обычно составляют первые квадратные километры, иногда больше. Менее интенсивные аномалии могут занимать более значительные по площади территории. Общий контур зоны воздействия горных работ на подстилающую поверхность в значительной степени определяется гидрометеорологической ситуацией (направлением, скоростью и частотой ветров). Зоны наиболее интенсивного воздействия связаны преимущественно со штилевыми условиями и периодами невысоких скоростей ветра, что обуславливает центральное положение источника загрязнения на площади выявленных аномалий. В горных условиях морфология аномалий во многом зависит от рельефа местности. Как правило, участки с наиболее контрастным накоплением элементов локализованы в пределах горно-долинных ландшафтов, где расположены источники воздействия. По своим размерам, комплексности состава и интенсивности концентрирования химических элементов техногенные аномалии в подавляющем большинстве случаев превосходят природные аналоги. Интенсивность концентрирования химических элементов обычно существенно увеличивается в ряду воздействия «поисково-оценочные работы – геологоразведочные работы – добыча – обогащение – переработка руд», а также зависит от продолжительности функционирования горнорудных предприятий и объемов добываемых руд. Техногенное воздействие приводит к нарушению естественных ассоциаций химических элементов. В техногенных аномалиях ассоциируются элементы, не встречающиеся в аномальных количествах совместно или крайне редко объединяющиеся в ассоциации в рудогенных аномалиях. Относительные уровни концентрирования элементов-примесей в техногенных аномалиях очень часто многократно выше, нежели главных добываемых компонентов. Для техногенных аномалий характерно присутствие в повышенных концентрациях химических элементов, отличающихся малым кларком, высокой технофильностью, высокой токсичностью или повышенной биоактивностью. Техногенное воздействие приводит к изменению баланса форм миграции и нахождения химических элементов (обычно возрастает относительная доля их подвижных форм). В зонах техногенного загрязнения существенно меняется петрохимический и минеральный состав почв и донных отложений; заметные изменения наблюдаются также в составе их органического вещества. В поверхностных водотоках обычно преобладают химические элементы, мигри-

рующие во взвешенной форм, что связано как с возрастанием мутности вод, так и с увеличением удельных концентраций элементов во взвеси.

Одной из задач современных горных наук является получение знаний, необходимых для обоснования и разработки методов оптимизации недропользования, особенно в сфере его экологизации и рационального использования минеральных ресурсов [6]. Информация, получаемая при эколого-геохимических исследованиях, может сыграть важную роль в решении указанной задачи. Наиболее принципиальными являются следующие факты: 1) в освоенных горнорудных районах в различных компонентах среды обитания формируются техногенные геохимические аномалии, отличающиеся от природных (рудогенных) аномалий иными качественными и количественными характеристиками; 2) интенсивность концентрирования (в сущности, уровень техногенного загрязнения) элементов-примесей обычно заметно выше, нежели главных компонентов добываемых руд; 3) масштабы воздействия (загрязнения) многократно увеличиваются в ряду воздействия «поиски–разведка–добыча–обогащение–переработка руд»; 4) формирующиеся техногенные геохимические аномалии отличаются высокой устойчивостью; их негативное воздействие сказывается многие десятки лет даже после отработки месторождения; 5) горнорудная деятельность сопровождается образованием специфических отложений и активизацией техногенного минералообразования.

### Список литературы

1. Вернадский В.И. Избранные сочинения. Том 1. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 696 с.
2. Колотов Б.А. Прогноз экологической опасности при разработке рудных месторождений // Экология и экономика природопользования. Тезисы докладов научно-практической конференции. – М., 1995, с. 67–68.
3. Мелентьев Г.Б. Инновационный потенциал техногенных ресурсов России и роль технологической геохимии в их изучении и оценке перспектив комплексного промышленного использования // Технологическая минералогия природных и техногенных месторождений. Сборник статей IX семинара по технологической минералогии. – Петрозаводск: КНЦ РАН, 2015, с. 8–30.
4. Недра России. Т. 2. Экология геологической среды. – СПб.-М. – 662 с.
5. Сагт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
6. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Бурцев Л.И. Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. – М.: Научтехлитиздат, 2003. – 262.С.
7. Ферсман А.Е. Геохимия. Т. 2. – Л.: ОНТИ-Химтеорет, 1934. – 354 с.
8. Янин Е.П. Экологическая геохимия горнопромышленных территорий. – М.: Геоинформмарк, 1993. – 50 с.

9. Янин Е.П. Введение в экологическую геохимию. – М.: ИМГРЭ, 1999. – 68 с.

10. Янин Е.П. Возможные подходы к оценке техногенного загрязнения при интерпретации геохимических аномалий в горнорудных районах // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2008, № 4, с. 58–87.

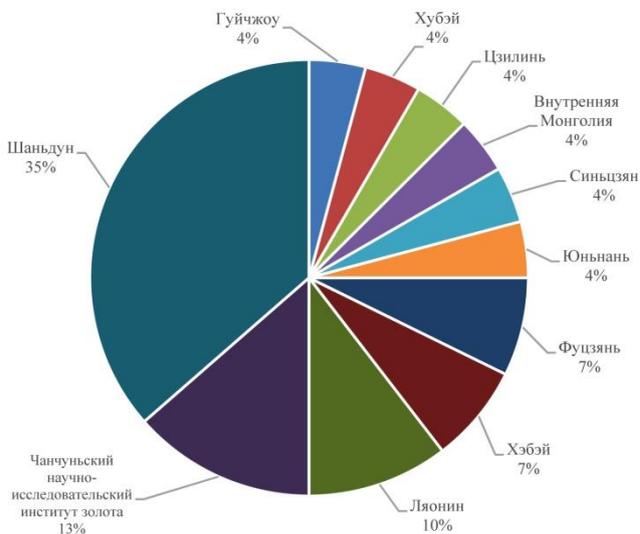
## **ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ РЕСУРСНОЙ БАЗЫ ЗОЛОТОДОБЫЧИ КИТАЯ И ЕЕ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Заернюк В.М., Чжан Чи**

*МГРИ им. Серго Орджоникидзе, Москва*

В целях повышения уровня сохранения и всестороннего использования минеральных ресурсов, а также для реализации концепции инновационного и экологического развития Министерство земли и природных ресурсов активно разрабатывает передовые технологии, продвигает прикладные платформы, стимулирует деятельность золотодобывающих предприятий связанную с научно-техническими инновациями, принципиальным улучшением режима защиты интеллектуальной собственности. В соответствии с требованиями Постановления Министерства земли и природных ресурсов «О продвижении передовых и надлежащих технологий для повышения уровня сохранения и комплексного использования минеральных ресурсов» и Постановления Министерства земли и ресурсных ресурсов «О содействии всесторонней экономии и эффективному использованию минеральных ресурсов», были разработаны 334 передовые технологии, 28 из которых распространяется на золотые рудники. На рис. 1 показана доля передовых и применимых технологий золотодобывающих предприятий в провинциях Китая.

Провинция Шаньдун успешно применяет 31 передовую технологию, в том числе 10 технологий добычи, обогащения и комплексного использования, применяемых в золотодобыче. Эти технологии являются высокой степени прогрессивности и ориентированы на применение во всей отрасли. Некоторые технологии уже находятся на передовом отечественном уровне. Пять передовых технологий для золотых рудников на острове Саншан (провинция Шаньдун) являются эксклюзивными. Китайский университет горного дела и технологии проводит исследования по повторному использованию хвостов обогащения золотого рудника острова Санышань, активно изучает вопросы комплексного использования минерального сырья [WangLi, ChangHongliang, YinJiguang, etc., 2011].

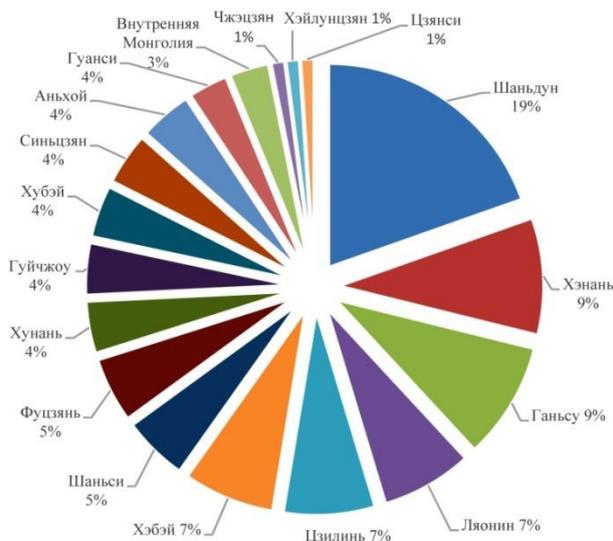


**Рис. 1. Соотношение передовых и применимых технологий золотодобывающих предприятий по областям (исследовательское подразделение)**

Золотые рудники острова ЛайчжоуСаньшань, Цзяоцзя и Синьчэн с большими запасами золота по производственным и строительным масштабам являются хорошо известными крупными золотыми рудниками как в провинции, так и на внутреннем рынке Китая [GoBin, 2017; ChieLemi, 2008; LiuXiaoguan, etc., 2015]; В городе Чжаоюань, провинция Шаньдун, расположена группа ChinaMiningGroup. Уже 43 года подряд по добыче золота эта компания занимает первое место в городах страны, известных как «Золотая столица Китая». Согласно статистическим данным в 2016 году в городе Чжаоюань было произведено 56.686 т. золота собственного производства, что составило около 1/8 национального производства золота в 453.486 т. Инновационный менеджмент, улучшенная разведка и технологические инновации сохранили производство и создали славу золотому руднику Иинань, основанному еще в 1957 году [ZhengBuhua, 2017].

Развитие зеленой добычи. Экологическое развитие добычи полезных ископаемых является эффективным способом достижения интенсивного использования минеральных ресурсов [ZhuJianhua, etc. 2018], и развитие зеленой добычи полезных ископаемых стало национальной

стратегической задачей [ChuJianhua, 2017]. С тех пор, как Министерство земли и природных ресурсов запустило национальную пилотную Программу строительства зеленых рудников было реализовано четыре проекта из 669. В настоящее время реализуются 75 пилотных проектов по строительству зеленых рудников на национальном уровне, из которых все 75 являются золотодобывающими предприятиями. Доля национальных пилотных подразделений по добыче зеленых рудников по добыче золота в различных провинциях показана на рис. 2.



**Рис. 2. Доля национальных пилотных подразделений по добыче золота в золотодобывающих предприятиях по провинциям**

В целях усиления комплексного использования минеральных ресурсов и укрепления строительства зеленых рудников Министерство земельных и природных ресурсов и Министерство финансов совместно развернули строительство демонстрационных площадок для комплексного использования минеральных ресурсов в период «двенадцатой пятилетки». Строительство демонстрационных площадок еще более оптимизировало соответствующую производственную структуру. Промышленность смогла трансформировать и разрабатывать новые пути и модели с использованием демонстрационных площадок [TangSheng, 2017]. В состав демонстрационных площадок входят «Золотая столица Китая

Чжаоюань» и север города Лайчжоу, у которых запасы золотых ресурсов составляют около 1/2 провинции Шаньдун. Создание демонстрационных площадок призвано обеспечить всестороннее использование золотосодержащих руд и направлено на продвижение технологий «зеленой добычи».

Применение прогрессивных технологий позволит после цианирования флотационного концентрата извлечь из руды серебро, медь, свинец, цинк, железо и серу. По расчетам общий коэффициент использования достигнет 66,42%.

В целях полного содействия строительству «зеленых» золотых рудников в скором времени будут изданы «Стандарты строительства «зеленых» рудников на месторождениях золота провинции Шаньдун». Стандарт определяет требования к защите окружающей среды, методам разработки и использования ресурсов золота, их всестороннему использованию, энергосбережению и сокращению выбросов, технологическим инновациям и цифровому майнингу, корпоративному управлению и корпоративному имиджу для строительства зеленых рудников на месторождениях золота в провинции Шаньдун.

Переход на «зеленые рудники» – это использование «зеленой технологии» для трансформации отрасли в областях разведки, добычи и переработке золотоносных руд. Таким образом создается круговая экологическая система добычи полезных ископаемых с «минимальным использованием ресурсов, сокращением образования отходов и безвредным производственным процессом» [Сунь Синь, 2016]. Согласно «Генеральному плану по минеральным ресурсам провинции Шаньдун (2016–2020 годы)», к 2020 году структура зеленых рудников в провинции будет в основном сформирована, крупные и средние рудники будут в основном соответствовать стандартам «зеленых» рудников, а малые шахтные предприятия будут строго следовать принципам и условиям зеленого производства в своей экономической деятельности.

В провинции запланирована демонстрационная зона «Развитие зеленого золотого рудника Лайчжоу-Чжаоюань», где будут представлены передовые технологические решения, успешные кейсы применения от ведущих китайских и международных поставщиков, интеграторов и сервис-провайдеров, а также их клиентов в области «Зеленых» технологий.

Строительство демонстрационной зоны на базе экспериментального предприятия по добыче полезных ископаемых, определенного в качестве модели для разработки экологически чистых месторождений будет направлено на создание зеленого предприятия с разумной планировкой, интенсивной эффективностью, отличной экологией и гармоничными условиями добычи для предприятия и местных сообществ.

## Список литературы

1. Wang Li, Chang Hongliang, Yin Jiguang, etc. (2011) Tails enriching the gold of the island of Sanshan / Complex use in scientific research. No 27 (11). pp. 42-44.
2. Go Bin. (2017) The Sanshan question of sustainable development / China's mine engineering. No 46 (2). pp. 50-56.
3. Chie Lemi. (2008) Comprehensive Use and Manufacturing Practice Tails Resources Jiajia Gold Mine / Metal Mines. No. 11. pp. 150-160.
4. Liu Xiaoguan, Li Zui, Sukhuan Newtown. (2015) On the method of deep mining at gold mines/Mining and metallurgical plant. No 35 (1). pp. 27-36.
5. Zheng Buhua. Centennial Development Is Just at the Time of the Year. 2017.
6. Zhu Jianhua, Huang Xuexiong, Xue Asia, etc. (2018) Some thoughts on the conservation and comprehensive utilization of mineral resources in China in the new era China's Skagiy. No 27 (1). pp. 3-12.
7. Chu Jianhua. (2017) Strong Ocean Trends and Directions of China's Mining Green/ China's mining industry. No 26 (2). pp. 1220.
8. Tang Sheng. (2017) State, problems and countermeasures for the integrated use of mineral resources in China / Integrated use of resources in China. No 35 (7). pp. 63-68.
9. Сунь Синь. (2016) Анализ Генерального плана реализации минеральных ресурсов и его воздействия на окружающую среду провинции Шаньдун // Минеральные ресурсы. № 32(3). С. 80-86.

## **ВЛИЯНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АО «СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ ФОСФОРНАЯ КОМПАНИЯ» НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД**

**Даувальтер В.А.<sup>1</sup>, Даувальтер М.В.<sup>2</sup>, Слукровский З.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ИППЭС КНЦ РАН

<sup>2</sup> ГИ КНЦ РАН, г. Анапты

Горнодобывающая промышленность являются одним из наиболее мощных факторов антропогенного преобразования окружающей среды, в том числе природных вод. Изменения химического состава поверхностных вод обусловлены поступлением загрязняющих веществ из поверхностных техногенных накопителей (пруды-отстойники, массивы отвальных пород) и нарушением естественного гидродинамического и гидрохимического режима поверхностных и подземных вод (Даувальтер, 2014; Кашулин и др., 2008).

Акционерное общество «Северо-Западная Фосфорная Компания» (АО «СЗФК») учреждено ПАО «Акрон» в 2005 г. для реализации проекта по созданию новой фосфорной сырьевой базы в Мурманской области. В 2006 г. АО «СЗФК» получило лицензию на право пользования недрами месторождений апатит-нефелиновых руд Олений Ручей и Партомчорр. В 2012 г. завершено строительство первой очереди ГОК. С июня 2013 г. АО «СЗФК» полностью обеспечивает потребности российских химических предприятий группы «Акрон» в фосфатном сырье (<https://www.szfk.ru/>).

Целью данной работы является оценка качества поверхностных вод на территории разработки апатит-нефелинового месторождения Олений ручей на примере оз. Комариное.

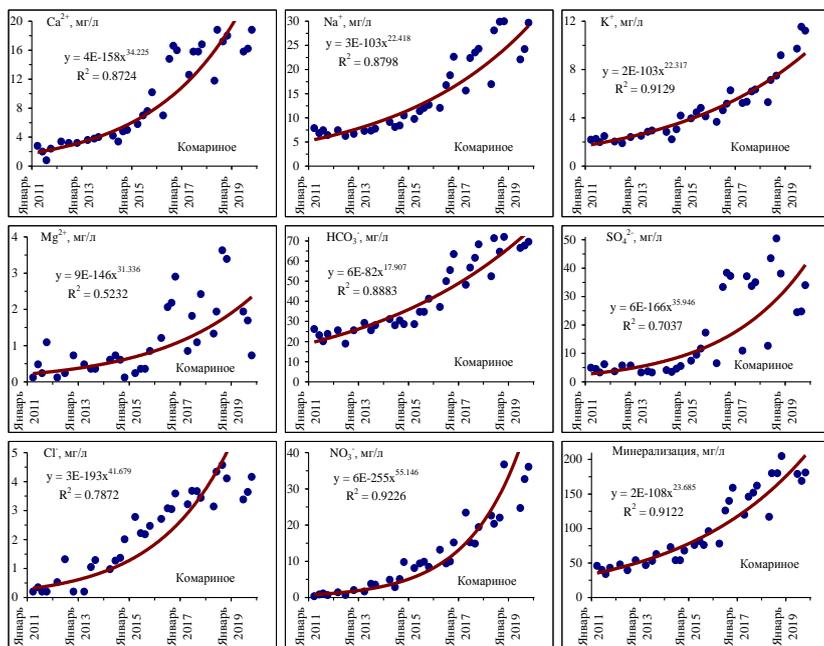
Химический состав воды оз. Комариное исследовался в период 2011–2019 гг. Пробы озерных вод отбирались сотрудниками АО «СЗФК» в среднем 4 раза в год. Анализ проб воды проводился в лаборатории ОАО КГИЛЦ; определялись значения pH, жесткость, ионный состав ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ), содержание микроэлементов (Al, Fe, Mn, Sr, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Cd, Pb, Mo, Hg, B, Be, Ba).

Озеро Комариное (водосбор р. Умба) расположено на юго-востоке Хибинского щелочного массива, в 8,9 км на северо-восток от пос. Коашва (Кашулин и др., 2012). Координаты озера –  $67^\circ 40' 49.93''$  с.ш.,  $34^\circ 16' 28.47''$  в.д. Это небольшое (площадь  $0.66 \text{ км}^2$ ), по форме близкое к овальной, озеро ледникового происхождения.

До начала разработки месторождения Олений Ручей вода в оз. Комариное была нейтральной и характеризовалась невысокими значениями общей минерализации (в среднем  $35.8 \text{ мг/л}$ ) и щелочности (в среднем  $352 \text{ мкг-экв/л}$ ). Для озера были характерны низкие концентрации главных ионов, среди которых преобладают натрий (в среднем  $6.55 \text{ мг/л}$ ) и гидрокарбонаты (в среднем  $21.5 \text{ мг/л}$ ) (Кашулин и др., 2012).

После начала деятельности АО «СЗФК» химический состав воды оз. Комариное значительно изменился – отмечена достоверная тенденция увеличения содержания главных ионов и минерализации (рис.), что связано с добычей апатит-нефелиновых руд, выветриванием щелочных пород и поступлением его продуктов в природные воды.

Особенностью химического состава воды оз. Комариное, как и всех природных вод Хибинского щелочного массива (Кашулин и др., 2008), является преобладающее положение катиона  $\text{Na}^+$ , а также повышенное относительное содержание катиона  $\text{K}^+$ , которое сопоставимо по концентрациям с катионом  $\text{Ca}^{2+}$ . Поверхностные воды равнинных территорий Мурманской области характеризуются гидрокарбонатным классом и



**Рис. Динамика основных ионов и минерализации воды оз. Комариное**

кальциевой группой, и катион  $\text{K}^+$ , как правило, находится на последнем месте среди основных катионов. Гидрокарбонат-ион является преобладающим анионом в воде оз. Комариное, на втором месте стоит сульфат-ион, на третьем – нитрат-ион, который по содержанию в последнее время сопоставим с сульфат-ионом и намного превышает хлорид-ион (рис.), т.е. анионный состав воды оз. Комариное отличается от распределения, характерного для незагрязненных поверхностных вод Мурманской области (Кашулин и др., 2012). На АО «СЗФК» используют азотсодержащие взрывчатые вещества, увеличивающие содержание в поверхностных водах азотных соединений. Содержание нитрат-иона  $\text{NO}_3^-$  растет в степенной прогрессии, достигая величины предельно допустимой концентрации для воды рыбохозяйственных водоемов ПДК<sub>рбх</sub> – 40 мг/л (рис.).

Минерал Mo молибденит  $\text{MoS}_2$  распространен в Хибинском горном массиве достаточно широко (Сулименко и др., 2017). Условия нахождения молибденита детально охарактеризованы А.Н. Лабунцовым, которым в 1927 г. было открыто молибденитовое месторождение Тахтар-

вумчорр (Красоткин и др., 2005). В природных водах, приуроченных к районам разработки хибинских апатит-нефелиновых месторождений, обнаружено присутствие Мо в количествах, значительно превышающих ПДК<sub>рбхз</sub> (Сулименко и др., 2017; Чукаева, Матвеева, 2018). В воде оз. Комариное содержание Мо увеличивается в последние годы и превышает ПДК<sub>рбхз</sub> (0.001 мг/л) до 11 раз.

Для нефелиновых сиенитов Хибинского горного массива Sr является типоморфным элементом (Добровольский, 1972). За время проведения мониторинга установлено достоверное увеличение содержания Sr в воде оз. Комариное и в последние годы оно превышает величину ПДК<sub>рбхз</sub> (0.4 мг/л).

Работа выполнена в рамках тем научно-исследовательской работы №0226-2019-0045 и 0226-2019-0053 (сбор информации) и частично поддержана из средств гранта РФФИ № 18-05-60125 (химический анализ) и РНФ № 19-77-10007 (интерпретация результатов).

### Список литературы

1. Даувальтер В.А., Даувальтер М.В. Геоэкологическая оценка состояния природных вод в зоне влияния комбината «Североникель». Мурманск: Изд-во МГТУ. 2014. 216 с.

2. Добровольский В.В. Минералогия и ландшафтно-геохимическая характеристика четвертичных отложений Кольского полуострова // Материалы к геохимии ландшафтов Кольского полуострова. М.: Изд-во МГПИ. 1972. С. 3–51.

3. Кашулин Н.А., Денисов Д.Б., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., Кашулина Т.Г., Малиновский Д.Н., Вандыш О.И., Ильяшук Б.П., Кудрявцева Л.П. Антропогенные изменения водных систем Хибинского горного массива (Мурманская область). В 2 т. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. Т. 1. 250 с. Т. 2. 282 с.

4. Кашулин Н.А., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., Кудрявцева Л.П., Терентьев П.М., Денисов Д.Б., Вандыш О.И., Валькова С.А. Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области (Восточная часть. Бассейн Белого моря). В 2 ч. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 2012. Ч.1 221 с.

5. Красоткин И.С., Войтеховский Ю.Л., Лесков А.Л., Удобина В.С. Заброшенный молибденитовый рудник Тахтарвумчорр // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2005. № 2. С. 10–14.

6. Сулименко Л.П., Кошкина Л.Б., Мингалева Т.А., Светлов А.В., Некипелов Д.А., Макаров Д.В., Маслобоев В.А. Молибден в зоне гипергенеза Хибинского горного массива. Мурманск: Изд-во МГТУ. 2017. 148 с.

7. Чукаева М.А., Матвеева В.А. Современное гидрохимическое состояние гидроэкосистем, находящихся под техническим влиянием АО «Апатит» // Водные ресурсы. 2018. Т. 45, № 6.

# К ВОПРОСУ О КВАРЦ-ПИРИТОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЯХ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКАХ ПРОЦЕССА САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЯ

Бобин В.А.

*ИПКОН РАН, г. Москва*

В работе [1] установлено, что кварц-пиритовые включения (КПВ) в угольном пласте находятся в двух физических состояниях, при которых они могут вызывать в нем аномальные зоны нагрева. Первое из них обусловлено одновременной деформацией угольного пласта и КПВ, в результате чего на поверхностях кристалла кварца формируется электрическое поле. Однако, в угольном пласте его энергия непрерывно релаксирует в окружающее его пространство и не вызывает появления зон с повышенной температурой.

Другое физическое состояние КПВ возникает, когда они облучаются звуковой энергией работающих в забое машин и механизмов. При этом в кварце, всякая звуковая волна сопровождается волной продольного электрического поля. В результате КПВ преобразует звуковую энергию работающих в забое машин и механизмов в электрическую, и, таким образом, становятся источником дополнительно энергии, которая позволяет локально образовывать очаги самонагрева в угольном пласте.

Полное механическое напряжение внутри кристалла ( $\sigma_{\text{крист}}$ ) складывается из напряжения, вызванного деформацией ( $\sigma_{\text{деф}}$ ), напряжения, возникшего под влиянием электрического поля ( $\sigma_{\text{элект}}$ ) и напряжения, возникающего от действия звуковой волны от работающих в забое машин и механизмов ( $\sigma_{\text{звук}}$ ).

Оценим теперь величину пьезоэлектрического поля для случая, когда пласт находится в неразгруженном состоянии. Тогда, если к граням кварцевого кристалла типа пластинки толщиной  $d$  приложено механическое напряжение  $2,5 \times 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>, что соответствует механическим напряжениям в угольном пласте, находящемся на глубине 1000 м, получим величину относительной деформации пластины кварца, равную  $3,1 \times 10^{-1}$ , а с ее учетом – получаем напряженность электрического поля  $|E| = 1,4 \times 10^8$  В/м. При толщине пластинки кварца, скажем,  $d = 10^{-6}$  м напряжение между обкладками будет равно  $\sim 140$  В.

Таким образом, пьезоэлектрические поля и напряжения могут быть весьма значительными. Разряжаясь на проводящем пирите протяженностью порядка  $10^{-2}$  м с удельным сопротивлением 100 Ом, это напряжение создает электрический ток порядка 140 А. При этом на пирите выделяется электрическая энергия мощностью  $P = I^2 R = 2 \times 10^4$  Вт, что позволя-

ет при теплоемкости угля равной  $1,3 \times 10^3$  кДж/кгхград нагреть порядка 0,1 кг пирита примерно на  $100^\circ\text{C}$ , что является вполне реальной цифрой.

Эта энергия, релаксируя, нагревает угольный пласт и окружающие его вмещающие породы, причем выравнивание температуры происходит в пространстве всего массива горных пород.

В разгруженных от горного давления зонах угольного пласта пьезоэлектрические поля и напряжения отсутствуют. Однако, в этом случае свою роль реализует другое физическое состояние КПВ в угольном пласте, при котором пьезоэлектрические свойства кварца в этой паре могут вызывать и нем аномальные зоны нагрева.

Сущность этого физического состояния заключается в том, что если в кварце (пьезоэлектрике) распространяется звук, т. е. волна деформации, то она сопровождается электрическими полями, обладающими пространственной и временной периодичностью звуковой волны. Эти поля продольные, т. е. параллельные направлению распространения звука. В пьезоэлектриках, в том числе и в кварце, всякая звуковая волна сопровождается волной продольного электрического поля. В качестве оценки напряженности этих полей можно привести следующую цифру: при распространении звука в таком сильном пьезоэлектрике, как CdS, при плотности потока звуковой энергии  $S$  порядка  $1 \text{ Вт/см}^2$  амплитуда напряженности переменного поля может достигать нескольких сотен вольт на сантиметр, а в кварце – порядка нескольких десятков вольт на сантиметр. В этом случае кварц является преобразователем звуковой энергии работающих в забое машин и механизмов в электроэнергию, что позволяет разогревать зоны угольного пласта, где сосредоточены кварц-пиритовые минеральные ассоциации, которые при благоприятных условиях, связанных с их близостью к свободным пространствам горных выработок и доступом кислорода могут стать источниками образования очага самовозгорания угольного пласта.

При оценке влияния плотности потока звуковой энергии на процесс нагрева определенных зон угольного пласта за счет КПВ необходимо учитывать, что сегодня ассортиментный перечень шахтного оборудования настолько огромен, что он подразделяется на множество видов, и таким образом может служить разным целям.

Наиболее важными в угледобывающей деятельности являются такие виды инструмента, как отбойные молотки, конвейер скребкового или ленточного типа, перфораторная установка для бурильных работ, грохоты, дробильные установки различного типа, сепараторные установки.

Исходными данными для расчета ожидаемого уровня шума, достигающего КПВ, являются: технические данные, шумовые и вибрационные характеристики горношахтного оборудования; количество горно-

шахтного оборудования, его удаленность от минеральных ассоциаций и свойства среды.

Табличные данные о шумности горношахтного оборудования позволили оценить уровень звуковой энергии, воздействующей на КПВ для 100 работающих отбойных молотков и двух угольных комбайнов. При этом шумность составляет величину 160 дБ, что соответствует звуковому давлению  $p = 2 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$  при пороге звуковым давлением  $2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$ .

Рассчитанное звуковое давление, действуя на кварцевую пластину, за счет пьезоэффекта, сопровождающегося ее деформацией, создаст на ее сторонах электрическое поле. Относительная деформация рассчитывается с учетом уже рассчитанной величины звукового давления. В результате получение значение  $\Delta = 10^{-6}$ , тогда напряженность электрического поля составит  $E = 4,5 \cdot 10^3 \text{ В/м} = 4500 \text{ В/м}$ , что совпадает с рассчитанной в работе [2] величиной.

В результате на кварцевой пластине толщиной  $1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$  возникнет напряжение  $U = 4,5 \text{ В}$ , которое разряжаясь на проводящем пирите протяженностью порядка  $10^{-2} \text{ м}$  с удельным сопротивлением  $100 \text{ Ом}$ , которое  $e$  создает электрический ток порядка  $4,5 \text{ А}$ . При этом на пирите выделяется электрическая энергия мощностью  $P = U \cdot I = 20 \text{ Вт}$ , что позволяет при теплоемкости угля равной  $1,3 \times 10^3 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$  нагреть порядка  $5 \text{ г}$  пирита от температуры  $40^\circ\text{C}$  до  $100^\circ\text{C}$ . Такая масса пирита сосредоточена в объеме  $4,3 \text{ см}^3$ , что соответствует кубу со стороной  $a = 1,6 \text{ см}$ . Такой кубик может стать источником самовозгорания окружающего его природного угля.

### **Выводы**

1. Разработана методика расчета электрического потенциала КПВ в угле при воздействии на них звуковой энергии от работающих в забое машин.

2. Показано, что при шумности работающих агрегатов в забое на уровне  $140\text{--}160 \text{ дБ}$ , что соответствует звуковому давлению  $p = 2 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ , кварц-пиритовые включения объемом до  $4,3 \text{ см}^3$  могут разогреваться до температуры  $100^\circ\text{C}$  и вполне стать источником самовозгорания окружающего его природного угля.

### **Список литературы**

1. Hurlbut, Cornelius S.; Klein, Cornelis, 1985, *Manual of Mineralogy*, 20th ed., John Wiley and Sons, New York, p 285—286,
2. Середин В.В. Металлоносность углей: условия формирования и перспективы освоения. // Угольная база России. Т. VI. Основные закономерности углеобразования и размещения угленосности на территории России. М: ООО «Геоинформмарк», 2004. 453 с.

# ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ АРКТИКИ

Цукерман В.А., Иванов С.В.

*ИЭП ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты*

Экономика Арктики ориентирована, в основном, на освоение и переработку природного сырья и, прежде всего, минеральных ресурсов. До 80 % промышленного производства связаны с горно-обогатительной, нефтегазовой, химической и металлургической отраслями. Производственная деятельность предприятий по освоению месторождений полезных ископаемых Арктики непосредственно влияет на экологическую безопасность [1-5].

Следует отметить, что ведущие страны мира реализуют концепцию перехода к экологически эффективному экономическому развитию, в том числе горных предприятий, под которым понимается социально-экономический рост, поддерживающий потребности нынешнего поколения жителей с условием обеспечения будущих поколений [6, 7].

Целью настоящей работы является объективная оценка экологической безопасности при освоении месторождений полезных ископаемых Арктики для разработки научно обоснованных предложений по решению проблем, связанных с ущербом от производственной деятельности горных предприятий.

В рамках исследования выполнен анализ изменений основных показателей в области охраны окружающей среды на примере крупных арктических корпораций или их филиалов, расположенных в Арктике, которые публично предоставили отчеты о производственной и экологической деятельности: ПАО «НОВАТЭК», ПАО «ГМК «Норильский никель», Дивизион «Северсталь Ресурс» ПАО «Северсталь», АК «АЛРОСА» (ПАО). Были рассмотрены выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, сброс сточных вод, объем образовавшихся отходов и затраты на природоохранные мероприятия за период 2013-2018 гг.

Для примера в таблице приведены данные по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу.

**Таблица**

**Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, тыс. т. [8-11]**

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
ПАО «ГМК «Норильский Никель»	2097	2088	2064	1936	1847	1927
ПАО «НОВАТЭК»	29,4	51,5	66,2	121,2	108,9	84,3
АК «АЛРОСА» (ПАО)	8,7	9	9,4	8,9	7,5	9,8
Дивизион «Северсталь Ресурс» ПАО «Северсталь»	198	194,7	214,9	220,8	204,7	219,7

Отрицательную динамику загрязнения атмосферы демонстрируют все рассмотренные предприятия, кроме ПАО «ГМК «Норильский Никель». По другим показателям также имеют место негативные тенденции. Проведенные исследования позволили сформулировать предложения по решению проблем, связанных с экологической безопасностью комплексного промышленного освоения месторождений полезных ископаемых Арктики, в том числе:

- дальнейшее совершенствование методики объективной оценки состояния окружающей среды;
- необходимость продолжения научных работ, направленных на повышение эффективности управления эколого-экономической системы предприятий;
- совершенствование законодательства, в том числе нормативно-правовой базы в направлении обеспечения нормирования негативного воздействия на окружающую среду;
- обеспечение мониторинга состояния загрязнения окружающей среды;
- разработка мер экономического стимулирования снижения негативного воздействия;
- увеличение инвестиций из различных источников, направленных на разработку и реализацию экологических инноваций;
- повышение эффективности системы контроля за соблюдением требований в сфере экологической безопасности.

Кроме того, выполненный анализ показал, что по уровню экологизации производства не выполняются требования по охране окружающей среды, предусмотренные различными правительственными нормативами и законами, несмотря на серьезные природоохранные расходы из бюджетов различных уровней. В настоящее время меры экономического стимулирования предприятий недостаточны, поскольку штрафы за нарушение природоохранного законодательства существенно ниже, чем требуемые затраты на разработку и реализацию инновационных проектов.

### Список литературы

1. Селин В.С., Вышинская Ю.В. Экономика арктических регионов и корпораций на современном этапе // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 4. С. 90-99.

2. Tsukerman V.A., Ivanov S.V., Goryachevskaya E.S. Management of the Ecological-Economic System of the Russian Arctic Zone // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – №753. – 062019. DOI: 10.1088/1757-899X/753/6/062019.

3. Tsukerman V.A., Ivanov S.V. Management of the Industrial Waste When Exploiting Mineral Resources of the Arctic // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – №459. – 042066. DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042066.

4. Ноговицын Р.Р., Васильева А.М. Обеспечение экологической безопасности в Арктической зоне Российской Федерации // Экономика и экология. 2018. С. 203-205.

5. Tsukerman V., Goryachevskaya E., Ivanov S. Environmental management and economics of the Arctic Region // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 110. – 02058 (International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPbWOSCE 2018; St. Petersburg; Russian Federation; 10-12 December 2018). DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911002058>. URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/36/e3sconf\\_spbwosce2019\\_02058/e3sconf\\_spbwosce2019\\_02058.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/36/e3sconf_spbwosce2019_02058/e3sconf_spbwosce2019_02058.html).

6. Кижяева А. В. Обеспечение экологической безопасности арктического региона как важный вектор российской политики // Актуальные проблемы современных международных отношений. 2016 С. 53-60.

7. Tsukerman V., Goryachevskaya E., Ivanov S. Environmental economy as the basis for sustainable development of the Arctic regions of Russia // Advances in Economics, Business and Management Research. Volume 90. International Scientific-Practical Conference «Business Cooperation as a Resource of Sustainable Economic Development and Investment Attraction» (21-23 May 2019, Pskov). Pp. 421-424. DOI 10.2991/ISPBCB-19.2019.101. URL: <https://www.atlantispress.com/proceedings/ispcbc-19/125914555>.

8. Годовой отчет ПАО «ГМК «Норильский Никель» за 2016 год [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=564&type=2> (25.05.2020).

9. Годовые отчеты ПАО «НОВАТЭК» [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=225&type=2> (25.05.2020).

10. Годовые отчеты АК «АЛРОСА» (ПАО) [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=199&type=2> (25.05.2020).

11. Годовой отчет ПАО «Северсталь» за 2017 год [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=30&type=2> (25.05.2020).

## **ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ КИСЛЫХ ШАХТНЫХ ВОД НА ПРИРОДНЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА**

**Фетисова Н.Ф.**

*ГИ УрО РАН, г. Пермь*

Геохимические исследования дренажных вод угольных и рудных месторождений, как источников техногенного преобразования природной среды, в последние годы тесно связаны с применением методов физико-химического моделирования [2,4]. Моделирование, основанное

на термодинамических расчетах, выполняемое наряду с другими методами исследований, такими как анализ химического состава вод и донных отложений, рентгеноструктурный анализ осадка и электронная микроскопия, дает более полное понимание сложных процессов, происходящих в водных объектах природно-техногенных систем. Одним из наиболее распространенных параметров, определяемых с использованием моделирования, является индекс насыщения (ИН) – показателя равновесно-неравновесного состояния природных и техногенных вод по отношению к водовмещающим породам и вторичным минералам. Указанный параметр позволяет понять природу химического состава вод, определить источники химических элементов, формы миграции элементов в водных потоках, и механизмы вторичного минералообразования [2].

Физико-химическое моделирование гидрогеохимических процессов (смешивание, растворение, осаждение), а также расчеты ИН были выполнены для оценки трансформации поверхностных и подземных вод под влиянием кислого шахтного дренажа на отдельных месторождениях ликвидированного Кизилковского каменноугольного бассейна (КУБ, Пермский край) [3,6]. Термодинамическое моделирование выполнялось с помощью программного кода PHREEQC с базой данных WATEQ4f [8]. При моделировании использовались данные гидрохимического мониторинга шахтных, поверхностных и подземных вод Кизеловского угольного бассейна [1].

На примере кислых шахтных вод, изливающихся из штольни шахты «Таежная» (в южной части КУБ), и принимающих их рек Большая Гремячая и Южная Вильва, методами физико-химического моделирования, включавшими расчет ИН и моделирование осаждения гидрогенных минералов, были определены основные минеральные фазы, осаждающиеся непосредственно в шахтном дренаже и на участке смешивания с речными водами. Была оценена возможность растворения образованных соединений при их миграции в речном потоке в виде взвеси.

Гидрогенные минералы железа и алюминия, обладая высокой удельной площадью поверхности и высокой реакционной способностью, могут сорбировать и/или соосаждать тяжелые металлы такие, как As, Pb, Cr, Cu, Zn, Mn, Cd, Co, Ni и др. [5]. Образованные коллоидные частицы способны мигрировать на большие расстояния. Изменение физико-химических условий, таких как Eh, pH, могут приводить к растворению минеральных фаз и высвобождению химических элементов в водную среду [5].

Результаты моделирования осаждения насыщенных минеральных фаз до состояния равновесия показало, что в зоне разлива кислых шахтных вод (рН 3,1-3,4) и на участке смешивания шахтного дренажа и нейтральных вод реки Большая Гремячая в осадок могут выпадать швертманнит и ярозит. Загрязненные воды реки Большая Гремячая поступают в реку Южная Вильва. Моделирование осаждения вторичных минералов в зоне смешивания этих водотоков показало возможность осаждения гидроксидов Fe и Al преимущественно в виде ферригидрита  $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$  и диаспора  $[\text{AlO}(\text{OH})]$ . Хотя воды на данном участке все еще перенасыщены к ярозиту и швертманниту, результаты моделирования осаждения показали, что в данных условиях они не являются основными осадками. В устье реки Южная Вильва моделирование также показало образование ферригидрита и диаспора, но здесь вода становится ненасыщенной к ярозиту и аморфному гидроксиду алюминия. Взвешенные частицы ярозита, принесенные сюда течением, будут растворяться с выделением  $\text{SO}_4$ ,  $\text{H}^+$  и сорбированных тяжелых металлов. По мере осаждения указанных фаз воды становятся недонасыщенными к швертманниту, в данных условиях он также может инконгруэнтно растворяться с образованием гётита. Все изученные в работе пробы перенасыщены к гетиту, который, вероятнее всего, является продуктом преобразования метастабильных водородных минералов железа [7]. Результаты моделирования процессов осаждения в зоне разгрузки кислых  $\text{SO}_4$ -Fe шахтных вод и на участке их смешивания с нейтральными  $\text{HCO}_3$ -Ca ( $\text{HCO}_3$ - $\text{SO}_4$ -Ca) речными водами показали возможность формирования ярозита и аморфных гидроксидов Al, которые неустойчивы и при миграции в водном потоке могут растворяться, высвобождая токсичные элементы.

Влияние шахтных вод на подземные воды визейско-башкирского ( $\text{C}_{1v}$ - $\text{C}_{2b}$ ) водоносного горизонта, гидравлически связанного с затопленными горными выработками шахты «Коспашская» (северной части КУБ) в зонах крупных разрывных нарушений, и роль основных процессов, контролирующих нейтрализацию и трансформацию шахтных вод при их перетоке в карбонатные коллектора надугольной толщи, были оценены на основе моделирования процессов смешивания кислых шахтных и нейтральных подземных вод и процессов растворения карбонатных минералов вмещающих пород вдоль потока загрязненных вод к месту разгрузки [3,6]. Для оценки влияния шахтного дренажа на природные подземные воды ( $\text{C}_{1v}$ - $\text{C}_{2b}$ ) было выполнено моделирование их смешивания в различных пропорциях. Сопоставление химического состава (рН, концентраций  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  и  $\text{Fe}_{\text{общ}}$ ) модельных растворов с фактическим составом загрязненных вод, разгружающихся в виде родников

в местах выхода карбонатных пород визейского яруса, не выявило какого-либо значительного разбавления кислых шахтных вод нейтральными. Моделирование взаимодействия шахтных вод с кальцитом [6], основным компонентом водовмещающих пород надугольной толщи, позволило спрогнозировать состав нейтрализованных шахтных вод. Химический состав полученных растворов также сравнился с фактическим химическим составом загрязненных родников. Близкие значения pH и концентрации  $\text{HCO}_3$  и  $\text{SO}_4$  модельных растворов и вод родников подтвердили, что рассматриваемые загрязненные подземные воды представляют собой шахтные воды в различной степени нейтрализованные в результате реакции с карбонатными минералами, а их разбавление незагрязненными подземными водами незначительно.

### Список литературы

1. Геоэкологическая геоинформационная система Кизеловского угольного бассейна: офиц. сайт. URL: <http://kub.maps.psu.ru/> (дата обращения: 10.04.2020).
2. Корнеева Т.В., Юркевич Н.В., Аминов П.Г. Геохимические особенности миграционных потоков в зоне влияния промышленного техногенеза (г. Медногорск). Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 2. С.85–94.
3. Фетисова Н.Ф. Оценка естественной нейтрализации кислых шахтных вод в условиях Коспашского месторождения Кизеловского угольного бассейна. Стратегия и процессы освоения георесурсов: сборник научных трудов. Вып. 16. ГИ УрО РАН. Пермь, 2018. С. 52–55.
4. Accornero M., Marini L., Ottonello G., Zuccolini M. The fate of major constituents and chromium and other trace elements when acid waters from the derelict Libiola mine (Italy) are mixed with stream waters. Appl. Geochem. 2005. V.20. P. 1368-1380.
5. Consani S., Carbone C., Dinelli E. et al. Metal transport and remobilisation in a basin affected by acid mine drainage: the role of ochreous amorphous precipitates. Environ. Sci. Pollut. Res. 2017. V. 24. P. 15735-15747.
6. Fetisova N., Fetisov V., Bachurin B., Imaikin A. Natural reutralization of acid mine water in carbonate deposits of Kizelcoal basin. In: Mine Water Technological and Ecological Challenges. Perm, State University, Perm, Russia, 2019. P. 719-725.
7. Hammarstrom J.M., Seal II R.R., Meier A.L., Kornfeld J.M. Secondary sulfate minerals associated with acid drainage in the eastern US: recycling of metals and acidity in surficial environments. Chem. Geol. 2005. V. 215. P. 407-431.
8. Parkhurst DL, Appelo CAJ Description of input and examples for PHREEQC version 3: a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A43.2013. 497 pp.

# ХАРАКТЕРИСТИКА КИСЛОТНОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Цыренов Т.Г.

*ИПРЭК СО РАН, г. Чита*

На территории Восточного Забайкалья в результате трехсотлетней истории ведения горных работ сформировались техногенные скопления общей площадью около 4000 га, из которых около 1300 га относятся к хвостохранилищам. Складируемые в ходе отработки отходы добычи содержат в себе значительные концентрации химических элементов 1, 2 и 3 классов токсичности, которые превышают ПДК. В результате миграции химических элементов изменяются физико-химические характеристики техногенных объектов и их окрестностей, в т.ч. и кислотно-щелочные. Целью работы является изучение кислотности техногенных объектов рудных месторождений Восточного Забайкалья и ее влияние на миграционную способность химических элементов 1, 2 и 3 классов токсичности. Объектами исследования являются хвостохранилища рудных сульфидных месторождений Восточного Забайкалья, а также территории, находящиеся в непосредственной близости от них.

Методы исследования. Для получения достаточного количества материалов в рамках исследования были изучены и обобщены фондовые и опубликованные данные по содержанию химических элементов 1, 2 и 3 классов токсичности и значения рН объектов исследования. Кроме того были измерены значения рН проб почв и технозема, отобранных на территории хвостохранилищ Акатуевского и Благодатского полиметаллических месторождений при помощи рН-метра «Анион-7000» (Россия) с использованием комбинированного электрода марки ЭСП10601/4. Данные по содержанию химических элементов хвостохранилищ Акатуевского и Благодатский также были получены экспериментально методами ICP-MS и ICP-AES в лаборатории «SGSVostokLimited» (г. Чита).

В результате проведенных исследований выявлено, что кислотность водных потоков месторождений различна. Так, согласно таблице 1, в пробах водных потоков золоторудных и вольфрамовых месторождений преобладает кислая и сильноокислая среда ( $\text{pH} = 2,89-5,93$ ), а в молибденовых и полиметаллических месторождениях преобладает слабощелочная и щелочная среда ( $\text{pH} = 7,65-8,12$ ). Отмечено, что концентрация сульфат-иона ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) в пробах водных потоков золоторудных и вольфрамовых месторождений в целом увеличивается при уменьшении значений рН. Выявлено, что в пробах водных потоков полиметаллических месторождений содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  повышается с увеличением рН, что вероятнее всего связано карбонатным составом вмещающих пород Акатуевского и Благодатского месторождений [2, 4].

Таблица 1

Средние и максимальные (в скобках) значения pH и концентрации сульфат-иона ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) в пробах водных потоков

Месторождение	Объект	pH	$\text{SO}_4^{2-}$ , мг/л
Золоторудные [1]			
Дарасунское	Шахтный водоотлив	4,90	770
Тасеевское	Карьер	3,57	1190
	Дренажные воды хвостохранилища	3,28	5537
	- // -	2,89	4900
Ключевское	- // -	4,70	1750
Вольфрамовые [3]			
Антовогорское	Дренажные воды (n=6)	3,20 (4,2)	162,7 (613,1)
Букуинское	- // - (n=11)	4,71 (6,73)	250,31 (638)
Белухинское	- // - (n=7)	5,93 (7,54)	170,24 (244,1)
Молибденовые			
Шахтаминское	Дренажные воды хвостохранилища (n=3)	8,08 (9,08)	-
	Воды с окрестностей рудника (n=4)	7,41 (7,86)	-
Полиметаллические [2, 4]			
Акатуевское	Водные потоки из штольни (n=3)	7,65 (7,81)	279,73 (511,58)
	Дренажные воды хвостохранилища (n=7)	7,7 (8,02)	447,91 (735,5)
	Воды с окрестностей рудника (n=4)	7,98 (8,21)	473,67 (596,0)
Благodatское	Дренажные воды хвостохранилища (n=5)	8,12 (8,3)	92,7 (138,2)
	Воды с окрестностей рудника (n=7)	8,12 (8,57)	257,23 (472,4)

Выявлено, что в пробах технозема и почв преобладает слабощелочная среда (pH– 6,86-7,93). Это свидетельствует о наличии своеобразного геохимического барьера в техноземах и почвах, образованного из карбонатной составляющей вмещающих пород Акатуевского и Благodatского полиметаллических месторождений, что обуславливает достаточно низкую концентрацию S в пробах (таблица 2) [2, 4].

Таблица 2

**Средние и максимальные (в скобках) значения рН и концентрации серы(%) в пробах технозема и почв**

Месторождение	Тип грунта	рН	S, %
Молибденовые [5]			
Давендинское	Технозем (n=14)	7,93 (9)	-
Полиметаллические			
Акагуевское	Технозем (n=9)	7,45 (8,03)	2,29 (4,22)
Благодатское	Технозем (n=7)	7,45 (7,72)	5,59 (9,95)
	Почвы(n=2)	6,86 (7,05)	0,15

Таким образом, выявлена закономерность между значениями рН и содержаниями сульфидных и карбонатных составляющих техногенных объектов. Согласно проведенным ранее исследованиям, подобная закономерность привязана к минеральному составу хвостохранилищ [1]. Так, преобладание карбонатов в минеральном составе техноземов и почв, обуславливает щелочные и слабощелочные условия, как в случае с Давендинским молибденовым и Акагуевским полиметаллическим месторождениями. Это приводит к образованию геохимического барьера, ограничивающего дренаж химических элементов 1, 2 и 3 классов токсичности в водные потоки, сокращая площадь их распространения. Напротив, установление кислой и сильнокислой обстановки на техногенных объектах как, например, на Дарасунском золоторудном и Антовогорском вольфрамовом месторождениях, свидетельствует об образовании кислого дренажа в результате недостатка или отсутствия карбонатной составляющей. Это приводит к обогащению почв, а также водных потоков, расположенных в непосредственной близости от техногенных объектов, токсичными химическими элементами (As, Pb, Zn и др.), полностью меняя элементный состав окрестностей месторождения.

### Список литературы

1. Замана Л.В. Геохимия кислых дренажных вод золоторудных месторождений Восточного Забайкалья // Вода: химия и экология. – №8(62). – 2013. – С. 92-97.
2. Замана Л.В., Чечель Л.П. Гидрогеохимические особенности зоны техногенеза полиметаллических месторождений Юго-Восточного Забайкалья // Успехи современного естествознания. – №1. – 2015. – С. 33-38.
3. Птицын А.Б., Гребенщикова В.И., Замана Л.В, Итигилова М.Ц., Матюгина Е.Б., Смирнова О.К., Юргенсон Г.А. Подвижность химических элементов в водных и наземных экосистемах // Вестник Забайкальского государственного университета. – №8(111). – 2014. – С. 23-32.

4. Чечель Л.П., Замана Л.В. Геохимические типы вод хвостохранилищ свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – Т. 330. – №4. – 2019. – С.17-25.

5. Юргенсон Г. А., Смирнова О. К., Солодухина М. А., Филенко Р. А. Геохимические особенности руд и техноземов хвостохранилища золото-молибденового рудника Давенда в Восточном Забайкалье // Литосфера.– №2. – 2016.– С. 91-106.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЫШЬЯКА ИЗ ЗАКЛАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА**

**Бачурин Б.А.**

*ГИ УрО РАН, г. Пермь*

Проблема обезвреживания и утилизации мышьяксодержащих отходов стоит для многих горнодобывающих и перерабатывающих предприятий. Это обусловлено как высокой токсичностью данного элемента, так и высокой миграционной способностью его соединений. Установлено, что большинство арсенатов и гидроксиларсенатов метастабильны при атмосферных условиях и со временем разлагаются, выделяя растворимый мышьяк, поступающий в техногенные потоки рассеяния [2]. В связи с этим, особое внимание направлено на разработку технологий снижения вымывания мышьяка из твердых отходов с целью сокращения его поступления в гидросферу до экологически приемлемого уровня.

Многочисленные работы у нас в стране и за рубежом были проведены по введению арсенидных отходов в бетон, что приводит, по мнению ряда исследователей, к их связыванию с образованием арсената кальция [2, 3]. Однако, полученные результаты также оказались неоднозначны. Установлено, что вводимые арсенаты не образуют в бетоне каких-либо соединений, что при определенных условиях может обусловить диффузию мышьяка в окружающую среду. Признано лишь, что мышьяксодержащие бетоны достаточно надежно можно использовать при закладке подземных горных выработок, что позволяет изолировать их от окружающей среды [3].

С целью оценки эффективности данного направления утилизации отходов произведено исследование добавок мышьяксодержащих кеков ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод» (СУМЗ) и ООО «Медногорский медно-серный комбинат» (ММСК) в закладочный материал подземных выработок Гайского ГОКа. По результатам анализа методом спектроскопии с индуктивно связанной плазмой содержание кислото-

растворимых форм мышьяка в кеке составляет 15429-19166 мг/кг, водорастворимых форм – 115-132 мг/кг, т.е. основная его часть малорастворима в водной среде.

В состав стандартных закладочных смесей, используемых на руднике, входят хвосты обогащения (1400 кг/м<sup>3</sup> смеси) и доменный граншлак (360 кг/м<sup>3</sup> смеси). Добавка цемента регламентируется требуемой прочностью закладочной смеси: 3,0 МПа – 30 кг/м<sup>3</sup> смеси, 5,0 МПа – 40 кг/м<sup>3</sup> смеси. В проведенных исследованиях закладочные смеси с содержанием цемента 40 и 30 кг/м<sup>3</sup> изготавливались в двух вариантах: без добавления кека (фоновые пробы) и с добавлением 1% кека (контрольные пробы). По данным электронной микроскопии и микронзондового анализа минеральный состав закладочной смеси с добавлением кека характеризуется следующими параметрами: нерудные частицы (цемент, кварц, барит) – 70 %; пирит, нередко с примесью мышьяка (до 1 мас. %) – 30 %; в единичных знаках наблюдаются сульфиды цинка (сфалерит) и свинца (галенит), а также землистые агрегаты сложного состава (сульфид свинца, мышьяка, цинка, кадмия, меди, сурьмы и др.), схожие по структуре с частицами кека. Установлено, что вводимые в закладочную смесь частицы кека представляют собой механические взвеси в ее массе, и лишь в незначительном количестве образуют прочносвязанные соединения с другими компонентами. По данным проведенных анализов добавление в закладочные смеси 1% кека привело к увеличению содержания в них кислоторастворимых форм мышьяка в 3,9-5,3 раза, водорастворимых форм – в 17,4-33,8 раза.

Для изучения характера выщелачивания мышьяка из закладочного материала проводилось лабораторное моделирование его поведения при контакте с водой (последовательное 4-х кратное растворение в дистиллированной воде) Данное моделирование проводилось для монолитных и раздробленных образцов в статическом режиме (соотношение проба – дистиллированная вода 1 : 5) при периодическом перемешивании, естественной рН среды и температуре 25 °С. Изучение последовательных водных вытяжек проводилось параллельно для фоновых и контрольных проб закладочной смеси после 28, 90, 120 и 150 суток контакта с водой.

Результаты лабораторного моделирования показали, что при контакте воды с закладочной смесью с кеком в течение 28 суток содержание мышьяка в водных вытяжках из монолитных образцов достигло 13,7-30,5 мг/дм<sup>3</sup>, что в 41-132 раза превышает масштабы его поступления в водную среду из фоновых проб. Близкие масштабы поступления мышьяка в водную вытяжку отмечены для раздробленных образцов – 13,9-23,7 мг/дм<sup>3</sup> (в 69-88 раза выше, чем из фоновых проб). Увеличение времени контакта воды до 90 суток сопровождается значительным сни-

жением поступления мышьяка в водную фазу: его содержание в водных вытяжках из монолитных образцов колеблется в пределах 0,199-0,995 мг/дм<sup>3</sup>, из раздробленных – 0,502-1,536 мг/дм<sup>3</sup>, причем максимальные значения характерны для образцов с пониженным содержанием цемента (30 кг/м<sup>3</sup>). Данные показатели превышают масштабы выщелачивания мышьяка из фоновых образцов в 5-23 раза.

Полученные результаты позволяют предполагать, что на начальном этапе взаимодействия закладочного материала с водой основным источником поступления мышьяка является мелкодисперсная (пылеобразная) фаза, для которой отсутствует прочная связь с минеральной основой закладочной смеси [1]. Растворение данной фазы привело к повышению значений pH водных вытяжек до 8,75-11,48, при которых фазовый состав цементного камня относительно стабилен [3], что обусловило снижение поступления мышьяка в водную среду.

Однако, дальнейшее увеличение времени контакта закладочного материала с водой (120-150 сут) приводит к повышению масштабов выщелачивания мышьяка: его содержание в водных вытяжках из монолитных образцов достигает 0,490-2,21 мг/дм<sup>3</sup>, из раздробленных – 2,47-9,60 мг/дм<sup>3</sup> (максимальные значения характерны для образцов с пониженным содержанием цемента). Это свидетельствует, что длительное взаимодействие закладочной смеси с водой сопровождается химическим преобразованием мышьяксодержащих соединений кека, приводящим к повышению доли водорастворимых форм, причем более активно данный процесс происходит в раздробленных образцах с пониженным содержанием цемента. Существенную роль играет также формируемая pH водных растворов (11,03-11,48): отмечено, что в щелочной среде растворимость сульфидов мышьяка при длительном контакте возрастает [4].

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что закладочный материал с добавлением мышьяксодержащих кеков не является стабильным и разрушается при длительном взаимодействии с водной средой. Этому способствует то, что вводимые закладочную смесь частицы кека в большинстве своем не образуют каких-либо соединений, а представляют механические взвеси в образующейся массе.

Как показывает анализ опыта работ [3], снижение масштабов выщелачивания мышьяка из бетонных смесей может быть достигнуто введением в их состав различных добавок (соли трехвалентного железа, сульфид аммония, фосфаты и др.), переводящих мышьяк в относительно стабильные соединения (скородит, ферригидрит). Возможно также введение в состав смесей различных стабилизирующих добавок (нефтеуглеродные и другие органические жидкости), основным назначением которых является гидроизоляция мышьяксодержащих частиц.

## Список литературы

1. Бачурин Б.А. Геохимические аспекты утилизации мышьяксодержащих отходов // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2019. – Вып. 22. – С. 363-369.
2. Исабаев С.М., Кузгибекова Х.М., Жинова Е.В., Зиканова Т.А. Исследование поведения соединений мышьяка в различных средах // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. – №8 (15). Часть 2. – С. 22-24.
3. Копылов Н.И., Каминский Ю.Д. Мышьяк. – Новосибирск: Сиб. универ. изд-во. – 2004. – 387 с.
4. Smedley P.L., Kinniburgh D.C. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters // Applied Geochemistry. – 2002. – V .17. – P. 517–568.

## ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ВЗРЫВОУСТОЙЧИВЫХ ПЕРЕМЫЧЕК ИЗ ЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ

Агеев В.Г., Пефтибай Г.И., Галухин Н.А.

*НИИГД «Ресуратор» МЧС ДНР*

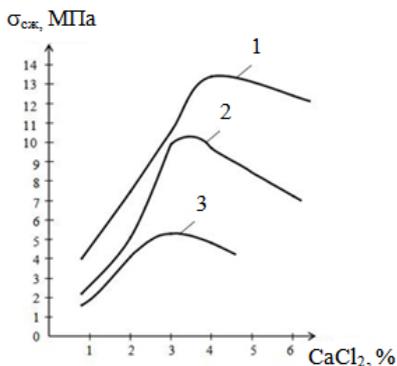
Подземные пожары составляют около трети общего количества аварий и приводят к существенному материальному ущербу. Если невозможно потушить пожар активным способом, а также на шахтах, опасных по взрывам газа, пожарный участок изолируют только взрывоустойчивыми перемычками. Цементный материал легко изолирует от газов и воды, устойчив к нагружению горным давлением и динамическому нагружению. В связи с вышеизложенным актуальна разработка малокомпонентного цементного материала с использованием отходов местного производства и исследование прочностных свойств материала.

Для сокращения времени набора прочности, равной 3 МПа, в разработанных смесях использовали ускоритель твердения – хлористый кальций [1]. Исследование влияния хлористого кальция на прочность образцов проводили на двух цементно-шлаковых составах с соотношением компонентов 6:4 и 7:3 и одним цементно-зольном составе с отношением цемента к золе-уноса 7:3.

Анализ кривых 1, 2, 3, изображенных на рис. 1, показывает наличие экстремумов в зависимости от массовой доли хлористого кальция. Для состава цементно-шлаковой смеси Ц:Ш = 7:3 оптимальная массовая доля хлористого кальция составляет 4 % от массы цемента, для состава Ц:Ш = 6:4 3 % и для цементно-зольной смеси Ц:З = 7:3 3 %. Исследования зависимости предела прочности на сжатие в интервале времени от 6 до 24 ч представлены на рис. 2.

**Рис. 1. Зависимость прочности сжатия от массовой доли хлористого кальция:**

- 1 – отношение Ц:Ш = 7:3;**
- 2 – отношение Ц:Ш = 6:4;**
- 3 – отношение Ц:З = 7:3,**  
где Ц – цемент; Ш – шлак;  
З – зола

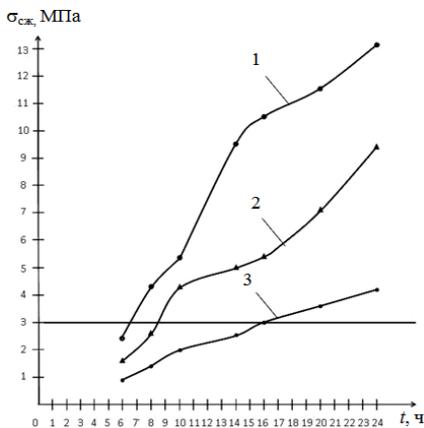


Из анализа кривых, показанных на рис. 2, следует, что наименьшее время набора требуемой прочности (3 МПа) 6,5–7,0 ч в составе Ц:Ш:ХК:ВД (7:3:0,04:0,3). Этот состав (с ускорителем твердения в виде хлористого кальция) набирает прочность 3 МПа на 30 % быстрее, чем с ускорителем твердения в виде жидкого стекла. Однако условия твердения цементного материала в моноблоке перемычки отличаются от лабораторных условий за счет тепловыделения при гидратации цемента и ускорителя твердения в массивном монолитном цементном теле. За счет повышения температуры моноблока перемычки ускоряется процесс набора прочности.

Ввиду этого образцы с цементным материалом помещали в термостат, а изменение температуры регулировали в соответствии с эмпирической зависимостью, полученной на твердеющем цементном моноблоке.

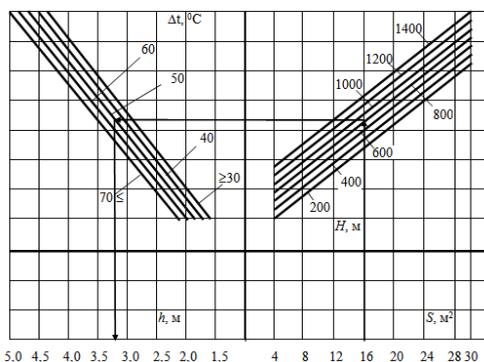
**Рис. 2. Зависимость пределов прочности на сжатие:**

- 1 ● – состав Ц:Ш:ХК:ВД (7:3:0,04 0,3);**
- 2 ▲ – состав Ц:Ш:ХК:ВД (6:4:0,03:0,3);**
- 3 ● – состав Ц:З:ХК:ВД (7:3:0,03 0,4),**  
где ХК – хлористый кальций; ВД – вода



Результаты испытаний показали, что прочность 3 МПа достигается в цементно-шлаковом материале через 4,5-5,0 ч, а в цементно-зольном – через 6,5-7,0 ч, что в 1,42 и в 2,37 раза быстрее по сравнению с результатами, полученными в соответствии с действующими стандартными испытаниями при температуре  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ .

Устойчивость и прочность взрывоустойчивой перемычки, сооруженной из цементного материала глубоко исследованы. Были проведены физическое моделирование методом эквивалентных материалов и математическое моделирование напряженно-деформированного состояния [2, 3]. Перемычку рассматривали как анизотропную (армированную) пластину, а расчеты производили с использованием вариации энергии пластины. Полученные напряжения вдоль оси перемычки использовали для определения ее толщины с учетом механических свойств предложенного цементного материала. Для оперативного определения толщины перемычки разработана номограмма, показанная на рис. 3 (при нагрузке от ударной воздушной волны 2,8 МПа).



**Рис. 3. Номограмма для определения толщины взрывоустойчивой перемычки:**

**$h$  – толщина перемычки;  $S$  – сечение выработки;  
 $H$  – глубина выработки;  $\Delta t$  – перепад температур**

### Список литературы

1. Пефтибай, Г.И. Малокомпонентные быстротвердеющие цементные смеси для возведения взрывоустойчивых перемычек / Г.И. Пефтибай // Вестник НЦ ВостНИИ. – 2018. – № 1. – С. 47–53.
2. Агеев, В.Г. Математическая модель напряженно-деформированного состояния взрывоустойчивой перемычки под действием горного давления без учета действия воздушной ударной волны / В.Г. Агеев, Г.И. Пефтибай // Вестник НЦ ВостНИИ. – 2018. – № 1. – С. 68–73.

3. Пефтибай, Г.И. Параметры шахтной взрывоустойчивой перемычки из материалов на основе цементного вяжущего / Г.И. Пефтибай // Вестник НЦ ВостНИИ. – 2018. – № 4. – С. 24–30.

## **СОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ ДОНБАССА**

**Агарков А.В., Козлитин А.А., Лебедева В.В.**

*НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР*

Высока вероятность риска аварий, а также осуществления террористических актов на химически опасных объектах и различного вида транспорте, которые сопровождаются выбросами или проливами опасных химических веществ: аммиака, хлора, бензола и др.

Ликвидация проливов химически опасных веществ предусматривает мероприятия по локализации, т.е. ограничению площади зоны пролива и снижению времени испарения паров химически опасных веществ с поверхности пролива, а также с загрязненного в результате аварии участка местности. Один из наиболее применимых способов локализации и снижения времени испарения паров химически опасных веществ с поверхности пролива в окружающую среду заключается в засыпке аварийной зоны сорбентами.

Широкое применение нашли сорбенты на основе активированного угля и полимерные сорбенты разных марок, которые отличаются друг от друга принципом действия и сорбционной емкостью. Однако для ликвидации последствий аварий, связанных с масштабными проливами химически опасных веществ, сорбенты на основе активированных углей и синтетические полимерные сорбенты не рентабельны ввиду их высокой стоимости и дефицита.

**Изложение основного материала.** Исследованы сорбционные свойства кокса, котельного шлака, золошлака, золы-уноса и зольных алюмосиликатных микросфер.

Подобный выбор объектов исследования обусловлен:

- экологическим фактором – утилизация промышленных отходов позволит освободить ценные земельные угодья, занимаемые под отвалы, устранить вредные выбросы в окружающую среду при открытом и длительном хранении промышленных отходов и тем самым улучшить экологическое состояние региона;
- экономическим фактором – промышленные отходы предприятий не утилизируются в полном объеме в рамках потребительских циклов региона;

- технологическим фактором – предприятия угольной, углеперерабатывающей, коксохимической отраслей промышленности представлены во многих городах Донецкого региона, именно поэтому продукты переработки каменных углей можно рассматривать с точки зрения накопления исходного сырья с целью получения природных сорбентов для ликвидации последствий разливов химически опасных веществ.

Для образцов сравнения взят активированный уголь двух марок СКТ и АГН, который обладает высокой сорбционной емкостью по отношению к органическим веществам.

Сорбционную емкость перечисленных материалов изучали по бензолу – стандартному веществу при исследовании сорбционных свойств гидрофобных углеродных сорбентов [1]. Подготовка образцов для исследований включала предварительное дробление, измельчение и отсеивание целевой фракции 0,315...0,5 мм [2]. Сорбционную емкость подготовленных образцов определяли в статических условиях эксикаторным методом и в динамических условиях в потоке газа-носителя (гелия) адсорбционным методом с применением газовой хроматографии.

Сущность эксикаторного метода заключается в доведении предварительно высушенных образцов материалов до равновесного состояния в паровоздушной среде бензола в замкнутом объеме эксикатора с последующим определением сорбционной емкости путем взвешивания образцов. Сорбционную емкость материалов в динамических условиях эксперимента определяли адсорбционным методом с применением газовой хроматографии на лабораторной установке для определения динамической сорбции твердых материалов.

Для каждого материала получены интегральные кривые сорбции паров бензола, в результате обработки которых получены исходные данные для расчета сорбционной емкости каждого исследуемого материала в динамических условиях эксперимента. Расчет сорбционной емкости выполняли методом Глюкауфа по основному уравнению, полученному из материального баланса хроматографического процесса, с допущением о мгновенном установлении сорбционного равновесия.

Значения сорбционной емкости исследуемых материалов по бензолу, полученные в статических и динамических условиях эксперимента, приведены в таблице.

## Сорбционная емкость по бензолу

Материал, место отбора пробы	Сорбционная емкость по бензолу			
	$a$ , г/г	$a^*$ , г/г	$A$ , мг/г	$B \cdot 10^{-3}$ , см <sup>3</sup> /г
Шлак котельный (образец № 1), котельная теплосети Донецка	1,20	1,31	21	4,8
Шлак котельный (образец № 2), котельная теплосети Донецка	1,30	1,35	18	10,0
Шлак котельный (образец № 3), котельная теплосети Донецка	1,15	1,19	24	7,4
Кокс доменный, ПАО «Ясиновский коксохимический завод» (г. Макеевка)	0,87	1,05	2	1,3
Зола-унос, Зуевская ТЭС	0,93	0,95	1	1,6
Зола-унос, Старобешевская ТЭС	0,39	0,41	2	1,2
Золошлак, Зуевская ТЭС	0,48	0,52	12	0,7
Золошлак, Старобешевская ТЭС	0,46	0,48	4	0,8
Зольные алюмосиликатные микросферы, Старобешевская ТЭС	1,23	1,31	3	3,2
Уголь активированный СКТ	1,60	1,90	287	117,3
Уголь активированный АГН	1,32	1,42	173	98,7

\* Сорбционная емкость образца через 15 мин после насыщения бензолом

\*\* Сорбционная емкость образца через 24 ч после насыщения бензолом

Наибольшие значения сорбционной емкости в статических и динамических условиях эксперимента достигнуты для образцов котельного шлака и зольных алюмосиликатных микросфер.

**Выводы.** Впервые изучена сорбция паров бензола образцами различных материалов–продуктов переработки каменных углей, в статических и динамических условиях эксперимента. Установлено, что наибольшие значения сорбционной емкости имеет котельный шлак и зольные алюмосиликатные микросферы. Эти материалы можно использовать в качестве сырья получения сорбентов с целью ликвидации разливов химически опасных веществ на промышленных объектах и транспорте.

## Список литературы

1. Исследование пористой структуры активного угля из рисовой шелухи / ТхуАунг Си, Вин Мьинг Со, В.Н. Клушин, А.В. Нистратов и др. // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2017. – Т. 17, № 1. – С. 102-109.

2. Сорбционная способность промышленных отходов и каменных углей / Ан. В. Агарков, А.А. Козлитин, В.В. Лебедева, О.Н. Щербакова // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2019. – № 3(56). – С. 46-54.

## **СОРБЦИЯ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ КАМЕННЫМИ УГЛЯМИ ДОНЕЦКОГО РЕГИОНА**

**Агарков А.В., Козлитин А.А., Лебедева В.В.**

*НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР*

Традиционные технологии получения углеродных сорбентов из каменного угля включают энергоемкие и длительные по времени стадии карбонизации и окислительной активации (температура 800...1000 °С), что определяет высокую себестоимость активированных углей различных марок. Высокая стоимость активированных углей – главный сдерживающий фактор их широкого применения при ликвидации аварий техногенного характера, связанных с проливами токсичных веществ в значительных объемах и масштабах распространения заражения. В связи с этим разработка доступных сорбентов, позволяющих достичь уровня сорбционной емкости активированных углей и тем самым повысить эффективность нейтрализации химического заражения, актуальная задача. Один из путей ее решения заключается в использовании богатой сырьевой базы Донецкого региона, главным образом значительных запасов каменного угля, для исследования и выбора наиболее перспективных материалов с целью получения доступных углеродных сорбентов.

Цель работы – сравнительные исследования сорбционной емкости каменных углей различных марок, оценка их сорбционных свойств и выбор наиболее перспективных материалов в качестве сорбентов для ликвидации последствий аварий, связанных с проливами химически опасных веществ.

**Изложение основного материала.** Для исследований выбран бензол – неполярный ароматический углеводород, который используют в качестве стандартного вещества при исследовании сорбционных свойств гидрофобных углеродных сорбентов [1]. В качестве объектов исследования взяты образцы каменного угля шести марок шахт Донецкого угольного бассейна: А (антрацит), Г (газовый), ДГ (длиннопламенный газовый), ЖК (жирный коксовый), К (коксовый) и Т (тощий). Для сравнения и оценки сорбционных характеристик проводили исследования образцов двух марок угля активированного промышленного производства – СКТ (синтезированный из торфа) и АГН (на основе каменного угля), которые обладают высокой сорбционной емкостью по отношению к органическим веществам. Подготовка образцов для исследований

включала предварительное дробление, измельчение и отсев целевой фракции размерами 0,315...0,5 мм.

Основной характеристикой поглощающей способности материала служит сорбционная емкость. Исследования статической сорбционной емкости образцов угля основаны на лабораторном весовом методе (ускоренном и продолжительном), результаты которого использовали для сравнения сорбционной способности каменных углей различных марок [2].

По результатам испытаний рассчитывали сорбционную емкость по бензолу, как отношение массы сорбированного бензола  $m_s$ , г, к исходной массе навески угля  $m_0$ , г, до обработки бензолом по формуле

$$a = \frac{m_s}{m_0}. \quad (1)$$

Значение парофазной сорбции как дополнительный вклад в увеличение суммарной сорбционной емкости материала необходимо учитывать при выборе наиболее эффективных сорбентов. Из этих соображений для каменных углей исследована сорбционная парофазная емкость, которую определяли в статических условиях эксперимента эксикаторным методом и в динамических условиях в потоке газа-носителя (гелия) адсорбционным методом с применением газовой хроматографии.

Статическую сорбционную парофазную емкость по бензолу рассчитывали по формуле

$$A = \frac{\Delta m}{m_0}, \quad (2)$$

где  $\Delta m$  – абсолютное увеличение массы навески образца угля, мг;  $m_0$  – исходная масса навески угля, г.

Сорбционную парофазную емкость материалов в динамических условиях эксперимента определяли адсорбционным методом с применением газовой хроматографии на лабораторной установке по определению динамической сорбции твердых материалов и рассчитывали методом Глюкауфа по основному уравнению, полученному из материального баланса хроматографического процесса, с допущением о мгновенном установлении сорбционного равновесия:

$$B = \frac{K\omega}{mq} \int_0^h (z_h - z_0) dh = \frac{K\omega}{mq} S_{\text{адс}}, \quad (3)$$

где  $a$  – сорбционная парофазная емкость угля, см<sup>3</sup>/г;  $K$  – калибровочная константа детектора, ммоль·см<sup>4</sup>;  $\omega$  – объемная скорость газаносителя, см<sup>3</sup>·мин<sup>-1</sup>;  $m$  – масса навески угля, г;  $q$  – скорость движения диаграммной ленты, см·мин<sup>-1</sup>;  $z_h - z_0$  – расстояние на диаграммной ленте

те потенциометра от момента выхода газа-носителя с определенной концентрацией бензола до соответствующего отклонения  $h$ , см;  $h$  – отклонение пера потенциометра от нулевой линии, см;  $S_{\text{адс}} = \int_0^h (z_h - z_0) dh$  – площадь, определяемая на диаграммной ленте потенциометра между осью  $h$  и интегральной кривой сорбции бензола, см<sup>2</sup>.

Значения сорбционной емкости по бензолу исследуемых образцов каменного угля различных марок сведены в сравнительную таблицу.

**Таблица**

**Сорбционная емкость по бензолу**

Марка угля, место отбора пробы	Сорбционная емкость по бензолу			
	* $a_1$ , г/г	** $a_2$ , г/г	$A$ , мг/г	$B \cdot 10^{-3}$ , см <sup>3</sup> /г
Уголь марки Т (тощий), пласт $k_5$ , шахта № 22 «Коммунарская»	0,65	0,70	5	2,0
Уголь марки Г (газовый), пласт $l_6$ , шахта «Белореченская»	0,72	0,73	9	3,4
Уголь марки К (кокосовый), пласт $l_1^B$ , шахта «Щегловская-Глубокая»	0,60	0,65	4	2,1
Уголь марки ДГ (длиннопламенный газовый), пласт $l_1$ , шахта им. Челюскинцев	0,72	0,81	27	3,3
Уголь марки ЖК (жирный коксовый) шахта им. А.А. Скочинского	0,62	0,67	6	1,6
Уголь марки А (антрацит) шахта «Прогресс»	0,60	0,60	1	0,8
Уголь активированный марки СКТ	1,60	1,90	287	117,3
Уголь активированный марки АГН	1,32	1,42	173	98,7

\*–Сорбционная емкость образца через 15 мин после насыщения бензолом

\*\*–Сорбционная емкость образца через 24 часа после насыщения бензолом

**Выводы.** Установлено, что среди изученных марок каменного угля наибольшей сорбционной емкостью по бензолу обладают образцы газового и длиннопламенного газового угля. В отличие от дефицитных и дорогих активированных углей, газовый и длиннопламенный газовый уголь можно рекомендовать как сырье получения экономически выгодных сорбентов с целью ликвидации последствий масштабных аварийных проливов химически опасных веществ на химически опасных объектах и транспорте.

## Список литературы

1. Термодинамика сорбции токсичных компонентов органической природы из растворов на твёрдых сорбентах / Ф.Т. Махмудов, М.А. Рагимли, С.А. Алиева и др. // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 338 – 345.

2. Способность пористых материалов поглощать аварийно химически опасные вещества / Ан.В. Агарков, А.А. Козлитин, В.В. Лебедева, О.Н. Щербакова // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2019. – № 1(56). – С. 94–99.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КАЗАХСТАНА (КАРАГАНДИНСКОЙ ОБЛАСТИ)

**Борибай Э.С., Молдагазыева Ж.Ы.**

*АО «Университет Нархоз», г. Алматы, Казахстан*

В условиях техногенного воздействия аккумуляция тяжелых металлов обусловлена выбросами работающей техники, промышленных предприятий, при разработке месторождений, с последующим трансграничным их переносом. Добыча полезных ископаемых является мощным видом техногенеза.

На сегодняшний день в атмосферном воздухе присутствуют большое количество токсичных соединений, установить уровни, которых становится всё сложнее. В связи с этим вопрос о приоритетных загрязнителях атмосферы остается открытым. К основным загрязнителям относятся взвешенные частицы, оксид углерода (CO), оксид азота (NO), оксид азота II (NO<sub>2</sub>), оксида серы (SO<sub>2</sub>) и тяжелые металлы [1].

Изучение последствий техногенного накопления тяжелых металлов (ТМ) и антропогенного загрязнения природной среды в настоящее время приобрело исключительно важное значение для здоровья и безопасности населения.

Целью работы является изучение экологического состояния некоторых промышленных территории Карагандинской области.

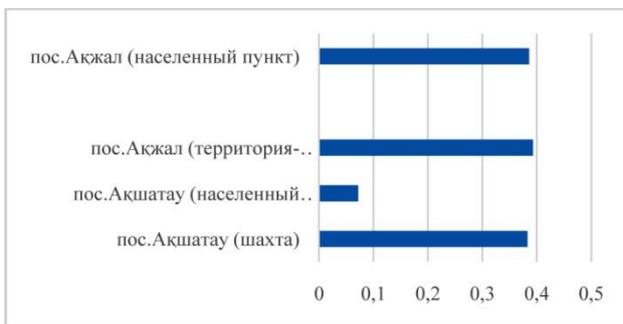
В Карагандинской области сосредоточены несколько сотен предприятий, многих отраслей промышленности, которые одновременно и производят, и загрязняют окружающую среду. Экологические проблемы превратились в один из факторов, оказывающих непосредственное влияние на развитие области и здоровье населения региона. Высокая концентрация промышленного производства, совместное размещение предприятий и жилых районов без учета экологической безопасности привели к тому, что население этих районов живет в зоне постоянного

действия вредных производств и отходов. К ним можно отнести разработки месторождений полезных ископаемых, деятельность горно-обогатительных комбинатов, работу горношахтного оборудования и транспорта, ТЭС и ТЭЦ.

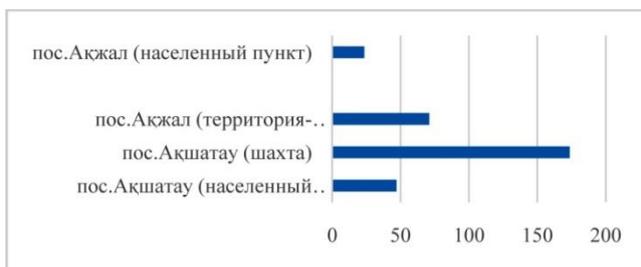
Приведем показатели в окружающей среде (почве, воде) содержание свинца и цинка в производственных районах как Акжал и Акшатау, где производят в основном цинк, медь и вольфрам. Помимо этих металлов в воздухе присутствует и пыль свинца, который присутствует и в воде, и в почвах соответственно, влияя отрицательно на здоровье населения [6,7].

В районах полиметаллических руд и переработки в атмосферу попадают большое количество металлической пыли, они в свою очередь, попадают в воду и почву.

Вблизи поселка Акжал находится ТОО «NOVO ЦИНК» (добыча и обогащения свинцово цинкового концентрата).



**Рис. 1. Содержание свинца (С, мг/кг) на территории поселков Акжал и Акшатау**



**Рис. 2. Содержание цинка (С, мг/кг) в почве поселков Акжал и Акшатау**

Из рисунков 1,2 видно, что содержание Pb в поселке Акжал и Акшатау в пределах нормы, на территории Акшатау (шахта), на территории Акшатау (населенный пункт) составляет превышение в 7,5 раз (степень опасности как «Экологическое бедствие»). Незначительное превышение на территории Акжал (населенный пункт), больше 2 раз превышено на территории действующее производство Акжал (территория-Новоцинк) (степень опасности как «Чрезвычайно опасная»). Присутствие и превышение цинка в окружающей среде, а именно в воде, почве объясняется тем что 90 процентов этого металла содержится в рудах этих районов [8].

Из таблицы 2 видно, что в населенных пунктах г. Жезказгана и Балхаша содержание тяжелых металлов свинца, цинка и меди в пределах нормы. Критических показателей не наблюдается.

**Таблица 1**

**Содержание свинца и цинка в городах Жезказган и Балхаш**

Тяжелые металлы, мг/кг	ПДК, мг/кг, мг/л	г. Жезказган (населенный пункт)	г. Балхаш (населенный пункт)
Pb	32,0	3,9228	23,18
Zn	23	9,29	17,83
Cu	33	0,028	0,195

Результаты исследования показали превышение тяжелых металлов в почве на территории Акшатау Акжал (территория-Новоцинк). В населенных пунктах городах Жезказган и Балхаш критических показателей не наблюдается.

Для предотвращения загрязнения поверхности Земли одновременно нужны и предупредительные меры. В настоящее время создаются малоотходные производства, в которых выбросы вредных веществ не превышают предельно допустимых концентраций, а отходы не приводят к необратимым изменениям природы.

**Список литературы**

1. сайт Статистической отчетности РК.
2. Методики по определению тяжелых металлов на атомно-адсорбционном анализаторе выполнены по [3]. ГОСТу 28168-189- Почвы. Отбор проб. М.: Издательство стандартов, 1989г.
3. Приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан от 26 сентября 2006 года № 437 «О внесении дополнений и изменения в приказ и.о. Министра здравоохранения Республики Казахстан от 13 мая 2005 года № 229 «Об утверждении санитарно-эпидемиологических правил и норм».

4. Приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан от 25 июня 2015 года № 452. Зарегистрированный в Министерстве юстиции Республики Казахстан 24 июля 2015 года № 11755). ГОСТу 19355-85. Вода питьевая.

5. ГОСТу 28168-189- Почвы. Отбор проб. М.: Издательство стандартов, 1989г.

6. Пупышев А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ. — М.: Техносфера, 2009.- 784с.

7. Elmira Boribay, Nursulu Akhtaeva, Intyk Shayakhmetova, Zhanar Moldagazieva, Saltanat Usubalieva, Aliya Tulegenova. Biomonitoring of the of technogenic factor's influence on the plants. European Biotechnology Congress 2018. Journal of Biotechnology Volume 280, Supplement, Pages S1-S92 (30 August 2018). DOI: 10.1016/j.jbiotec.2018.06.146 (IF 2.28).

8. Aliya Tulegenova, Man Cheung Chung, Elmira Boribay, Intyk Shayakhmetova, Zhanar Moldagazieva, Saltanat Usubalieva. Sleeping sickness in Kalachi village. «The IER international Conference» 24-25 August, Hong Kong, 2018.<http://theier.org/Conference2018/HongKong/3/ICPLT>.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ГАЗОВОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ АВАРИЯХ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

**Мамаев В.В., Агарков А.В.**

*НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР*

Основными направлениями социального и экономического развития многих горнодобывающих стран и государств предусматривается дальнейшее развитие угольной промышленности [1]. Однако значительным препятствием на пути к достижению высоких показателей добычи угля являются подземные пожары, при ликвидации которых возникают условия, опасные для жизни горноспасателей. Особенно опасны пожары в газообильных шахтах, так как их тушение сопряжено с возможностью взрыва газозадушенной смеси из-за возможных ее скоплений в районе действующего пожара до взрывоопасных концентраций. В этом случае организация мониторинга и контроля газовой обстановки в аварийном участке и в прилегающих к нему горных выработках в течение всего периода ликвидации аварии является одним из главных условий безопасного ведения горноспасательных работ [2].

Разработке и совершенствованию способов дистанционного мониторинга и контроля газовой обстановки (далее – СДМКГО) при авариях в угольных шахтах посвящены исследования ведущих ученых и инженеров: Д.И. Божко, В.Ю. Горба, Е.Ф. Карпова, В.И. Ковальчука,

А.Л. Романчука, В.С. Сергеева, Б.А. Сурначева, D. Chapman, В. Cierpiela, С. Fauconnier, Z. Fink, А. Kukuczka, D. Mitchell, R. Morris [3]. В настоящее время СДМКГО осуществляется путем внедрения системы дистанционного отбора проб шахтного воздуха (далее – система) по специально проложенному пробоотборному трубопроводу с последующим их анализом в специализированной газоаналитической лаборатории (далее – СГАЛ). Принцип работы системы основан на непрерывном прокачивании газозвушной смеси через пробоотборный трубопровод благодаря разрежению, создаваемому побудителем расхода.

Однако система имеет ряд недостатков, влияющих на достоверность анализа газовой обстановки аварийных участков [2, 3], в том числе:

- отсутствие оперативности контроля газовой обстановки аварийного участка с короткими интервалами времени при анализе проб воздуха в СГАЛ. При этом за время доставки и анализа проб в СГАЛ (несколько часов), в аварийном участке газовая обстановка может существенно измениться, в связи с чем решения по ликвидации аварии принимаются с опозданием;
- вероятность получения недостоверных показателей газовой обстановки аварийного участка в виду разбавления отбираемой пробы воздухом нормальной среды, вследствие нарушений герметичности в местах соединения секций пробоотборного трубопровода, его высокой газопроницаемости, повреждения при транспортировке и прокладке, а также в результате взрывов или обрушений;
- погрешность анализа газовой обстановки в виду точечного отбора проб в аварийной выработке с помощью пробоотборного трубопровода, закрепляемого на уровне 1/3 высоты выработки от кровли;
- влияние конденсации и скапливания влаги в результате провисаний пробоотборных трубопроводов, что создает дополнительное сопротивление работе побудителю расхода и приводит к снижению эффективности работы системы. Значительное количество влаги в отобранной пробе также приводит к недостоверной оценке ее газовой концентрации при использовании ряда портативных газоанализаторов.

С целью повышения достоверности контроля газовой обстановки предлагаются следующие варианты совершенствования системы:

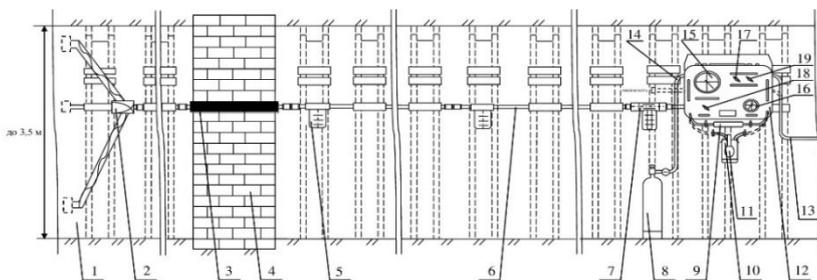
1) оперативный контроль газовой обстановки в относительно сжатые сроки можно осуществить путем анализа отобранных проб воздуха в условиях шахты с помощью газоаналитических приборов на безопасном расстоянии;

2) в качестве пробоотборного трубопровода рекомендуется использовать трубки из поливинилхлорида, внутренним диаметром 8 – 12 мм с толщиной стенки 2 мм, как наиболее оптимальные с точки зрения массы, срока службы, стоимости, низкой газопроницаемости, устойчивости к перепадам температур, образованию скручиваний и заломов, а также других условий;

3) с целью обеспечения одновременного отбора проб воздуха по высоте (до 3,5 м) и сечению (до 13,8 м<sup>2</sup>) горной выработки аварийного участка следует разработать многоточечный пробоотборник.

4) для устранения негативного влияния конденсата на циркуляцию в системе необходима разработка и использование фильтров-влажнотделителей, устанавливаемых между секциями трубопровода в местах значительного перепада температур на небольших длинах, и фильтра-осушителя, устанавливаемого перед побудителем расхода или буферным резервуаром для набора пробы воздуха в камеру (в зависимости от побудителя расхода). Фильтры-влажнотделители позволят значительно уменьшить скапливание в пробоотборном трубопроводе влаги, которая может препятствовать движению газовой пробы. Использование фильтра-осушителя позволит обеспечить достаточное высушивание анализируемых пожарных газов, имеющих нередко весьма высокую влажность, перед их попаданием в сосуды (камеры) для отбора проб воздуха.

На рис. 1 представлена упрощенная схема предлагаемой системы.



**Рис. 1.** Упрощенная схема системы: 1 – изолированное пространство аварийного участка; 2 – многоточечный пробоотборник; 3 – трубопровод, монтируемый в изолирующее сооружение; 4 – изолирующее сооружение; 5 – фильтр-влажнотделитель; 6 – пробоотборный трубопровод; 7 – фильтр-осушитель; 8 – баллон со сжатым воздухом; 9 – сосуд для отбора проб воздуха; 10 – буферный резервуар для набора пробы воздуха в камеру; 11 – камера для отбора проб воздуха; 12 – установка эжекторная УЭ-1М; 13 – отводной трубопровод для сброса воздуха в окружающую среду; 14 – трубопровод соединительный; 15 – вакуумметр; 16 – манометр; 17, 18, 19 – краны выбора режимов работы

и питания

Таким образом, приведены рекомендации по совершенствованию СДМКГО, заключающегося в отборе проб воздуха дистанционным способом и анализе их газового состава в шахте. Совершенствование системы является одной из важных составляющих для создания безопасных условий труда горноспасателей в шахтах при ликвидации аварий.

### Список литературы

1. Global Energy Perspective 2019: Reference Case: [website]. – URL: [https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Oil%20and%20Gas/Our%20Insights/Global%20Energy%20Perspective%202019/McKinsey-Energy-Insights-Global-Energy-Perspective-2019\\_Reference-Case-Summary.ashx](https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Oil%20and%20Gas/Our%20Insights/Global%20Energy%20Perspective%202019/McKinsey-Energy-Insights-Global-Energy-Perspective-2019_Reference-Case-Summary.ashx) (date of the application: 12.03.2020). – Text. Image: electronic.

2. Agarkov, A. Analysis of the emergency at the mining enterprises and evaluation of the method of remote selection of samples of mine air when conducting mine-rescue work / A. Agarkov // Научный журнал «Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования» № 2(3). – Донецк: ГОУ ВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР. – 2019. – С. 10–20.

3. Мамаев, В.В. Способы и технические средства дистанционного контроля шахтной среды при ведении аварийно-спасательных работ / В.В. Мамаев, А.В. Агарков // Научный журнал «Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования» № 3(4). – Донецк: ГОУ ВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР. – 2019. – С. 109–119.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ СОЗДАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СЕВЕРО-КАСПИЙСКОГО МОРСКОГО КАНАЛА

Мынгжасаров Б.<sup>1</sup>, Нурпеисова М.<sup>1</sup>, Шульц Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *КазНИТУ, Алматы, Казахстан*

<sup>2</sup> *Michigan Technological University, Michigan, USA*

В настоящее время таким важным транспортным пунктом, соединяющим современную Европу с промышленным гигантом, Китаем, являются морские порты на Каспийском побережье Казахстана. Развитие морского транспортного сообщения в Казахстане – ключ, открывающий многие перспективы. На данный момент в РК полностью функционируют 2 порта международного значения: Актау и Курык. Ведется еще строительство Северо-Каспийский морского канала с причальными сооружениями на основании специального Проекта ТОО «ТенизСервис» [1].

Проектом предусмотрены следующие сооружения (рис.1): морской канал; разворотный бассейн; участки морского отвала грунта; причальные сооружения разгрузки грузов (СРГ); площадка отвала грунта и бассейна-отстойника; подъездная дорога и др.

При интенсивной добычи нефти на Северном Каспии, объект будет использоваться для доставки грузов на наземные месторождения. Обеспечение безопасной эксплуатации таких уникальных и ответственных инженерных сооружений достигается проведением геодезического мониторинга. Возведение таких сооружений, как Северо-Каспийский морской канал, требует проведения постоянных высокоточных геодезических измерений с целью ведения контроля за текущим состоянием данных сооружений.



**Рис.1. Схема строительства морского канала и разворотного бассейна**

Выполнение указанных геодезических работ производится в условиях действующего инженерного сооружения, что часто приводит к необходимости совершенствования существующих методик геодезических измерений и к разработке новых методик. Выполнения наблюдений за деформациями гидротехнических сооружений представляет собой сложную и проблемную задачу, которая требует миллиметровой точности. Чтобы определить осадку гидротехнического сооружения требуется создание высотной опорной сети нивелирования [2].

Пункты существующих геодезических сетей на таких сооружениях, в большинстве случаев, малопригодны для организации сеансов наблюдений спутниковыми геодезическими приёмниками, так как они были заложены для выполнения наблюдений традиционными способами, особенно это касается опорных створных пунктов.

Для выполнения измерений в одной системе координат эти пункты привязываются к существующим уже исходным пунктам сети с помощью спутниковых технологий или высокоточных тахеометров. Перед началом выполнения измерений необходимо определить устойчивость новых исходных пунктов. Устойчивость исходных пунктов в кусте определяется линейно-угловыми измерениями высокоточным тахеометром в осенне-зимний и весенне-летний периоды. После этого производятся измерения на определяемые пункты, находящиеся на инженерном сооружении, с каждого из заложенных исходных пунктов. Для повышения точности и надёжности измерений на противоположных берегах сооружений должно быть заложено два куста исходных пунктов, связанных между собой измерением базовых линий.

Эти линии могут быть измерены спутниковыми приёмниками или высокоточным тахеометром.

Для выполнения всех строительных работ на территории сооружения разгрузки грузов (СРГ) в 2017 году была создана геодезическая основа из 6 пунктов. Вся работа была выполнена в режиме статики GPS системой Trimble, модели R10 и для сравнения результатов был произведен тахеометрический ход односекундным тахеометром Leica TS16. На рисунке 2 приведена схема измерений на пунктах сети при определении координат опорных пунктов RP-2309, BASE-13, расположенных в местах, обеспечивающих наиболее благоприятные условия для спутниковых измерений. В данном случае рассматривается наиболее неблагоприятный вариант, когда на ранее заложенных опорных пунктах створа невозможно выполнить качественные спутниковые измерения. С пунктов RP-2309 и BASE-13 передача координат на опорные пункты NSE-1, NSE-5 и NSE-2, NSE-6 створа выполняется с применением высокоточных электронных тахеометров. В данной схеме измерения ошибка определения координат опорных пунктов створа зависит от точности измерений спутниковыми приёмниками и точности измерений электронными тахеометрами[3].

От пунктов государственной геодезической сети RP-2309 и BASE-13 были произведены измерения горизонтальных углов и базисных расстояний с предельными значениями невязок в треугольниках не более 5". Координаты геодезической основы определены в глобальной системе координат WGS UTM, зона 39N, а высотные – Балтийской системе.



составляло около трех метров, а расстояние между контрольным приёмником и базовыми приёмниками составляло около 500 м [4].

Для анализа точности измерений, выполненных спутниковыми приёмниками GPS, были проведены измерения электронным тахеометром TS 1200. Таким образом, создание мониторинговой сети для высокоточных наблюдений за состоянием инженерных сооружений использованием электронных и спутниковых приёмников GPS позволило сократить затраты времени на определение координат в перерасчете на одну снимаемую точку в 10-15 раз и повысить точность определения координат не менее, чем в 2 раз.

**Выводы:** Разработана методика повышения точности определения взаимного положения исходных пунктов геодезической сети на основе применения «кустового» метода проектирования сети, позволяющая определять взаимное положение исходных пунктов с ошибкой не более 1 мм. Рассмотренная методика выполнения измерений может быть, после выполнения дополнительных исследований для определённых длин линий, применена при определении деформационных процессов гидротехнических сооружений.

### **Список литературы**

1. Проекта «Маршрут транспортировки грузов для объектов Северо-восточной части Каспийского моря. РГП «Госэкспертиза» №01-0561/15 от 23.12.2017 г.).
2. Мынгжасаров Б., Нурпеисова М.Б. Геодезические работы при мониторинге деформационных процессов гидротехнических сооружений. //Материалы Международной научной конференции молодых ученых «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». – Москва: ИПКОН РАН, 2019. – С.119-122.
3. Нурпеисова М.Б., Мынгжасаров Б. Совершенствование геодезических методов наблюдения за деформациями инженерных сооружений. – Астана, Вестник НАГН, 2019, №4.–С.52-58.
4. Геодезические работы при строительстве Северо-Каспийского морского канала с причальными сооружениями// Алматы: ГЖК. – №2.2020 – С.12-19.

## **СОЗДАНИЕ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Байджанов Д.О., Бек А.А.**

*КарГТУ, г. Караганда, Казахстан*

**Введение.** Горнодобывающие предприятия Казахстана уделяет особое внимание на промышленную безопасность освоения недр. Проблемы обеспечения устойчивости горных выработок в трещиноватых поро-

дах являются наиболее трудно решаемыми задачами при строительстве и эксплуатации горного предприятия. Устойчивость прибортовых массивов определяются степенью их трещиноватости. Технология упрочнения трещиноватого массива должна обеспечить полное заполнение трещин в массиве различной композицией и надежно скрепить отдельные структурные блоки в единое целое. Одним из эффективных методов, позволяющих предотвратить такого вида деформации пород, являются их искусственные укрепления [1,2].

**Основное содержание работы.** В практике открытой разработки месторождения наблюдается немало случаев, когда в следствии неправильной оценки устойчивости и принятия завышенных значений углов наклона бортов карьера происходили крупные оползни и обрушения, а необоснованное уменьшение углов погашения приводило к значительным затратам по извлечению дополнительных объёмов вскрышных пород. Обрушения на карьерах большей частью происходит по поверхностям ослабления, обусловленными тектоническими нарушениями, а также наличием направленных в сторону выработанного пространства трещин. Различного рода обрушения приводят к существенным нарушениям режима работы карьера и требуют значительных расходов по восстановлению транспортных путей.

Устойчивость прибортовых массивов определяются степенью их трещиноватости. Технология упрочнения трещиноватого массива должна обеспечить полное заполнение трещин в массиве различной композицией и надежно скрепить отдельные структурные блоки в единое целое.

Одним из эффективных методов, позволяющих предотвратить такого вида деформации пород, является их искусственные укрепления, которые позволяют обеспечить необходимую устойчивость откосов уступов нерабочих бортов карьеров и в одних случаях предотвратить возможные обрушения пород на ослабленных участках, в других – значительно снизить объёмы вскрышных работ. Одним из известных способов упрочнения трещиноватых пород является их цементация. На карьерах цементация пород применяется следующим образом. С верхней площадки уступа бурятся вертикальные и наклонные скважины на расстоянии 4-6 м от друг друга и в них нагнетается цементный раствор до полного насыщения массива. Цементный раствор готовят на основе воды и цемента.

Для безопасной отработки месторождения на нижележащих горизонтах, с целью предотвращения осыпей, а также для подавления пылеобразования отвалов нами совместно с лабораторией «ЦелСИМ» разработан изолирующий раствор, состав которого приводится ниже.

Известен раствор для укрепления трещиноватых горных пород, описанный в книге Певзнера М.Е. Борьба с деформациями горных пород в карьерах. М.: Недра 1978, с. 208. Он содержит цемент, воду и добавку – хлористый кальций в количестве 1-2,2 % от массы цемента. Раствор имеет высокую стоимость.

Известен состав для упрочнения горных пород (а.с. №178271 СССР авторы: Алтаев Ш.А., Жалгасов Н.Ж., Кадырсизов Н. Опубл. 15.01.93г.) и содержит следующие компоненты: мас, %

карбамидная смола марки КСМ 88-92,  
водорастворимая полиэфирная смесь 4-6  
Алюмохромфосфат 4-6,

Раствор отличается высокой стоимостью и его необходимо готовить непосредственно у скважины.

Заявляемая композиция включает цемент, наполнитель и воду. В основу изобретения положена задача создания раствора для укрепления трещиноватых горных пород, обладающего низкой стоимостью, достаточной текучестью для заполнения мелких трещин и адгезией к горным породам, высокой прочностью полученного материала и позволяющего утилизировать отходы горного производства – хвосты обогатительных фабрик.

Изобретение относится к горному делу, а именно к укреплению горных пород связующими растворами. Технический результат – утилизация отходов горного производства – хвостов обогатительных фабрик, достижение высокой текучести раствора, адгезии к горным породам и прочности полученной композиции[3].

Для достижения этого результата композиция для укрепления трещиноватых горных пород, содержащий цемент, наполнитель и воду, согласно изобретению, в качестве наполнителя содержит хвосты обогатительных фабрик и дополнительно содержит дисперсионный полимерный порошок мовилит при следующем соотношении компонентов, мас. %:

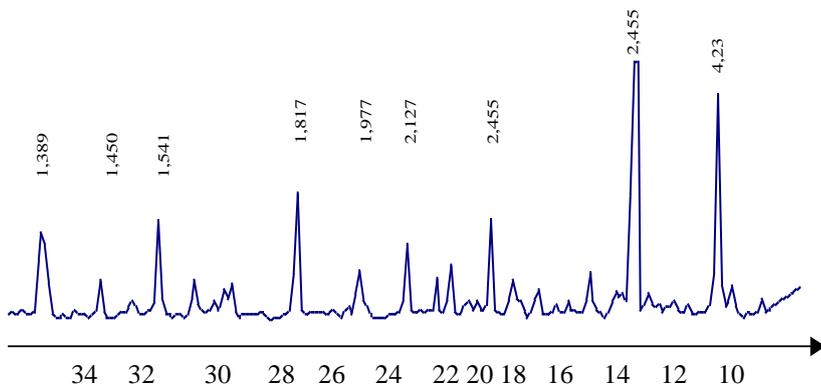
цемент	30-35
хвосты обогатительных фабрик	45-50
дисперсионный полимерный порошок мовилит	3-4
вода	остальное.

Указанное соотношение компонентов получено экспериментально и является оптимальным. С одной стороны, необходимой текучести раствора и адгезии, а с другой стороны, для получения материала необходимой прочности после схватывания его с горными породами.

На рентгенограмме хвостов обогатительной фабрики Акжал (рис. 1.) представлены в основном три составляющих с дифракционными линиями 4,23; 3,238; 2,455; 2,28; 2,237; 2,127; 1,977; 1,817;

1,669; 1,658; 1,541; 1,454; 1,388; 1,373А, соответствующими кварцу. Содержание кварца в пробах 53,6 до 68 % . Имеется незначительно полевой шпат.

Хвосты содержат от 10 до 15% глинистых минералов: гидромусковита, гидрослюда: 4,46; 3,707; 2,986; 2,556; 1,993; 1,498; 1,389. Данные анализов подтверждаются результатами рентгенографического анализа.



**Рис.1. Рентгенографический анализ хвостов БГМК**

**Таблица 1**  
**Грануляционный состав хвостов Акбакайской ОФ**

Размеры сит, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	Менее 0,14
Полные остатки, %	0,2	0,4	1,2	5,8	25,3	74,3

После дозирования компонентов цемент, хвосты и мовилит загружают в бетономешалку и тщательно перемешивают. Затем добавляют воду и перемешивают. Готовую композицию доставляют подземные выработки и нагнетают в трещины нарушенных целиков и кровли камер. Для определения прочности из композиции формовали образцы 4x4x16 см и уплотняли на виброплощадке в течение 45 сек. Через сутки образцы извлекли из форм и хранили во влажных условиях 28 суток, а затем проводили физико-механические испытания, результаты которых представлены в табл.2.

Таблица 2

## Физико-механические свойства раствора

	Состав раствора, мас.%			Показатели			
	цемент	хвосты ОФ	Мови- лит	вода	предел прочности на сжатие, МПа	предел прочности на изгиб, МПа	осадка конуса, мм
Пример 1	30	50	4	16	32,5	4,7	150
Пример 2	32,5	47,5	3,5	16,5	35,6	5,2	145
Пример 3	35	45	3	17	37,2	5,8	143

Техническая новизна созданных инновационных методов и способов подтверждены патентами РК на изобретение [4].

**Выводы.**

1. Разработана методика комплексной оценки состояния горных пород позволяющая учесть особенности геологического строения подработанных толщ и, тем самым, повысить качество геомеханического обеспечения горных работ.

2. Для обеспечения промышленной безопасности и для предотвращения дальнейшего прогрессирующего разрушения целиков разработан состав раствора из отходов горного производства.

Применение способов укрепления откоса уступов и горных выработок позволило улучшить геомеханическую ситуацию в прибортовой зоне и обеспечить экологическую безопасность освоения недр.

**Список литературы**

1. Отчет о НИР по Грантовому финансированию «Снижение риска техногенных катастроф путем разработки инновационных методов управления», №ГР 0115РК02448. – Алматы: КазНУТУ, 2017. – 128 с.

2. Nurpeisova M, Donenbaeva N., Bek A.A, Developolment of geodetic methods of monitoring of open-pit sides stability (Tomcon Roiters). Biosc.Biotech.Res.Comm Special Issue Vol 12 No (4) Sep 2019. – P.67-78.

3 Bek A.A., Baijanov D.O. Sustainability of mountain structures // Scientific discussion. Praha, Czech Republic, Vol/1, No41, 2020. – p.35-38.

4. Патент на полезную модель. №1573 РК. Состав для укрепления трещиноватых горных пород / Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Г.М., Бек А.А. Опубл. от 02.01.2016 г.

## СОЗДАНИЕ КАРТ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ

Айтказинова Ш.К., Доненбаева Н.С., Дербисов К.Н.,  
Нурпеисова М.Б.

*КазНИТУ, г. Алматы, Казахстан*

**Введение.** Существенную роль в развитии экономики Казахстана играет горно-металлургическая отрасль промышленности. Особую роль при этом отводится открытому способу производства как наиболее производительному и эффективному. Характерной особенностью открытой разработки месторождений является возможность вовлечения в отработку глубоко залегающих месторождений глубиной до 600-700 метров и сроками службы 35-60 лет со сложными горно-геологическими условиями их строительства и эксплуатации. При этом большое значение приобретает проблема обеспечения длительной устойчивости бортов на граничных контурах и временно нерабочих бортов, которые формируются как топографические поверхности, ограничивающие целики со стороны выработанного пространства при регулировании режима горных работ и консервации в них определенных объемов горной массы.

**Основное содержание работы.** Обязательным условием для безопасного ведения горных работ при отработке месторождений полезных ископаемых открытым способом является обеспечение устойчивости бортов карьеров. Расчет устойчивости осуществляется путём численного решения уравнений математической физики, описывающей геомеханические процессы геологической среды [1, 2].

При расчете устойчивости карьера нами использован веер сечений с постоянным углом поворота относительно друг друга для получения равномерной картины по всему карьере. Сечения намечались по возможности вкрест простирания борта. Определенные для расчета в программном комплексе «Борт» сечения показаны на рисунке 1. Для каждого сечения через дробь указаны азимут направления сечения относительно дна карьера и генеральный угол борта в соответствующем сечении. Далее эти сечения последовательно загружались в программный комплекс, где выполнялась их обработка. При проведении расчетов использовались результаты исследований ФМС пород и руды Акжалского карьера, представленные в таблицах 1 и 2, с учетом структурного ослабления массива [3, 4].

Таблица 1

## Расчетные параметры для оценки устойчивости борта карьера

Разновидность пород и руд	Плотность $\gamma \times 10^{-3}$ , кгс/м <sup>3</sup>	Угол внутр. трения $\varphi$ , град.	Сцепление в образце $C$ , МПа	Сцепление по поверхностям ослабления $k'$ , тс/м <sup>2</sup>	Коэффициент структурного ослабления $\lambda$	Сцепление в массиве $C_m$ , кгс/см <sup>2</sup>
Массивные известняки	2,81	36°	16	7	0,0409	7,209
Порфириты	2,78	37°	22	7	0,0276	6,757
Руда	4,73	37°	22	7	0,0276	6,757
Средне-взвешенные расчетные параметры	3,44	36,7°				6,91

Для каждого сечения результаты расчета выводились в графическом и текстовом виде. Итоговая информация по расчетным сечениям сведена в таблицу 2.

Таблица 2

## Сводная информация по расчету устойчивости сечений борта карьера

№ п/п	Положение расчетного сечения и его азимут	Генеральный угол наклона борта карьера в сечении	Линия сдвижения с минимальным коэффициентом запаса устойчивости		Минимальный коэффициент запаса устойчивости
			от гор., м	до гор., м	
1	С; 0°	18,4°	+ 70	+ 131	1,686
2	СВ; 22,5°	16,9°	+ 42	+ 145	2,179
3	СВ; 45°	17,3°	+ 70	+ 88	1,940
4	СВ; 67,5°	13,9°	+ 71	+ 87	2,353
5	В; 90°	16,0°	+ 59	+ 116	1,501
6	ЮВ; 112,5°	17,3°	+ 59	+ 115	1,247
7	ЮВ; 135°	14,9°	+ 59	+ 170	2,050
8	ЮВ; 157,5°	15,6°	+ 57	+ 105	1,433
9	Ю; 180°	15,4°	+ 58	+ 90	2,166
10	ЮЗ; 202,5°	15,9°	+ 100	+ 162	1,891
11	ЮЗ; 225°	15,9°	+ 85	+ 150	2,431
12	ЮЗ; 247,5°	16,4°	+ 70	+ 100	2,032
13	З; 270°	15,4°	+ 70	+ 100	2,050
14	СЗ; 292,5°	13,5°	+ 116	+ 145	3,003
15	СЗ; 315°	13,5°	+ 130	+ 160	2,781
16	СЗ; 337,5°	21,3°	+ 72	+ 132	1,712

Анализ результатов расчета по таблице 2 и карте устойчивости карьера показывает, что по состоянию на 2017 г. борт карьера находился в устойчивом состоянии, что подтверждается отсутствием серьезных обрушений на реальном карьере. Коэффициент запаса по всем рассчитанным сечениям превышает 1: минимальное полученное в расчетах значение (1,247) приходится на юго-восточный борт карьера (сечение азимута 112,5°). Генеральный угол наклона борта карьера по различным направлениям находился в пределах 13,5° ÷ 21,3° при угле откоса уступов на отдельных участках до 60° ÷ 65°.

Развитием возможностей программного комплекса «Борт» явилась разработка ряда технологий его совместного использования с ГИС Surpac, как для подготовки качественных исходных данных для программного комплекса, так и для групповой обработки результатов расчета по отдельным сечениям [5].

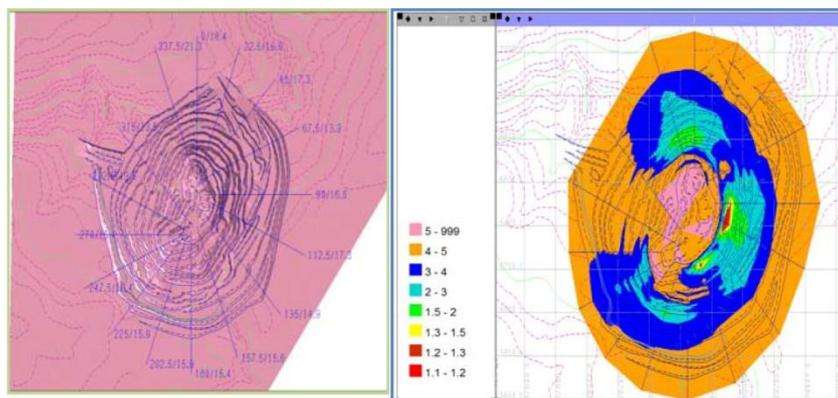
Подобная работа была выполнена для карьеров АО «ССГПО»: Соколовского, Качарского, Сарбайского и карьера Акжал ТОО «NOVA Цинк». Для каждого карьера были разработаны две карты устойчивости – для фактического положения горных работ и для проектного контура карьера.

Для карьера Акжал при определении исходных данных для расчета устойчивости уступов и бортов были приняты данные физико-механических испытаний проб, отобранных на уступах карьера, и данные геологического строения месторождения

При определении средневзвешенных показателей массива были задействованы параметры усредненных свойств массива по западному, восточному, северному и южному бортам. В результате анализа полученных данных установлено примерное процентное соотношение основных вмещающих пород и руд прибортового массива для каждого расчётного сечения [6].

Разработанная карта устойчивости карьера Акжал по проекту отработки месторождения показана на рисунке 2.

**Выводы.** Расчет устойчивости бортов карьера осуществлялся путём численного решения уравнений математической физики, описывающей геомеханические процессы геологической среды. Особенностью работы стала реализация основных этапов создания карт стабильности карьеров, поэтому первоначальная информация для каждого карьера выполнена самостоятельно в зависимости от полноты, вида и формы представления исходной информации.



**Рис. 1. Расчетные сечения для построения карты устойчивости карьера Акжал**

**Рис.2. Карта устойчивости карьера Акжал по состоянию на 2019 г.**

Разработанные карты устойчивости позволили выявить потенциально опасные с точки зрения устойчивости зоны карьера и выработать рекомендации по снижению опасности обрушения бортов карьеров. Таким образом, подход к разработке карт устойчивости бортов карьеров в каждом случае индивидуален и зависит от полноты и формы представления исходной информации.

### Список литературы

- 1 Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геологоразведочные работы, 2014.
- 2 Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: ВНИМИ, 1972.
- 3.Геотехнические исследования устойчивости горных пород и выдача рекомендации по управлению горным давлением при отработке рудных тел месторождения Акжал ТОО «NOVA Цинк». – Алматы: 2017. – 45 с.
4. Дербисов К.Н., Доненбаева Н.С., Айтказинова Ш.К, Жакыпбек Ы., Нурпеисова М.Б. Изучение напряженного состояния массива горных пород на руднике Акжал. – Казань: «Молодой ученый» №33.,2020. – С.25-28
5. Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Г.М., Бек А.А. Мониторинг техногенных систем (монография). – Deutschland: LapLambert, 2016. – 113 с.
6. Айтказинова Ш.К., Н.С.Доненбаева Н.С., Дербисов К.Н. Методика моделирования геомеханических процессов по профильным линиям отработки месторождения. – Алматы: Вестник КазННТУ, №4, 2020. – С.83-86.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ОСВОЕНИЯ НЕДР

Турумбетов Т.<sup>1</sup>, Шульц Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *КазНУ, г. Алматы, Казахстан*

<sup>2</sup> *Michigan Technological University, Michigan, USA*

Недра Казахстана богаты месторождениями полезных ископаемых, в том числе медных. В Республике выделяются следующие геолого-промышленные типы месторождений меди: медно-порфировый, медистые песчаники, медно-колчеданный, скарновый и самородной меди. Среди них особое место занимает месторождение Восточная Сарыюба, расположенное в Улытауском районе в 30-35 км к северу от рудника Жезказган. Месторождение первое было открыто в 1938-40 гг. и под руководством К.И. Сатпаева на нем были проведены первые геолого-разведочные работы [1].

В целом по рудному полю разведаны и утверждены запасы по категориям В+С1+С2 в количествах, позволяющих выдвинуть его в число крупных промышленных объектов Глубина горного отвода Восточной Сарыюба 510 м, абсолютная отметка -60 м. По материалам существующей картограммы объекта и по существующим координатам в программе ArcGis подсчитана общая площадь, которая занимает 2447,94 га.

В рудном поле выявлено 11 рудных залежей, в составе которых разведано 109 рудных тел. Наиболее крупные залежи приурочены к таскудукскому горизонту. Простираение их северо-восточное, протяженность до 3200 м, мощность от 0,5 до 17 м, размер по падению до 1400 м.

Кроме того, они осложнены как дорудными, так и пострудными дизъюнктивными нарушениями, что в значительной степени затрудняет их разведку [2].

На первоначальной стадии разработки месторождений полезных ископаемых важным для устойчивого развития территории является использование сейсморазведки. Этот метод показал себя мощным средством обнаружения геоструктур, концентрирующих залежи в недрах Земли, способствуя оптимальному планированию добычи полезных ископаемых и сокращению числа скважин. В связи с этим в последние годы нормативные требования к качеству геодезического обеспечения сейсморазведки ужесточены. Создание информационного геолого-геофизического пространства предполагает представление его в единых пространственных координатах. Многообразие методов и модификаций геофизических исследований, ландшафтных и климатических условий, в которых они выполняются, вызывает необходимость исполь-

зовать для геодезического обеспечения – широкий круг технических средств, способов и технологий, а также их применять в комплексе [3].

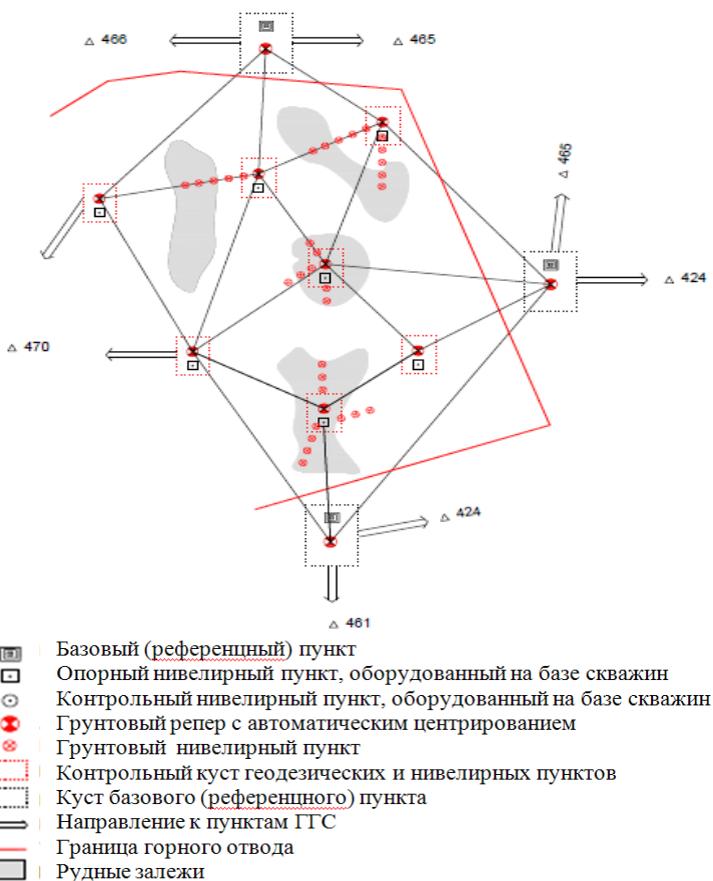
Основой для создания сети геодезических пунктов служит топографическая карта местности.

Опираясь на эти пункты ГГС проводится сгущение сети. Для обеспечения огромной площади, классический вариант создания геодезических сетей на месторождений, является довольно трудоемким. Он требует больших финансовых затрат на организацию и производство наблюдений. В связи с этим нами предлагается заменить протяженные линии нивелирования локальными геодезическими построениями в виде профильных линий и контрольных «кустов» геодезических и нивелирных пунктов. Комплексное применение наземных и космических геодезических методов позволит охватить мониторинговыми наблюдениями всю территорию месторождения, а также повысить оперативность наблюдений и снизить капитальные затраты на их производство.

При крупномасштабном и длительном освоении месторождений, наряду с геомеханическими деформационными процессами могут развиваться и геодинамические процессы [4]. Поэтому при освоении глубокозалегающих рудных тел создается геодинамический полигон, где проводятся повторные геодезические наблюдения.

Исходя из вышеизложенного, нами предлагается заменить протяженные линии нивелирования локальными геодезическими построениями в виде геодинамических профилей, профильных линий и контрольных «кустов» геодезических и нивелирных пунктов. Комплексное применение наземных и космических геодезических методов позволит охватить мониторинговыми наблюдениями всю территорию месторождения, а также повысить оперативность наблюдений и снизить капитальные затраты на их производство. Таким образом, для дифференцированного изучения геодинамических и геомеханических процессов разработки месторождений, занимающих большую площадь и предназначенных для глубоких пластов, предлагаем создать на месторождении «узловые» ветви, состоящие из базовых (референционных), опорных (исходных) и деформационных геодезических и нивелирных пунктов (рис.1) [5].

Сеть базовых (референчных) пунктов предназначена для оценки геодинамического состояния территории месторождения в региональном масштабе и служит исходной геодезической основой для развития сети опорных (исходных) пунктов. В связи с этим базовые (референчные) пункты должны располагаться за границей месторождения и зоны влияния техногенных геомеханических процессов, обусловленных его разработкой, а также на удалении от зон тектонических разломов.



**Рис. 1. Схема наблюдательной сети геодинамического полигона**

Сеть опорных (исходных) пунктов является исходной геодезической основой для наблюдений за геомеханическими и современными геодинамическими процессами в зонах тектонических нарушений, а также для оценки геодинамического состояния территории месторождения.

Сеть деформационных пунктов предназначена для наблюдений за техногенными геомеханическими и современными геодинамическими процессами.

Все эти работы осуществляются с использованием современных геодезических технологий. Применение современных технических средств

открывает широкие возможности для решения задач геодезического обеспечения сейсморазведки на качественно новом уровне.

**Выводы.** Проанализирован современный подход к постановке и выполнению наблюдений за геодинамическими и геомеханическими процессами на месторождениях твердых полезных ископаемых. Обоснован новый «узловой» метод построения систем геодезических наблюдений на геодинамическом полигоне, позволяющий охват мониторинговым контролем проводимых сейсморазведочных работ, а также повысить оперативность наблюдений и снизить капитальные затраты на их добычу

### Список литературы

1. Сатпаев К. И. Основные результаты комплексного геологического изучения и вопросы генезиса Жезказгана. Геология рудных месторождений, 1962, № 3.

2. Рабочий проект. Оработка карьера «Восточная Сарыоба», том 2, книга 1. Жезказганский проектный институт, 2007.

3. Турумбетов Т, Бексеитова Р., Курманбаев О. Геодезическое обоснование разведочных работ на месторождении Восточная Сарыоба. – Алматы: Вестник КазНУ, 2019. Вып.6. – С.25-29.

4. Турумбетов Т.А., Курманбаев О.С., Дербисов К.Н. Геодезическое обоснование геологоразведочных работ //Груды Сатпаевских чтений-2020. – Алматы: Satbayev University. 2020. – С.85-90.

5. Турумбетов Т.А, Касымканова Х.М., Шульц Р.В. Новый подход к проектированию сетей повторных геодезических наблюдений// Вестник КарГТУ, 2020. №1. – С.25-30.

## ОСОБЕННОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СМЕСЕВЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ СИСТЕМ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

Старшинов А.В, Жамьян Ж., Темуллин А.

*Компания «МОНМАГ», Монголия*

В горном деле основную долю ВВ составляют смесевые системы горючих и/или взрывчатых компонентов с окислителями, преобладающими из которых являются – нитраты. В общей массе ВВ, включая «индивидуальные» или «молекулярные», главными по объёмам применения вообще являются производные азотной кислоты – нитросоединения [1]. Соответственно, активным или «рабочим» элементом в ВВ является азот, окисленный в процессе синтеза до валентного состояния +5 ( $N^{+5}$ ), но стабильный благодаря «устойчивой» структуре электронной оболочки.

Другой особенностью ВВ в реальных условиях применения является то, что они и/или компоненты содержат различного рода примеси,

начиная от особенностей строения молекул (изомеры, таутомерные формы) и технологических или природных добавок, в частности, воды (влаги). Примеси в ВВ оказывают принципиально различное влияние: сенсбилизация, флегматизация, разбавление. Источники примесей в ВВ разнообразны – от неизбежных по технологии до загрязнений случайного характера, которые наиболее непредсказуемы и опасны в силу неопределенности состава. Важно отметить, что сенсбилизации для взрыва не обязательно подвергать всю массу ВВ, но достаточно преобразование части его, возникновение и развитие взрыва из которой может произойти по принципу «взрывной цепи» на весь массив.

При оценке детонационной способности нитросоединений (НС) в жидком состоянии, в частности нитрометана (НМ), по критическому диаметру ( $d_k$ ) получено уменьшение его в разы при содержании добавки в десятых долях процента и менее [2]. Такой эффект связан с образованием таутомерной аци-формы НС, в которой возникает кратная (непредельная) связь, склонная к непосредственному разрушению под действием ударной волны с образованием радикалов. Известно, что первичные и вторичные НС содержат обе формы (нитро- и аци-) в равновесном состоянии, например, для НМ доля аци- равна  $10^{-7}$ , а при введении добавок она возрастает. Это объясняет уменьшение  $d_k$  НМ в течение нескольких часов после очистки дистилляцией. Действие на НС добавок с кратными связями подтверждено испытаниями спиртов: пропилового, аллилового с двойной связью в углеродной цепи и пропилового с тройной связью, а также аллиламина [2].

В гетерогенных ВВ на основе окислителей – нитратов роль химической природы горючих и других добавок перекрывается физико-механической структурой системы. В смесях аммиачной селитры (АС) в твердом состоянии определяющими являются форма, размеры и плотность упаковки первичных кристаллических образований – модификационных форм, а также частиц из них сформированных. Наиболее эффективными для изготовления смесевых систем АС с жидкими горючими добавками (ЖГД), включая дизельное топливо (ДТ), являются частицы-гранулы с пористой структурой (ПАС). Сенсбилизующий эффект для АС возрастает при использовании ЖГД с кратными связями и бензольными кольцами [3,4]. Для твердой АС активирующим веществом является вода, но введение её в систему непосредственно проблематично и возможно только с использованием специальных приемов, в частности, в виде эмульсий как I, так и II рода.

В последние годы в РФ освоен выпуск ПАС с высокими показателями пористости и маслопоглощения, что обеспечивает получение смесей типа АСДТ физически стабильных и с высокой детонационной спо-

собностью. Экспериментально установлено менее выраженное падение скорости детонации (D) в смесях на ПАС по сравнению с высокоплотной АС при содержании (С) масла (ДТ) более стехиометрического (С = 5,5%). Так, при С = 5,5% в зарядах диаметром 105мм D = 3,3 км/с, а при С = 11,5% (предельное маслопоглощение) заряд еще взрывается со скоростью более 2 км/с (*совместная работа с Лавровым В.В.*). Для смесей на плотной АС отказ наблюдается уже при содержании ДТ, начиная от 8%. Этот факт может быть объяснен уменьшением эффекта «активного» разбавления и флегматизации смеси за счет отсутствия пленки ДТ на поверхности частиц АС. Получены первичные результаты по изменению детонационной способности АСДТ при температурах ниже фазового перехода IV-V (минус 16,9°С).

### Список литературы

1. Энергетические конденсированные системы Краткий энциклопедический словарь/ Под ред. Б.П.Жукова. – М.: Янус-К, 2000. 596 с.
2. Кондриков Б.Н., Козак Г.Д., Старшинов А.В. и др. О детонации нитрометана. ДАН, 1977.
- 3 Старшинов А.В., Козак Г.Д. Ж. Жамьян. и др. В сб.: Взрывное дело № 102/59, 2009. – С. 145-154.
4. Старшинов, А.В., Милетенко И.В., Ж.Жамьян и др. «Маркшейдерия и недروпользование», №1(45), 2010, с.49-53.

## РАСПОЗНАВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОМПЛЕКСОВ ГЛУБОКОЙ РАЗРАБОТКИ ПЛАСТОВ

Герике Б.Л.<sup>1,2</sup>, Копытин Д.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово

<sup>2</sup> КузГТУ, г. Кемерово,

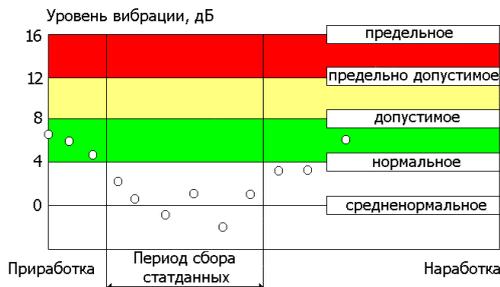
Одной из оценок технического состояния механического оборудования горных машин является общий уровень вибрации, регистрируемой на опорных подшипниках оборудования в частотном диапазоне  $f=[10...1000]$  Гц. Недостатком этой оценки является то, что она практически нечувствительна к изменениям сравнительно низкоэнергетических частотных составляющих вибросигнала, характерных, например, для ряда зарождающихся и развивающихся дефектов подшипников качения, зубчатых передач, электрических и ряда других дефектов [1-3].

Для устранения этого недостатка воспользуемся методом «спектральных масок» [4-6], позволяющим нормировать амплитуды механических колебаний в узких частотных диапазонах, присущих различным дефектам.

Прежде всего выделим те частотные диапазоны, где могут проявиться те или иные дефекты отдельных узлов:

- $(0,5 \dots 2,5) \times f_r$  – для обнаружения дисбаланса и расцентровки;
- $(7,5 \dots 15,5) \times f_r$  – для обнаружения дефектов в подшипниках качения;
- $(2,5 \dots 10,5) \times f_r$  – для предупреждения о нарушениях жесткости;
- $(z \pm 1) \times f_r$  – для распознавания дефектов зубчатых муфт и зубчатых передач и т.д. Здесь  $f_r$  – частота вращения приводного двигателя.

Для определения допустимого уровня вибрации в рассматриваемых частотных диапазонах необходимо воспользоваться понятием «нормального» состояния оборудования комплексов глубокой разработки пластов типа SHM [7] – когда в качестве критериев «нормального» состояния принимаются среднестатистические величины контролируемых параметров заведомо работоспособного агрегата, полученные при обработке результатов нескольких периодических измерений после его приработки (рисунок 1).

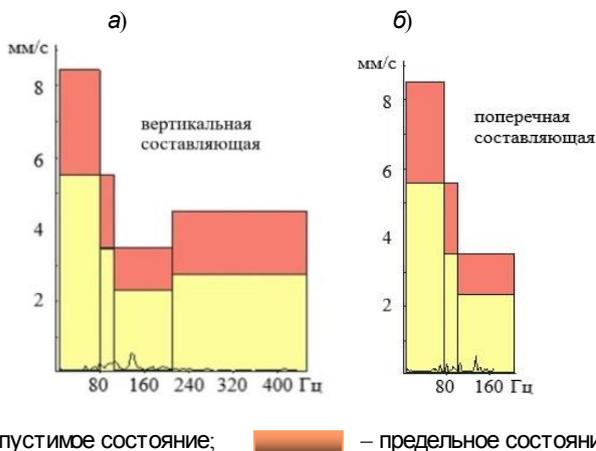


**Рис. 1. Схема сбора данных для расчета средненормального уровня вибрации и допустимых значений вибрации различных состояний**

Большинство стандартов, регламентирующих допустимые значения вибрации, используют градацию классов состояния по возрастанию уровня вибрации на 4, 8, ... дБ (соответственно, примерно в 1,6; 2,5; ... раза), которые и приняты в качестве разделительных границ для оценок технического состояния оборудования комплекса глубокой разработки пластов (КГРП) [8-10].

Вибрация анализировалась отдельно по каждому узлу и агрегату комплекса КГРП (электродвигатель, насос, мультипликатор, гидродвигатели, компрессор, вентилятор) и направлению измерения (вертикальному, поперечному и осевому).

При развертывании программы мониторинга технического состояния КГРП были использованы опорные спектральные маски, представленные в таблице, а на рисунке 2 примеры для оценки технического состояния гидродвигателя ленточного перегрузателя.



**Рис. 2. Опорные спектральные маски гидравлического двигателя ленточного перегружателя**

Из анализа приведенного примера видно, что в исходном состоянии после монтажа гидродвигатель находится в зоне нормального состояния и имеет значительный запас работоспособности по параметрам механических колебаний.

Таким образом можно считать доказанной правомочность использования спектральных масок для оценки технического состояния узлов и агрегатов комплексов для глубокой разработки угля.

**Таблица**

**Классы оценок технического состояния при мониторинге КГРП**

Частотная полоса, Гц	Коэффициенты к среднеквадратическому значению $V_e$			
	Нормальное состояние	Допустимое состояние	Предельно допустимое состояние	Тревога
10...1 000	0,25	0,40	0,63	1
2 (10)...1,5× $f_r$	0,20	0,32	0,50	0,75
2× $f_r$	0,12	0,20	0,32	0,50
(3...4)× $f_r$	0,08	0,13	0,20	0,32
(5...20)× $f_r$	0,13	0,16	0,25	0,40
(21...50)× $f_r$	0,06	0,10	0,16	0,25
Пиковое значение виброускорения $a$ , $m/c^2$				
10...10 000	5	10	20	40

## Список литературы

1. Диагностика горных машин и оборудования: Учеб. пособие./ Б.Л. Герике, П.Б. Герике, В.С. Квагинидзе [и др.] // М.: ИПО «У Никитских ворот», 2012. – 400 с.
2. Костюков В.Н., Науменко А.П. Основы виброакустической диагностики и мониторинга: Учебное пособие. // Новосибирск. Изд-во СО РАН, 2014. – 329 с.
3. Кравченко В.М., Сидоров В.А., Седуш В.Я. Техническое диагностирование механического оборудования: Учебник. // Донецк. Юго-Восток, 2009. – 459 с.
4. Построение системы интеллектуального обслуживания редукторов горношахтного оборудования/ Б.Л. Герике, В.И. Клишин, Е.Ю. Пудов, Е.Г. Кузин.// Горный журнал. №12, 2017. – С. 68-73.
5. Костюков В.Н., Костюков Ал.В. Мониторинг состояния оборудования в реальном времени // Контроль. Диагностика. – 2010. – № 3 – С. 43–50.
6. Rudloff L., Arghir M., Bonneau O., Guingo S., Chemla G., and Renard E. Experimental analysis of the dynamic characteristics of a hybrid aerostatic bearing, J. Engineering for Gas Turbines and Power, 2012, Vol. 134, # 18.
7. Герике Б.Л., Копытин Д.В., Тациенко В.П. Опыт использования цифровых технологий в оценке технического состояния комплексов глубокой разработки пластов.//Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности, №3. – Кемерово. – 2019. – С. 72-80.
8. ИСО 2372. Правила оценки механической вибрации при рабочих скоростях от 10 до 200 об/с.
9. ГОСТ Р ИСО 10816-1-1997 «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования». – М.: ИПК Издательство стандартов. 1998 (2006). – 13 с.
10. Franco Jefferds dos Santos Silva, Herbert Ricardo Garcia Viana, André Nasser Aquino Queiroz, (2016). Availability forecast of mining equipment. Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 22 Iss: 4, pp.418-432.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ГОРНЫХ МАШИН<sup>1</sup>

Герике П.Б., Герике Б.Л.

<sup>1</sup> *ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово*

Долгосрочная эксплуатация горного оборудования неизбежно приводит к отказу его компонентов [1]. Это определяется спецификой его работы: стесненность рабочего пространства, высокие динамические

---

<sup>1</sup>Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта № 20-48-420010\20  
504

нагрузки и давление рабочей жидкости, высокая запыленность рабочего пространства, сильная изменчивость горнотехнических условий эксплуатации и изменчивость внешних факторов.

Эксплуатационные отказы горного оборудования можно разделить на три типа: механические, электрические и сбой пневмо- гидросистем управления [2].

Основная часть механических и электрических отказов (около 90%) проявляется при постепенном изменении одного или нескольких исходных параметров, поэтому они называются параметрическими. Они могут быть измерены как непосредственно (компоненты износа, степень коррозии и эрозии, зазоры в соединении и т.д.), так по косвенным признакам работы горного оборудования (коэффициент полезного действия и производительность, вибрация, шум, интенсивность теплового излучения и т.п.).

При решении задач определения и продления срока безопасной эксплуатации оборудования важно ответить на следующие вопросы [3, 4]:

- каковы механизмы естественного и ускоренного старения материалов и оборудования;
- какова долговечность и живучесть материалов металлоконструкций на разных стадиях повреждения;
- какова математическая модель функционирования объекта, описывающая его фактическое техническое состояние и оставшейся срок службы;
- каковы должны быть методы диагностики для определения оставшегося ресурса объекта.

Основной принцип диагностики сложных технических систем, включающих все виды горного оборудования, заключается в следующем:

- последовательное и систематическое измерение определяющих параметров системы;
- выявление изменений этих параметров в процессе эксплуатации и их сравнение с первоначальными значениями;
- прогнозирование изменений этих параметров.

К наиболее важным параметрам безопасности технологического оборудования относятся параметры движения, параметры вибрации, точность движения и параметры взаимодействия элементов конструкции, тепловые, электрические и силовые параметры операционных механизмов, а также параметры напряженно-деформированного состояния несущих элементов.

Методы прогнозирования и оценки сроков службы оборудования делятся на четыре группы [5, 6]: детерминированные, экспертные, физико-статистические и фактографические.

Математическая модель оценки реального состояния объекта строится на основе следующих допущений [7, 8], которые определяют:

- начальное состояние объекта;
- режим функционирования объекта;
- история условий эксплуатации;
- режим работы.

Поскольку результаты диагностического измерения являются случайными, то описанную модель нельзя считать полностью детерминированной, поэтому при анализе необходимо использовать статистические модели измерений и их стохастические связи с реальными показателями [9, 10].

При этом данные, накопленные в любой период времени, могут быть представлены как:

$$K_i = \tilde{K} + k_i,$$

где  $K_i$  – значение диагностического параметра, зарегистрированного в момент времени  $t_i$ ;  $\tilde{K}$  – детерминированная компонента диагностического параметра  $K_i$ ;  $k_i$  – случайная компонента диагностического параметра.

В настоящее время отработано большое количество методов определения тренда значимого компонента из зашумленных кумулятивных результатов измерения [11-14], среди которых выделяется метод наименьших квадратов.

Если закон распределения диагностических параметров отличается от нормального, можно использовать другие законы распределения [15].

Очевидно, что с увеличением количества наблюдений и уменьшением периода прогнозирования точность прогноза улучшается, поэтому важно знать минимальное количество измерений, которые необходимо сделать для обеспечения точного прогноза [16]:

- для прогноза на 1 интервал измерений – 6 измерений;
- для прогноза на 10 интервалов – 16 измерений.

При решении задачи прогнозирования ответственного (единичного) оборудования необходимо использовать величину  $T_{min}$  – гарантируемый период безотказной работы, которая может быть вычислена как

$$\tilde{K} \pm t_s(P)s_r = K_0 + \Delta K_s,$$

где  $s_r$  – среднее квадратическое отклонение прогнозируемой величины,  $t_s$  – табличное значение критерия Стьюдента для заданной вероятности прогнозирования.

Для построения эффективного краткосрочного прогноза ряд литературных источников [12, 13] рекомендуют применять адаптивное краткосрочное прогнозирование, которое показывает хорошие результаты на короткие интервалы времени, что полностью отвечает требованиям, которые возникают в системе профилактического обслуживания горных машин [3].

## Список литературы

1. Артемьев А.А. К вопросу оценки ресурса элементов трансмиссий горных машин./ А.А. Артемьев, В.С. Потапенко, С.Л. Иванов [и др.]// Горное оборудование и электромеханика, №9. – 2007. – С. 31-35.
2. РД 26.260.004-91. Методические указания. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации.
3. Построение системы интеллектуального обслуживания редукторов горношахтного оборудования/ Б.Л. Герике, В.И. Клишин, Е.Ю. Пудов, Е.Г. Кузин.// Горный журнал. №12, 2017. – С. 68-73.
4. Надежность и эффективность в технике. /Под ред. В.И. Кузнецова, Е.Ю. Барзиловича.//В 8 томах, т. 8. – М.: Машиностроение, 1990. – 629 с.
5. Диагностика горных машин и оборудования: Учеб. пособие./ Б.Л. Герике, П.Б. Герике, В.С. Квагинидзе [и др.] // М.: ИПО «У Никитских ворот», 2012. – 400 с.
6. Малайчук В.П., Мозговой А.В. Математическая дефектоскопия.// Днепрпетровск: Системные технологии, 2005. С. 92-95.
7. Клюев В.В. Подходы к построению систем оценки остаточного ресурса технических объектов. / В.В. Клюев, А.С. Фурсов, М.В. Филинов. // Контроль. Диагностика. № 3. 2007, С. 18-23. (75)
8. Герике Б.Л., Герике П.Б.; Ещеркин, П.В. Математическая модель оценки фактического состояния бурового станка.// Уголь, №2. – 2010. – С. 45-46.
9. Краковский Ю.М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования. // Новосибирск: Наука, СО, 2005. – 200 с.
10. Костюков В.Н., Костюков Ал.В. Мониторинг состояния оборудования в реальном времени // Контроль. Диагностика. – 2010. – № 3 – С. 43–50.
11. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.: Наука, 1971. – 164 с.
12. Бухштабер В.М. Многомерные развертки временных рядов. Теоретические основы и алгоритмы // Обозрение прикладной промышленной математики. Серия: Вероятность и статистика 1997. Т. 4. Вып. 4. С. 629-645.
13. Александров Ф.И., Голяндина Н.Э. Автоматизация выделения трендовых и периодических составляющих временного ряда в рамках метода «Гусеница»-SSA.// EXPONENTA PRO. 2004. №3-4. С. 54 – 61.
14. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. 8-е изд., стереотип. М.: Высшая школа, 2002. – 575 с.
15. Измерения в промышленности: справ. изд. В 3 кн. Кн. 1. Теоретические основы./ Под ред. П. Профоса. – М.: Металлургия, 1990. – 492 с.
16. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. М.: Статистика, 1977. – 200 с.

# ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННЫХ ЗОЛОТО-РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ КЕРБИНСКОГО ЗОЛОТОНОСНОГО РАЙОНА

Озарян Ю.А., Алексеев В.С.

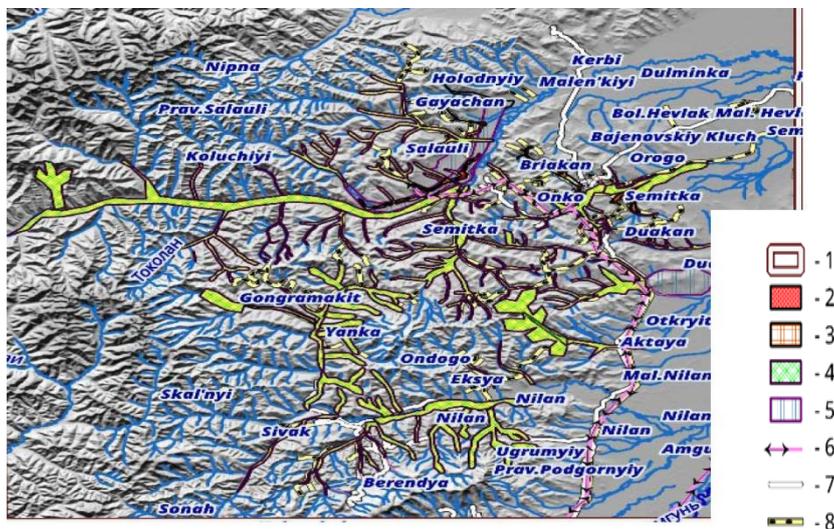
*ХФИЦ ДВО РАН, г. Хабаровск*

В Хабаровском крае 90 % золота и вся платина добывается из россыпных месторождений, здесь расположены крупнейшие месторождения россыпного золота, что определило промышленную направленность региона [1]. По оценкам специалистов в техногенных россыпях края находятся запасы мелкого и тонкого золота, способные продлить деятельность предприятий более, чем на 10 лет [2]. При освоении месторождений золота на ДВ ежегодно нарушается свыше 15000 га земель, более 2/3 из которых приходится на долю россыпных месторождений. В регионе богатые геогенные россыпи уже отработаны, и в настоящее время запасы россыпного золота сосредоточены в глубокозалегающих и техногенных месторождениях. Очевидна актуальность исследований, направленных на переработку техногенных отвалов и оценки возможности восстановления растительности для снижения площади земель, вовлеченных в переработку. Существенное сокращение объемов добычи золота из геогенных россыпей позволяет характеризовать выявляемые запасы и ресурсы золота в техногенных россыпях как важнейший и реальный резерв увеличения добычи россыпного золота.

В данной работе представлены результаты по созданию метода экспертной оценки пространственных и объемных показателей техногенных комплексов россыпных месторождений и других ландшафтных объектов с помощью дистанционного зондирования. В качестве объекта исследований выбран Кербинский золотоносный район. На снимках высокого разрешения четко дешифрируются основные объекты промышленной инфраструктуры территории горных работ, в том числе отработанные и находящиеся в разработке месторождения россыпного золота (рис. 1). В периоды прекращения добычи полезных ископаемых на отработанных участках фиксируется естественное восстановление растительности [3].

Площадь района 6075 км<sup>2</sup>. Наиболее продуктивными являются россыпи рр. Семи, Гонгрена, Керби и др. В центральной части района россыпи практически отработаны, а часть их переведена в категорию техногенных. Остались в основном россыпи с низкими содержаниями золота или погребенные. Всего в Кербинском районе добыто 52252 кг

золота, разведанных запасов числится 2591 кг, а прогнозных 35,1 т (табл. 1). Содержание золота в россыпях колеблется от 86 до 962 мг/м<sup>3</sup>. Район характеризуется исключительно плотностью россыпной золотоносности: площадная 5,8 кг/км<sup>2</sup>, линейная – по запасам 65,7 кг/пог. км, по прогнозным ресурсам 455,3 кг/пог. км. Общая площадь отработанных территорий составляет не менее 3600 га. Практический интерес представляют техногенные россыпи по р. Семи, Сулакиткан, Ботоон, из которых в сумме добыто около 30 т золота. Прогнозные ресурсы по этим техногенным россыпям составляют более 5 т, но вероятное содержание низкое (на уровне 80 мг/м<sup>3</sup>). Многие геогенные россыпи узла характеризуются высокой глинистостью и мелким золотом. В процессе их промывки значительная часть глины вымывается, что является благоприятствующим фактором при вовлечении этих объектов во вторичную переработку.



**Рис. 1. Карта Кербинского золото-россыпного узла. Основа: Цифровая модель рельефа на базе матрицы высот SRTM03**  
**1 – Исследуемая площадь; техногенные образования: 2 – Полигоны комбинированной раздельной отработки; 3 – Полигоны гидравлической отработки; 4 – Полигоны дражной и гидравлической отработки неразделенные; 5 – Площади разведочных работ; Объекты инфраструктуры: 6 – Линии электропередач; 7 – дороги, нанесенные на топоскарту; 8 – дороги, установленные на основе интерпретации снимков.**  
**2–6 и 8 определены по спутниковым снимкам**

Долина р. Керби на участке от р. Куть до р.Маклан характеризуется промышленной золотоносностью, однако золото распределено крайне неравномерно: отмечаются гнезда с очень высоким содержанием и с весьма низким. Среднее содержание золота на массу около 50 мг/м<sup>3</sup>. Дрaжная отработка дает коэффициент намыва 0,43. Террасовые россыпи по р. Керби также характеризуются очень сложными условиями отработки и незначительными ресурсами. Повторная переработка галлеэфельных отвалов способствует значительной трансформации сформированных в процессе первичной переработки ландшафтно-геохимических условий, обусловленной изъятием и повторным перемещением больших масс горных пород и природных вод в пределах горного отвода. Техногенное загрязнение территории горно-промышленного освоения определяется составом горных пород и технологией добычи и переработки полезных ископаемых. Реки Семи, Сулаkitкан, Керби, Нилан (Кербинского рудно-россыпного узла) расположены в техногенно созданных долинах, представленных сложным комплексом открытых и покрытых растительностью отвалов высотой до 5 м, искусственных водоемов, проток.

**Таблица 1**

**Геолого-промышленная характеристика золото-россыпного Кербинского района и в целом характеристика золото-россыпных районов Хабаровского края**

Геолого-промышленная характеристика					Суммарная длина россыпей: км <u>Прогнозные</u> Разведанные	Линейная плотность россыпей: <u>По ресурсам</u> По запасам кг/пог. км
C <sub>1</sub> , кг	P <sub>1-3</sub> , кг	Содержание золота: <u>Средн</u> мин-мах, мг/м <sup>3</sup>	Добыто золота, кг	Площадь района, км <sup>2</sup>		
Золото-россыпные районы Хабаровского края, всего						
29390	189327	<u>237,1</u> 50 – 5670	292218	90960	<u>1243,7</u> 386,1	<u>258,5</u> 832,8
Кербинский золото-россыпный район						
2591	35100	<u>380</u> 86 – 962	52252	6075	<u>77,1</u> 39,4	<u>455,3</u> 65,7

Таким образом, с помощью методов дистанционного зондирования, дешифровки космических снимков высокого разрешения и анализа горно-геологической информации получены данные, позволившие провести оценку ресурсов техногенных комплексов ряда продуктивных россыпей Кербинского золотороссыпного узла.

## Список литературы

1. Основные направления вовлечения в эксплуатацию техногенных образований россыпного золота.– URL: <https://zolotodb.ru/article/12025>
2. Постановление администрации Хабаровского края: Об основных направлениях вовлечения в эксплуатацию техногенных образований россыпного золота. Постановление Главы администрации Хабаровского края от 30 мая 2000 г. № 180
3. Бубнова М.Б., Озарян Ю.А. Геоэкологическая оценка региональных природно-горнотехнических систем на юге Дальнего Востока Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. – № 5. – С. 189-196.
4. Алексеев В.С., Банщикова Т.С. Применение нетрадиционных технологий для извлечения золота из техногенных образований россыпей Приамурья // Горный журнал. – 2018. – № 10. – С. 52-57.

## СОДЕРЖАНИЕ

Приветствие Директора ИПКОН РАН, члена-корреспондента РАН В.Н.Захарова .....	3
---	---

### ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Академик РАН К.Н. Трубецкой</i> Состояние и основные направле- ния комплексного освоения и сохранения ресурсов земных недр .....	5
<i>Галченко Ю.П.</i> Природоподобные технологии, как технологиче- ская парадигма развития минерально-сырьевого комплекса в условиях экологического императива .....	12
<i>Каплунов Д.Р., Рыжов С.В.</i> Обоснование рациональной производ- ственной мощности по добыче и переработке золотоносных руд.....	15
<i>Иофис М.А.</i> Становление и развитие геомеханики в школе акаде- мика РАН К.Н. Трубецкого .....	18
<i>Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Залевская К.Н.</i> Новые подходы к освоению техногенных месторождений.....	19
<i>Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я.</i> Новые цифровые технологии управления промышленной безопасностью на открытых горных работах .....	22
<i>Федотова Ю.В., Аникин П.А., Соболев А.А.</i> Анализ геодинамиче- ской активности в районе месторождения Южное (Приморский край) под влиянием техногенного воздействия.....	27

### ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР

<i>Одинцев В.Н.</i> Природоподобные технологии и геомеханика.....	31
<i>Буктуков Н.С., Волков А.П.</i> Технологии разработки рудных ме- сторождений с использованием сеledоставки горной массы .....	36
<i>Матвеева Т.Н., Гетман В.В., Каркешкина А.Ю.</i> Повышение эф- фективности флотационного извлечения золота из упорной золо- тосодержащей руды с применением реагента дитиопирилметана ....	39
<i>Киселев Н.Н., Радченко А.Г., Радченко А.А.</i> Обобщенная кривая изменения степени метаморфизма углей в процессе их углефика- ции .....	42
<i>Шумилова Л.В., Хатькова А.Н.</i> Факторы интенсификации ресур- сопользования при реализации принципов наилучших доступных технологий .....	45

<i>Иванова Т.К., Ивашевская С.Н., Цветов Н.С., Ильина В.П., Кременецкая И.П.</i> Исследование термических превращений антигорита при получении магнезиально-силикатного реагента.....	48
<i>Апальков В.В.</i> Тепловая обработка бетонных конструкций в сезонном строительстве .....	51
<i>Гришакина Е.А., Агапкин И.А., Маковчук В.Ю., Уварова А.В., Слюта Е.Н.</i> Физико-механические свойства лунного грунта – аналога для бросковых испытаний посадочных аппаратов.....	54
<i>Уварова А.В., Гришакина Е.А., Маковчук В.Ю., Агапкин И.А., Дмитровский А.А., Слюта Е.Н., Никитин М.С., Сенцова Е.А., Вознесенский Е.А.</i> Физико-механические свойства марсианского грунта-аналога для бросковых испытаний посадочного аппарата «ЭкзоМарс-2020» .....	57
<i>Нигматулин А.М., Абдрахманова З.Т., Кан А.Н.1, Юн Р.В., Ефименко С.А., Бялова Г.Г.</i> Оперативное управление качеством руд посредством мониторинга содержаний меди и серебра на технологических конвейерах обогатительных фабрик и рудников ТОО «Корпорация Казахмыс» .....	60

## **ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ И РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

<i>Кулибаба С.Б.</i> Особенности сдвижения земной поверхности в условиях шахты им. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс».....	64
<i>Викторов С.Д., Франтов А.Е.</i> Выбор критериев эффективности и методов оценки простейших ВВ для северных и арктических районов России.....	67
<i>Трофимов В.А., Шитовский И.Е.</i> Концепция энергонасыщенного материала для прогнозирования возникновения выбросоопасных явлений при моделировании напряженных массивов горных пород вблизи подземных выработок .....	71
<i>Шубин И.Л., Жариков И.Ф.</i> Влияние воздушной полости на кинематику движения грунта при взрыве на выброс.....	75
<i>Ефремовцев Н.Н.</i> К вопросу систематизации синергетических эффектов на различных масштабных уровнях для повышения эффективности управления действием взрыва .....	79
<i>Хохлов Б.В., Дрибан В.А.</i> Формирование провалоопасных зон подработанных территорий Донбасса .....	81

<i>Кубрин С.С., Закорименный И.М., Блохин Д.И., Закорименный А.И.</i> Моделирование взаимодействия подвесных транспортных устройств с породным массивом .....	84
<i>Кочанов А.Н., Кургузова Е.В.</i> Экспериментальная оценка структурных и прочностных характеристик горных пород в условиях неразрушающего динамического воздействия .....	87
<i>Кирков А.Е.</i> Применение геоинформационных систем для построения карт интенсивности провалообразования и оценки параметров провалов по результатам многолетнего мониторинга .....	90
<i>Касымканова Х.М., Джангулова Г.К., Женибек Е., Милетенко Н.А.</i> Учёт фактора времени при определении устойчивости карьерных откосов .....	93
<i>Соболев А.А.</i> Совершенствование технологии ведения горных работ путем автоматизации и внедрения искусственного интеллекта в основные производственные процессы .....	97
<i>Осокин А.А.</i> Новый подход к оценке сейсмического воздействия взрывных работ при добыче полезных ископаемых .....	101
<i>Нескреба Д.А., Стариков Г.П.</i> Экспресс метод определения прочности горных пород .....	103
<i>Федоров Е.В., Вартанов А.З., Милетенко Н.А., Никифорова И.Л.</i> Перспективы использования оптоволоконных измерительных систем для комплексного геомеханического мониторинга.....	106
<i>Хащеватская Н.В.</i> Фазовое состояние водородосодержащих компонент в горных породах и углях .....	110
<i>Кутуев В.А., Жариков С.Н.</i> Исследование сейсмоустойчивости грунтов на площадках охраняемых объектов и определение допустимых скоростей колебаний для зданий в условиях Кыштымского месторождения кварца .....	113
<i>Бобин В.А., Бобина А.В.</i> Научная база для создания горных машин гироскопического типа .....	116
<i>Емельянов Р.В., Иляхин С.В.</i> Использование НРС в скважинах диаметром более 56 мм.....	119
<i>Докутович М.И.</i> Результаты практического применения теории разрушения горных пород взрывом.....	122
<i>Клементьева И.Н.</i> Установление собственной частоты упруго-демпфирующего устройства в механизме тяги драглайна .....	124

<i>Глазырин В.П., Орлов М.Ю., Орлов Ю.Н.</i> Исследование разрушения льда при ударных и взрывных нагрузках.....	128
<i>Аверин Е.А.</i> Краткий анализ перспектив нетрадиционных способов разрушения горных пород.....	131
<i>Цой Д.И., Рассказов М.И., Терешкин А.А., Гладырь А.В.</i> Исследование геомеханических процессов в удароопасном массиве горных пород методом лазерной интерферометрии.....	134
<i>Дрибан В.А., Шевченко Е.Н., Дуброва Н.А.</i> О динамике процесса затопления подработанных массивов.....	138
<i>Стариков Г.П., Шажко Я.В., Шажко О.В., Кравченко А.В.</i> Активация массопереноса водородосодержащих компонент в угольных пластах.....	141
<i>Стариков Г.П., Самойленко З.А., Шатохин С.В.</i> Прогноз устойчивости породных обнажений по энергиям их формоизменения и энергии активации дегидратации твердофазной воды, и фазовому составу породообразующего кварца.....	142
<i>Терлецкий А.М., Рожко М.Д.</i> Изменение напряженно-деформированного состояния околоствольного массива горных пород при водонасыщении.....	145
<i>Айнбиндер И.И., Пацкевич П.Г., Красюкова Е.В.</i> Методические основы обеспечения безопасности подземных горных работ в сложных гидрогеологических и геомеханических условиях на примере кимберлитовых месторождений Якутии.....	148
<i>Дрибан В.А., Хламов Д.М.</i> Условие потери устойчивости протяженной горной выработки.....	151
<i>Борщ Т.В., Прокофьева Л.Н.</i> Значение динамических процессов в подвижных зонах метаморфизма.....	154
<i>Рассказов М.И., Гладырь А.В., Цой Д.И., Потанчук М.И., Терешкин А.А.</i> Исследования формирования зон концентрации напряжений и динамических явлений по данным сейсмоакустического мониторинга на рудниках АО «Апатит».....	158
<i>Никитин С.М.</i> Прогнозирование устойчивости горных выработок на основе анализа естественной структуры горных массивов.....	161
<i>Крюков В.Г., Потанчук М.И.</i> Систематизация золоторудных месторождений юга Дальнего Востока по устойчивости горных массивов.....	164

<i>Еременко В.А., Умаров А.Р., Янбеков А.М., Пуль Э.К.</i> Исследование геомеханических полей вторичных напряжений в призабойной части подготовительных выработок при проходке выбросоопасных пластов с использованием программы Mar3D .....	168
<i>Хажсылай Ч.В., Еременко В.А., Умаров А.Р., Янбеков А.М.</i> Оценка устойчивости обнажений каркасных горных конструкций по методу Метьюза-Потвина в условиях проектирования соляного рудника.....	172
<i>Кутепов Д.В., Ребенок Е.В., Решетняк Т.А., Ялпуга Е.А., Шалованов О.Л., Шулаков Д. Ю.</i> К вопросу организации системы сейсмологических наблюдений негативных динамических явлений на подрабатываемых территориях Донбасса .....	176
<i>Аверин А.П., Белоусов Ф.С.</i> Расчет коэффициента проницаемости пород междупластья шахты им. Кирова на основе данных сейсморазведки .....	179
<i>Рева В.Н., Васютина В.В., Севрюков А.О.</i> Критерий предельного состояния горного массива в окрестности выработки при воздействии температуры .....	183
<i>Викторов С.Д., Закалинский В.М., Шиповский И.Е., Мингазов Р.Я.</i> Новое концептуальное направление при разработке полезных ископаемых .....	185
<i>Высотин Н.Г., Галченко Ю.П., Косырева М.А., Лейзер В.И.</i> Экспериментальное обоснование геометрических параметров «сотовых» природоподобных геотехнических конструкций методами физического моделирования .....	190
<i>Анисимов В.Н., Логачев В.И., Логачев И.И.</i> Обоснование практической реализации и моделирование способа взрывомагнитной деструкции массива железистых кварцитов при взрывной рудоподготовке.....	194
<i>Закоршменный А.И., Блохин Д.И., Закоршменный И.М.</i> Проблемы разработки и применения новых технических решений для гидроизоляции тоннелей метрополитена.....	202
<i>Анисимов В.Н.</i> Влияние мощных взрывомагнитных воздействий на кристаллические материалы (горные породы) с позиций квантово-кинетических представлений .....	205
<i>Аленичев И.А., Рахманов Р.А.</i> Методика к оценке действия взрыва скважинного заряда в ближней приконтурной зоне карьера .....	214

<i>Кочанов А.Н., Бунин И.Ж., Долгова М.О.</i> Развитие микротрещин и дезинтеграция образцов углей при высокоэнергетических динамических воздействиях .....	218
<i>Негурица Д.Л., Терешин А.А., Медведев Е.А. Слободин К.М.</i> Геомеханическое обеспечение строительства многофункционального центра транспортно-пересадочного узла .....	221

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

<i>Каплунов Д.Р., Радченко Д.Н., Бондаренко А.А.</i> Технология энергообеспечения самоходных аккумуляторных машин при переходе подземного рудника к новому технологическому укладу .....	226
<i>Трофимов В.А., Филиппов Ю.А.</i> К постановке задачи об анкерном креплении стенки и кровли выработки .....	229
<i>Вартанов А.З., Федоров Е.В.</i> Развитие методов скважинной эндоскопии в горном деле в ИПКОН РАН .....	232
<i>Бекбергенов Д.К., Джангулова Г.К., Касымканова Х.М.</i> Особенности отработки рудных залежей системой с самообрушением .....	237
<i>Аверин Е.А., Наумов Ю.Н.</i> Оценка производительности работы стволопроходческого комбайна 1СПКВ-8,0 при строительстве ствола на Талицком ГОК .....	240
<i>Федотенко В.С., Митишова Н.А., Гавриленко В.В.</i> Учет структурно-текстурных особенностей сульфидных руд при оценке взрывоопасности пыли .....	243
<i>Есина Е.Н.</i> Условия эффективного применения скважинной геотехнологии на завершающей стадии освоения месторождения угля .....	245
<i>Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю.</i> К вопросу совершенствования процесса эксплуатации и проектирования карьерных экскаваторов .....	248
<i>Гусева И.П., Гылымуды С.</i> Разработка цифровой модели подвешенного устройства подъёмного сосуда .....	252
<i>Гевало К.В.</i> К вопросу применения скважинной гидротехнологии на золотоносных россыпях .....	255
<i>Чебан А.Ю.</i> Использование комбинированной подготовки к селективной выемке руд сложного вещественного состава .....	258
<i>Чебан А.Ю.</i> Повышение эффективности комбинированной разработки коренных месторождений алмазов .....	261

<i>Федорин В.А., Шахматов В.Я., Шишков Р.И.</i> Совершенствование открыто-подземного способа разработки угольных месторождений Кузбасса .....	264
<i>Резник А.В., Немова Н.А.</i> Обоснование технических средств при отработке пологопадающего буроугольного пласта большой мощности .....	268
<i>Глухов А.А.</i> Методы обработки результатов сейсмических исследований при шахтном прогнозе структуры углепородного массива в сложных горно-геологических условиях .....	271
<i>Белозеров И.П., Тонконогов Ю.М.</i> Концепция создания технологии определения фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов на цифровой модели керн.....	274
<i>Хайрутдинов АМ., Тюляева Ю.С., Конгар-Сюрюн Ч.Б., Рыбак А.</i> Извлечение полезного ископаемого на небесных телах, как новое научное направление.....	277
<i>Лебедев А.Н.</i> Результаты испытаний обогащения бруситовой руды различными радиометрическими методами сепарации.....	281
<i>Карнов В.Н.</i> Оценка эффективности буровых машин в условиях горного производства.....	283
<i>Тарасов В.М., Фомин А.И.</i> Совершенствование методов добычи твердого полезного ископаемого в лавах подземным способом, применяя высокоэффективные технологии монтажа и эксплуатации секций механизированной крепи.....	287
<i>Тимонин В.В., Степанов Д.В.</i> Обоснование параметров компрессионно-вакуумной ударной машины для проведения сейсморазведочных работ с энергией единичного воздействия 1200 дж .....	290
<i>Рассказова А.В.</i> Активационное кучное выщелачивание золота из забалансовых меднопорфировых руд.....	293
<i>Подрезов Д.Р.</i> Формирование стохастической факторной модели геофизических данных на руднике подземного скважинного выщелачивания урана.....	296
<i>Курзо Б.В., Гайдукевич О.М.</i> Учет технологических и экологических факторов при разработке месторождений сапропеля .....	299
<i>Демура В.Н., Кубрин С.С., Закорименный И.М., Блохин Д.И., Закорименный А.И.</i> Направления совершенствования работы вспомогательного транспорта при подготовке и отработке высокопроизводительных выемочных участков .....	303

<i>Юков В.А.</i> Анализ изменения интенсивности освоения георесурсов при переходе к новому технологическому укладу .....	307
<i>Радченко Д.Н., Гаджиева Л.А.</i> Состав и свойства закладочных смесей при формировании горнотехнических конструкций для подземного выщелачивания .....	310
<i>Молдабаева Г.Ж., Сулейменова Р.Т., Турдиев М.Ф.</i> Регулирование реализуемой системы разработки месторождений РК .....	314
<i>Белозеров И.П., Тонконогов Ю.М.</i> Экспериментальное исследование фильтрационных процессов в микро/нано капиллярной модели горной породы – обзор .....	319
<i>Каунг Пьей Аунг, Кубрин С.С.</i> Математическая модель прогнозирования траекторий перемещений транспортных производственных единиц в стесненных условиях карьера, угольного разреза .....	322
<i>Цупкина М.В.</i> Обобщение современных методов оценки техногенных образований из отходов обогащения руд.....	325
<i>Князькин Е.А.</i> Энергоэффективная схема водоотлива подземного рудника с использованием энергии перепускаемых шахтных вод.....	328
<i>Абдрахманова З.Т., Кан А.Н., Юн Р.В., Ефименко С.А.</i> Рентгенофлуоресцентный метод анализа проб анодной меди .....	331

## **ГАЗОДИНАМИКА И РУДНИЧНАЯ АЭРОЛОГИЯ**

<i>Камбурова Л.А., Киселев Н.Н., Радченко А.Г., Радченко А.А.</i> Физические процессы, происходящие в области влияния горизонтальной скважины, пробуренной в газоносном угольном пласте.....	334
<i>Минеев С.П.</i> Некоторые причины взрывов метановоздушной смеси при ведении горных работ на шахтах Донбасса .....	337
<i>Канин В.А., Васютина В.В., Пивень Ю.А.</i> Особенности распределения стабильных изотопов углерода в угле, метане и углекислом газе в Донецком каменноугольном бассейне.....	340
<i>Канин В.А., Ходырев Е.Д., Васютина В.В.</i> Перспективы добычи метана на закрытых шахтах Донбасса.....	343
<i>До Чи Тхань, Нгуен Ван Чунг</i> Моделирование системы управления нейронной шахтной вентиляции .....	346
<i>До Чи Тхань, Фам Хый Чиен</i> Разработка алгоритмов управления скоростью асинхронного двигателя привода вентилятора местного проветривания в шахте с нейросетевой настройкой .....	350

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР

<i>Грибина Е.Н., Веселов Г.А.</i> ГЧП как актуальный механизм использования арктического шельфа.....	355
<i>Грибина Е.Н., Среднякова Е.А.</i> Использование IT-технологий при оценке антропогенного воздействия на водные ресурсы .....	357
<i>Лисенков А.А., Джарллаганов У.А.</i> Обоснование нормативов вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов полезных ископаемых в условиях плановой и рыночной экономики .....	361
<i>Текутьева Н.В., Цветковская И.И., Прокофьева Е.Н.</i> Методы и инструменты управления геопространственными данными на основе IT обработки.....	364
<i>Ларичкин Ф.Д., Новосельцева В.Д.</i> Проблемы оценки экономической эффективности комплексного освоения недр.....	367
<i>Прокофьева Л.М., Кузовлева Н.Ф., Бамба Занга Абубакар</i> Перспективы использования попутного нефтяного газа в России.....	370
<i>Краденых И.А.</i> Определение инвестиционного потенциала ресурсов техногенных месторождений россыпного золота на территории Дальнего Востока.....	375
<i>Архипова Ю.А.</i> Комплексное освоение минерально-сырьевых ресурсов ДФО в целях устойчивого развития регионов .....	379
<i>Агабалин А.Ю.</i> Графоаналитическое обоснование границ экономической значимости компонентов горной массы карьера при отработке штокверков двухкомпонентной руды.....	382
<i>Цукерман В.А., Горячевская Е.С.</i> Экономические проблемы освоения минерального сырья Арктической зоны Российской Федерации .....	385
<i>Прокофьева Е.Н., Востриков А.В., Некрасов Г.А., Поливода Д.Э., Редин Д.Е., Гончаренко С.Н.</i> Информационные технологии и методы геомониторинга.....	388
<i>Крюков В.Г.</i> Инструменты государственного управления минеральным комплексом в субъектах Российской Федерации .....	392
<i>Рыжова Л.П., Курчик А.М., Бондаренко Д.В.</i> Стратегия развития медной промышленности в России .....	396
<i>Полещук М.Н.</i> О повышении эффективности взаимодействия персонала горнодобывающих предприятий .....	399

<i>Бутов И.И., Воинов М.С., Подгаецкий А.В.</i> Горнопромышленный комплекс России: неизбежность экологической модернизации .....	401
<i>СисМусе, Кубрин С.С.</i> Расчет графика движения автомобильного транспорта для оптимизации работы угольного месторождения «Шве Таунг» в сложных условиях рельефа .....	404
<i>Каунг Пьей Аунг, Кубрин С.С.</i> Идентификации маневра встречного автомобиля на основе средства автоматической идентификационной системы .....	406

## **ЦИФРОВИЗАЦИЯ И РОБОТОТЕХНИКА В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ СЕКТОРЕ**

<i>Решетняк С.Н.</i> Актуальность использования Blockchain технологии в системах энергоснабжения горного предприятия .....	410
<i>Побегайло П.А., Ильина А.Н.</i> О некоторых задачах динамики карьерных экскаваторов с гидравлическим приводом .....	413
<i>Монаков Е.В., Романова В.Е., Евсеева Е.В.</i> Моделирование тектонических нарушений угольных пластов участка «Пихтовский» Кедровского угольного разреза.....	416
<i>Сивенков Е.А., Сатубалова М.С.</i> Современные методы цифровизации и роботизации в горнодобывающем секторе .....	416
<i>Гаврилов В.Л., Гончарова Н.В., Хоютанов Е.А.</i> Вопросы совместного картирования показателей качества угля при моделировании месторождений .....	419
<i>Кубрин С.С., Закорименный И.М., Закорименный А.И.</i> Использование компьютерного моделирования для оценки эффективности работы очистного комбайна .....	423
<i>Кубрин С.С., Закорименный И.М., Харченко А.В.</i> Новые требования к построению и параметрам многофункциональных систем безопасности .....	426
<i>Адилханова Ж.А., Бояндинова А.А.</i> Разработка архитектуры системы технологического менеджмента основных процессов на карьерах .....	428
<i>Мансуров А.А., Кузиев Д.А.</i> Повышение эффективности текущего ремонта оборудования в условиях медной обогатительной фабрики АО «АГМК».....	431
<i>Решетняк С.Н.</i> Особенности построения нейронной сети системы электроснабжения высокопроизводительного выемочного участка угольной шахты .....	435

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ РАБОТ**

<i>Янин Е.П.</i> Эколого-геохимические аспекты недропользования в горнорудных районах .....	439
<i>Заернюк В.М., Чжан Чи</i> Проблемы сохранения ресурсной базы золотодобычи Китая и ее комплексного использования .....	445
<i>Даувальтер В.А., Даувальтер М.В., Служковский З.И.</i> Влияние деятельности АО «Северо-западная фосфорная компания» на гидрохимический режим поверхностных вод .....	449
<i>Бобин В.А.</i> К вопросу о кварц-пиритовых включениях как потенциальных источниках процесса самовозгорания угля .....	453
<i>Цукерман В.А., Иванов С.В.</i> Об экологической безопасности комплексного промышленного освоения месторождений полезных ископаемых Арктики .....	456
<i>Фетисова Н.Ф.</i> Применение физико-химического моделирования для оценки влияния кислых шахтных вод на природные водные объекты Кизеловского угольного бассейна .....	458
<i>Цыренов Т.Г.</i> Характеристика кислотности техногенных объектов рудных месторождений восточного Забайкалья .....	462
<i>Бачурин Б.А.</i> Экспериментальное исследование характера выщелачивания мышьяка из закладочного материала .....	465
<i>Агеев В.Г., Пештибай Г.И., Галухин Н.А.</i> Прочностные свойства взрывоустойчивых перемычек из цементных вяжущих .....	468
<i>Агарков А.В., Козлитин А.А., Лебедева В.В.</i> Сорбенты на основе продуктов переработки каменных углей Донбасса .....	471
<i>Агарков А.В., Козлитин А.А., Лебедева В.В.</i> Сорбция химически опасных веществ каменными углями Донецкого региона .....	474
<i>Борибай Э.С., Молдагазыева Ж.Ы.</i> Экологическая обстановка промышленных территорий Казахстана (Карагандинской области) .....	477
<i>Мамаев В.В., Агарков А.В.</i> Совершенствование способа дистанционного мониторинга и контроля газовой обстановки при авариях в угольных шахтах .....	480
<i>Мынжасаров Б., Нурпеисова М., Шульц Р.</i> Совершенствование методики создания геодезической сети при строительстве Северо-Каспийского морского канала .....	483

<i>Байджанов Д.О., Бек А.А.</i> Создание растворов на основе отходов промышленности.....	487
<i>Айтказинова Ш.К., Доненбаева Н.С., Дербисов К.Н., Нурпеисова М.Б.</i> Создание карт устойчивости бортов карьеров с использованием ГИС технологий.....	492
<i>Турумбетов Т., Шульц Р.</i> Результаты геодезического сопровождения освоения недр .....	496
<i>Старшинов А.В, Жамьян Ж., Темуллин А.</i> Особенности и эффективность применения смесевых взрывчатых систем в горном деле....	499
<i>Герике Б.Л., Копытин Д.В.</i> Распознавание технического состояния комплексов глубокой разработки пластов .....	501
<i>Герике П.Б., Герике Б.Л.</i> Прогнозирование остаточного ресурса горных машин.....	504
<i>Озарян Ю.А., Алексеев В.С.</i> Оценка техногенных золото-россыпных месторождений методами дистанционного зондирования на примере Кербинского золотоносного района .....	508

Лицензия ЛР №21037. Подписано в печать с оригинал-макета 29.10.2020 г. Формат 60x84 1/16. Бумага «Мега Сору Office». Печать офсетная. Набор компьютерный. Объем 32.75 п.л. Тираж 300 экз. Заказ № 259.

---

Институт проблем комплексного освоения недр им. академика  
Н.В. Мельникова РАН  
111020, Москва, Крюковский тупик, 4.

Издание ИПКОН РАН, 111020, Москва, Крюковский тупик, 4.