

**Федеральное агентство научных организаций
Российский фонд фундаментальных исследований
Российская академия наук
Отделение наук о Земле
Научный совет РАН по проблемам горных наук
Научный совет РАН по проблемам обогащения
полезных ископаемых
Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова
Совет молодых ученых и специалистов**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«50 ЛЕТ
РОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЕ
КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ
НЕДР ЗЕМЛИ»**



13-16 ноября 2017 г.

**Москва
2017**

50 лет Российской научной школе комплексного освоения недр Земли. Материалы Международной научно-практической конференции. 13-16 ноября 2017 г. – М: ИПКОН РАН, 2017 – 614 с.

В сборнике опубликованы тезисы докладов Международной научно-практической конференции «50 лет Российской научной школе комплексного освоения недр Земли», отражающие последние достижения в области теории и технологии комплексного освоения недр Земли. Дан экскурс в историю путей становления и развития горных наук в исследованиях институтов горного дела и Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН. Представлены результаты современных исследований по таким направлениям как геология, техника и технология освоения месторождений твердых полезных ископаемых, геомеханика, разрушение горных пород, обогащение полезных ископаемых. Рассмотрены вопросы, связанные с управлением горного производства, техникой безопасности и охраной окружающей среды, геоэкологией. Освещены экономические аспекты проблемы освоения недр.

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

Редакционный совет: член-корреспондент РАН *В.Н. Захаров* (председатель), академик РАН *К.Н. Трубецкой*, академик РАН *В.А. Чантурия*, член-корреспондент РАН *Д.Р. Каплунов*, *И.И. Айнбиндер*, *А.З. Вартанов*, *С.Д. Викторов*, *Е.Н. Есина*, *И.М. Малахова*, *Т.Н. Матвеева*, *Н.А. Милетенко*, *В.Н. Одинцев*, *В.И. Папичев*, *П.Г. Пацкевич*, *М.В. Рьльникова*, *А.Л. Самусев*, *В.А. Трофимов*, *И.В. Шадрюнова*.

*Финансовая поддержка оказана
Российским фондом фундаментальных исследований
Грант РФФИ 17-05-20573 г*

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ГОРНАЯ НАУКА В АКАДЕМИИ НАУК СССР, ЕЕ РАЗВИТИЕ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ИНСТИТУТОВ ГОРНОГО ДЕЛА И ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР им. АКАДЕМИКА Н.В. МЕЛЬНИКОВА РАН

Академик РАН К.Н. Трубецкой

Президиум РАН

Член-корреспондент РАН В.Н. Захаров

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

Корни появления горной науки в Академии наук СССР уходят в тридцатые годы XX века. В 1934 г. была проведена реформа АН СССР, и ее перевели из Ленинграда в Москву. В Академии наук СССР был организован Технический совет с секциями по различным отраслям промышленности, создана Горнорудная секция (ее возглавил профессор А.М. Терпигорев, будущий академик), в поле деятельности которой вошли актуальные для горнодобывающей промышленности проблемы, связанные с разработкой месторождений полезных ископаемых.

В 1935 г. вводится новый Устав Академии наук СССР, которым предусматривается всемерное содействие общему подъему теоретических и прикладных наук, изучению и развитию достижений мировой науки, ставится задача изучения природных богатств и производительных сил, укрепления связи науки и техники. Новый устав меняет структуру Академии наук, создается Отделение технических наук.

15 октября 1938 г. Президиум Академии наук ССР принял решение об организации в составе Отделения технических наук на базе Группы горного дела Института горного дела АН СССР (ИГДАН) с направлениями исследований в области: методов извлечения полезных ископаемых, тепловых и пирогенных процессов в подземных выработках, рудничной аэрологии и вентиляционных процессов, механики горных пород и горной механики. Директором института был избран академик А.А. Скочинский.

Институт горного дела АН СССР занял ведущее положение в стране в области горных наук, а горные науки были признаны одной из важнейших отраслей знаний и заняли достойное место в академической системе. Однако период первой половины 60-х годов XX столетия ока-

зался особенно тяжелым в связи с неправомерным исключением ИГДАН из состава АН СССР.

ИГДАН оставался в Академии наук СССР до 1960 г., в 1961 г. был подчинен сначала Госплану СССР, а затем Министерству угольной промышленности, которое перевело его в г. Люберцы, и получил, после кончины его директора академика А.А. Скочинского, название Института горного дела им. А.А. Скочинского. В 1960 г. директором института был назначен тогда член-корр. АН СССР Н.В. Мельников, позднее (1962—1984 гг.) член-корр. АН СССР А.В. Докукин. Отдел обогащения полезных ископаемых, возглавляемый член-корр. АН СССР И.Н. Плаксиным, был передан в состав Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института обогащения твердых полезных ископаемых Министерства угольной промышленности СССР (ИОТТ).

ИГД им. А.А. Скочинского и ИОТТ в силу своей ведомственной подчиненности Министерству угольной промышленности утрачивают ведущее положение в горных науках.

Длительное отсутствие в системе Академии наук СССР Института горного дела отразилось на состоянии фундаментальных исследований в области горных наук. Учитывая это, Государственный комитет по науке и технике СМ СССР Постановлением № 56 от 28 февраля 1967 г. принял предложения АН СССР о проведении в 1967 г. дополнительных научно-исследовательских работ в области физико-технических горных проблем, которые были поручены Институту физики Земли им. О.Ю. Шмидта АН СССР, где 20 апреля 1967 г. был организован Сектор физико-технических горных проблем.

Инициатором создания, основным организатором и руководителем Сектора был академик Н.В. Мельников. Большую роль сыграли также академик М.А. Садовский, и член-корр. АН СССР В.В. Ржевский.

Учитывая, что за 10-летний период (1967-1977 гг.) Сектор физико-технических горных проблем сложился в самостоятельную научную организацию, ЦК КПСС и СМ СССР постановлением № 603 от 4 июля 1977 г. «О мерах по дальнейшему развитию черной металлургии в соответствии с решениями XXV съезда КПСС» для усиления работ по рациональному использованию недр и комплексному извлечению из них полезных ископаемых разрешил Академии наук СССР создать в Москве на базе Сектора физико-технических горных проблем Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Институт проблем комплексного освоения недр Академии наук СССР (ИПКОН АН СССР).

Президиум Академии наук СССР постановлением от 15 сентября 1977 г. организовал при Отделении геологии, геофизики и геохимии АН СССР Институт проблем комплексного освоения недр АН СССР на базе Сектора физико-технических горных проблем Института физики Земли

им. О.Ю. Шмидта АН СССР в пределах численности работников и ассигнований, установленных для указанного сектора, и утвердил основные направления научных исследований Института.

Обладая высококвалифицированным составом научных руководителей, сотрудников и современной исследовательской базой, ИПКОН в короткие сроки поднялся до уровня высокоавторитетного научного центра по проблемам горных наук.

При этом научная деятельность ИПКОН строилась исходя из приоритетных направлений, в том числе программы базового финансирования «Недра Земли» РАН, по которым проводятся исследования в следующих областях: геомеханическое преобразование недр и предупреждение техногенных катастроф; нетрадиционные экологически безопасные методы разрушения массивов горных пород; аэрогазопылединамическое обеспечение комплексного и безопасного освоения месторождений твердых полезных ископаемых; методы проектирования, факторный анализ и прогноз освоения месторождений; методы равновесного (экологически сбалансированного) природопользования и разработка природоподобных геотехнологий освоения недр; определение экономических параметров и комплексная оценка геосистем; новые информационные технологии в изучении недр; оптимизация параметров геотехнологий при комплексном освоении и сохранении недр, в том числе с роботизированной высокочемкой доставкой горных пород; проблемы безопасности производства со взрывоопасной атмосферой; новые экологически безопасные процессы и технологии комплексной переработки труднообогатимых руд и минерального сырья; физические и химические процессы водоподготовки и извлечения полезных компонентов из природных и техногенных вод.

В последнее десятилетие XX века получены следующие результаты фундаментальных исследований ИПКОН РАН в области отдельных горных наук.

В области геомеханики выявлены закономерности распределения напряжений и перемещений пород в зонах влияния отработанных участков массива в условиях неравнокомпонентного исходного горного давления. Созданы научные основы и разработаны способы техногенного воздействия на породный массив с целью направленного изменения его состояния для обеспечения безопасного и эффективного освоения недр, дана классификация способов управления геомеханическими процессами.

В результате исследований процесса разрушения массивов горных пород под действием взрывных нагрузок разработаны методы управления распределением энергии взрыва в отбиваемом массиве. На основе теоретических разработок создана эффективная технология взрывной отбойки руды пучковыми зарядами при подземной добыче.

Выявлен механизм и составлена модель процесса разрушения горных пород струями химически активных и магнитных жидкостей, что послужило базой для создания нетрадиционных высокоэффективных способов и технологий выемки твердых полезных ископаемых.

В области горной аэрогазопылединамики разработана методология прогнозирования газоносности угольных пластов, рудоносных формаций и вмещающих пород, геологической и технологической приуроченности аномальных по составу и интенсивности выделений взрывоопасных газов при освоении месторождений твердых полезных ископаемых.

Установлено новое физическое явление - свойство органического вещества каменного угля образовывать с метаном метастабильные однофазные системы по типу твердых растворов, что позволяет по-новому подойти к оценке выбороопасности газоносных пластов и разработке эффективных средств и мероприятий дегазации. Обоснованы принципы и параметры целенаправленного управления искусственной дегазацией выбороопасных угольных пластов.

Установлены закономерности пылесвязывающих свойств воды и гидрообеспылевающих процессов, выявлены возможности физических методов для измерения запыленности атмосферы и определения пылевой нагрузки на человека.

Учеными, специализирующимися в области горной систематологии, разработаны принципы системного подхода и теоретического моделирования при проектировании подземных рудников в условиях комплексного освоения недр; созданы научные основы рационального освоения и охраны недр, сформулированы показатели полноты и комплексности извлечения твердых полезных ископаемых из недр; предложена система оценок техногенной нагрузки на окружающую природную среду и экологической опасности такой нагрузки; построены программные макеты автоматизированных информационных систем для решения геолого-маркшейдерских задач и планирования горных работ.

В области геотехнологии созданы научные основы малоотходных, ресурсосберегающих и ресурсо-воспроизводящих технологий комплексного освоения природных и техногенных минеральных объектов, разработаны новые методы оценки экономической эффективности освоения месторождений с учетом жизнеспособности горных предприятий в условиях нехватки финансовых средств и нестабильности спроса на сырьевых рынках.

Определена область применения малоотходной технологии с внутренним отвалообразованием на глубоких карьерах. Развита методика оценки устойчивости открытых горных выработок и отвалов с учетом главного влияющего фактора — бокового распора.

Разработаны новые и усовершенствованы существующие методы определения геотехнологических параметров, характеризующих рациональное извлечение запасов из недр; установлены взаимосвязи между параметрами добычных работ, эксплуатационными условиями на минеральное сырье и рациональным уровнем полноты и качества извлечения при отработке запасов, имеющих промышленное значение.

Созданы научные основы проектирования и применения на карьерах нового мобильного оборудования. Предложена система автоматизированного проектирования параметров буровзрывных работ на карьерах, базирующаяся на оперативном картировании взрывааемых блоков.

Научно обоснованы эффективные и безопасные технологии добычи руд на больших глубинах на основе принципа активного воздействия на разрабатываемый рудный массив, придания несущим конструкциям и подрабатываемой толще заданной искусственной податливости. Создана новая технология выемки разделительных массивов в условиях повышенной удароопасности руд и пород на глубоких рудниках. Дальнейшее развитие получила технология разработки жильных месторождений на базе комплексной механизации работ и вывода человека из опасных по условиям труда зон применительно к золоторудным и плавиновошпатовым месторождениям. Подведена научно-методическая база под определение рациональных параметров и схем вскрытия жильных месторождений.

Обоснованы приоритетные направления фундаментальных исследований и научно-технического прогресса в процессах добычи и переработки угля на перспективу. Разработаны основные положения методологии комплексного освоения угольных месторождений, предусматривающей технико-экономическую оптимизацию объемов и номенклатуры готовой продукции из извлекаемых георесурсов и использование вновь создаваемых ресурсов недр.

В области обогащения полезных ископаемых созданы теоретические основы направленного повышения контрастности физико-химических, сорбционных и флотационных свойств сульфидных минералов при электрохимическом воздействии постоянного электрического тока на минеральные суспензии. На базе предложенной теории впервые в мировой практике разработаны аппараты и оптимальные режимы экологически безопасной электрохимической технологии кондиционирования минеральных суспензий и промышленных вод в схемах обогащения полезных ископаемых, благодаря чему обеспечиваются замкнутый водооборот, рост извлечения ценных металлов и алмазов на 3-7 % и снижение расхода реагентов.

Разработана теория разделения минералов в структурированных дисперсных системах и предложены новые способы интенсификации

гравитационных и флотационных методов обогащения, основанные на использовании вибрационных воздействий. На базе этих исследований создана не имеющая аналога в мире пневматическая пульсационная система, обеспечивающая тонкое диспергирование воздуха при вертикальных колебаниях пульпы в камере флотационной машины.

Предложены методы интенсификации процессов сгущения и флотации техногенного сырья с применением недефицитного и нетоксичного полимера — активной кремнекислоты, а также синтетических флокулянтов и гидрофобных полимеров. Разработан алгоритм синтеза технологических вариантов переработки техногенно-минеральных ресурсов.

В целом, можно констатировать, что к XXI веку сформировался особый стиль деятельности ИПКОН РАН — уникальность тематики решаемых проблем и методов исследований, сочетание научно-методологических подходов с широким выходом на практику, комплексность в изучении технологических, экологических, экономических и других проблем освоения недр Земли.

ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦИРКОНИЯ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ КИСЛОТНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ ЭВДИАЛИТА*

Самусев А.Л., Миненко В.Г., Чантурия Е.Л.

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

Приведены результаты экспериментальных исследований зависимости степени извлечения циркония и редкоземельных элементов из эвдиалитового концентрата в азотнокислый раствор от исходной концентрации кислоты, температуры, времени выщелачивания, отношения твердой и жидкой фаз, крупности частиц концентрата, параметров энергетических воздействий.

Эвдиалит, цирконий, редкоземельные элементы, кислотное выщелачивание, энергетические воздействия.

Непрерывный рост потребления редких металлов, связанный с развитием высокотехнологичных отраслей промышленности, обуславливает необходимость разработки эффективных гидрометаллургических

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-10061).

технологий переработки различного минерального сырья. В России перспективным источником сырья для получения цирконий-редкоземельно-ниобиевой продукции является эвдиалит, огромные запасы которого сосредоточены в Ловозерском районе Мурманской области. В настоящее время данное сырье не перерабатывается из-за отсутствия рациональной технологии, позволяющей получать качественный циркониевый продукт, хотя запасы циркония и редкоземельных элементов (РЗЭ) в нем в сотни раз превышают мировые. В литературе предложены различные варианты технологий, включающих разложение серной, азотной и соляной кислотами, с использованием и утилизацией всех компонентов эвдиалитового концентрата. Показана целесообразность использования таких энергетических воздействий, как электрохимическая обработка минеральных суспензий и расплавов в процессе выщелачивания редких металлов, обеспечивающих комплексность, высокую производительность и извлечение металлов, снижение энергетических и эксплуатационных затрат.

В данной работе представлены результаты исследований зависимости степени извлечения циркония и РЗЭ из эвдиалитового концентрата в азотнокислый раствор от исходной концентрации кислоты, температуры, времени выщелачивания, отношения твердой и жидкой фаз, крупности частиц концентрата.

В результате проведения минералогического анализа установлено, что эвдиалитовый концентрат представлен фракцией $-0.4+0.1$ мм, на 85 % состоит из зерен эвдиалита разных цветов (различные оттенки розового и оранжевого цвета). Основной посторонней примесью в концентрате являются отдельные зерна полевых шпатов, нефелина и эгирина и их сростки (до 10%). Существенно меньше содержание (~3%) двойникованных кристаллов лопарита (Ce) и их обломков и золотисто-коричневых кристаллов лампрофиллита. В аксессуарных количествах присутствуют землистые массы вторичных цеолитов (натролита, гоннардита). Зерна эвдиалита в подавляющем большинстве случаев мономинеральные, остроугольные, с раковистым изломом.

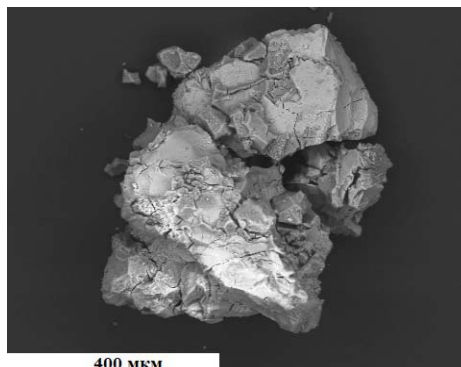


Рис. 1. Зерна эвдиалита после кислотного выщелачивания с использованием ультразвуковых воздействий

В результате проведенных экспериментальных исследований обоснован механизм интенсификации выщелачивания эвдиалитового концентрата при использовании комбинированных энергетических (термическое, электрохимическое, ультразвуковое) воздействий, заключающийся в диспергации коллоидального силикатного геля, предотвращении образования его осадка на поверхности минеральных частиц, образовании многочисленных дефектов и микротрещин на поверхности зерен эвдиалита вплоть до их разрушения при воздействии ультразвука (рис.1), что повышает интенсивность и скорость выщелачивания циркония и редкоземельных элементов в продуктивный раствор.

Наибольшее интенсифицирующее действие на процесс кислотного выщелачивания эвдиалитового концентрата оказывает ультразвуковая обработка суспензии, обеспечивающая максимальные концентрации и уровень извлечения циркония и УРЗЭ в продуктивный раствор при более высокой крупности исходного материала, низких температурах суспензии и продолжительности выщелачивания.

К ВОПРОСУ ЦЕЛЕВОГО ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОРЕСУРСОВ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ОСВОЕНИИ НЕДР*

Пыгалев И.А.

*Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова*

На современном этапе повышение эффективности функционирования горнодобывающих предприятий, ведущих разработку месторождений полезных ископаемых открытым способом, при совершенствовании существующего подхода, практически невозможно. Причиной этого является то, что развитие на протяжении последних десятилетий подходов по поиску и использованию внутренних резервов предприятий, совершенствованию организации производства, внедрения современного оборудования на всех стадиях разведки, добычи и переработки полезных ископаемых и ряд других направлений затрагивающих повышение производительности работы карьера в количественных показателях, в большинстве своем, приблизились к пределу их дальнейшего совершенствования. При этом наиболее перспективным, в обозримом будущем, направлениям, касающихся расширения области комплексного освоения недр Земли, за счет максимального использования ресурсов при

* Работа выполнено по гранту РНФ 14-17-00050

производстве работ по добыче и переработки твердых полезных ископаемых с учетом заранее обозначенных целей, определяющих не только их добычу, но и формирование техногенных георесурсов для их последующего использования в различных отраслях экономики.

Основы подхода использования техногенных георесурсов были заложены академиком М.И. Агошковым в 1982 году и представлены в виде классификации георесурсов в которую, помимо природных минеральных ресурсов, вошли техногенные минеральные ресурсы, тепло недр Земли и полости в недрах природного и техногенного происхождения. В существующих условиях развития открытых горных работ и нормативно-правовой базы, одним из востребованных видов георесурсов со стороны промышленных предприятий является выработанные пространства карьеров для размещения отходов производства. При этом ранее, на этапе проектирования карьеров, не предполагалась использование данных пространств в обозначенной цели, что требует при производстве работ проработку и реализацию дополнительных мероприятий по обеспечению требований промышленной и экологической безопасности при складировании отходов. Следует отметить, что сегодня горнодобывающие предприятия способны реализовывать решения по освоению георесурсов с целью повышения эффективности своего функционирования.

Решения по внедрению подхода целевого использования горнотехнических сооружений является одним из пунктов существующей классификации способов формирования и возможных направлений использования выработанного карьерного пространства [1]. Классификационным признаком которой является характер воспроизводства реальной части ресурса выработанного пространства, в соответствии с которым были выделены способы: без воспроизводства; с простым воспроизводством; с расширенным (дискретным и непрерывным во времени) воспроизводством выработанного пространства. Для различных классов были определены основные направления и сроки использования выработанного пространства.

Следует констатировать, что на сегодняшний день, горнодобывающие предприятия России имеют техническую возможность реализовать решения, направленные на обеспечение передовых направлений развития открытой геотехнологии при освоении природных ресурсов недр и формировании техногенных георесурсов в виде конечной продукции, с целью улучшения среды обитания человека и сохранение окружающей среды.

Хозяйственная деятельность человечества в области разработки полезных ископаемых оказывает существенное негативное воздействие на окружающую среду и по мере развития уровня цивилизации увеличивается интенсивность данного воздействия на экосистему [2, 3]. Частич-

ное снижение экологической нагрузки при разработке месторождений обеспечивается проведением рекультивационных работ и улучшения ландшафта местности [4, 5]. При этом данные мероприятия носят исключительно восстановительный, а не упреждающий характер. В результате чего все компоненты литосферы, кроме полезного ископаемого рассматриваются в качестве отходов горного производства и требуют применение способов и мероприятий по снижению их негативного воздействия на окружающую среду. Сложившаяся мировая тенденция восстановления нарушенных земель, в основном, сводится к размещению в выработанном пространстве карьера различных материалов, в том числе отходов производств и потребления, а также проведению рекультивационных работ в биологическом и рекреационном направлениях.

Мнение ученых, занимающихся вопросами экологии, особенно в области горного дела сводится к тому, что горнодобывающие предприятия неизбежно в ходе своего функционирования оказывают негативное влияние на окружающую среду и по мере развития объемов потребления минерально-сырьевых ресурсов ситуация будет только ухудшаться в связи с увеличивающимися масштабами производства. Данное мнение абсолютно верно только при одном условии, если целью освоения недр Земли является исключительно добыча полезных ископаемых.

Анализ ведения добычных работ открытым способом показал, что с момента становления горного дела и по мере эволюции представлений о закономерностях его развития происходило не только перераспределение ресурсов с целью эффективной отработки запасов, но и наметилась тенденция изменения целей освоения участка недр Земли, предполагающих создание и внедрение экологически эффективных геотехнологий. На сегодняшний день, в рамках ведения открытых горных работ с учетом их масштаба и воздействия на участок недр Земли, ее литосферу и экологические системы, следует понимать преобразование ландшафта местности при добыче полезных ископаемых. При этом конечное состояние данного преобразования должно быть определено на стадии проектных работ по разработке месторождения. В качестве показателей конечного состояния преобразуемого участка недр могут служить характеристики факторов загрязнения атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, горного массива; ретроспективные данные и прогноз изменения биологического разнообразия в зоне влияния горных предприятий.

В связи с этим, целью открытых горных работ, в рамках комплексное освоение месторождения следует считать повышение полноты освоения запасов при обеспечении целенаправленного преобразования ландшафта местности с использованием вещества литосферы для создания среды обитания человека по характеристикам не хуже исходных на момент начала производства добычных работ.

Таким образом, современное состояние открытых горных работ следует охарактеризовать как переходное от экстенсивного к интенсивному пути развития, в части комплексного освоения недр, за счет наличия технической возможности формирования в процессе разработки месторождений полезных ископаемых, востребованной на рынке в краткосрочной и среднесрочной перспективе продукции, создаваемой за счет перераспределения вещества литосферы. Это позволит повысить полноту и комплексность освоения недр при совершенствовании открытой геотехнологии, за счет управления минерально-сырьевыми потоками с целью прогнозирования и внесения корректировок в процессы добычи полезных ископаемых и формирования техногенных георесурсов при локализации источников загрязнения окружающей природной среды.

Литератур

1. Трубецкой, К.Н. Определение области применения способов разработки крутопадающих залежей с использованием заранее сформированного выработанного пространства карьера / Трубецкой К.Н., Пешков А.А. // Горный журнал. – 1994. – №1. – С. 51-52
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году»
3. Каздым, А.А. Экологические проблемы древности – историческая ретроспектива / А.А. Каздым // История науки и техники. – 2007. – №5
4. Томаков, П. И. Природоохранные технологии открытой разработки крутых и наклонных угольных месторождений Кузбасса / П. И. Томаков, В. С. Коваленко // Уголь. – 1992. – № 1. – С. 16 – 20
5. Томаков, П.И. Вовлечение в производство ресурса выработанного пространства – основное направление в снижении ресурсоемкости и улучшении экологических показателей угледобычи на разрезах Кузбасса / П.И. Томаков, В.С. Коваленко // Горн. информ.-аналит. бюл. – 1998. – №3. – С.37-44.

ВЗРЫВНОЕ РАЗРУШЕНИЕ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД И РАЗЛИЧНЫЕ АСПЕКТЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ОСВОЕНИИ НЕДР

Викторов С.Д., Закалинский В.М.

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

Длительный исторический период построения технократической цивилизации связан с горным делом и таким его фундаментальным понятием, связанным с разработкой месторождений полезных ископаемых

и развитием минерально-сырьевого комплекса, как взрывное разрушение массивов горных пород, составляющими которого, в свою очередь, являются взрывчатые вещества, управление действием взрыва, средства и способы взрывания, механизация взрывных работ [1].

Разрушение пород с помощью энергии взрыва является универсальным и практически единственным высокоэффективным способом подготовки горных пород к выемке, на что расходуется львиная доля производимых промышленных взрывчатых веществ. Объемы ежегодной добычи вещества литосферы для использования в хозяйственных целях измеряются сотнями миллиардов тонн, большая часть которых разрушается за счет энергии превращения взрывчатых веществ (взрыва).

В практическом плане взрывное разрушение массивов горных пород условно можно свести к следующим основным процессам: отделение от массива горных пород ее малой части без дробления; то же, но с целью дробления отделенной части; то же, но с целью выброса на определенное расстояние этой части; вспомогательным (образование щелей, дробление негабаритов, преобразование внутренней структуры и свойств массива горных пород, и др.). Эти цели сводятся к трем «классическим» задачам, которые могут быть решены только с применением взрывчатых веществ: дробление массива, формирование контура, перемещение горной массы. Применение, в связи с этим, взрывных методов разрушения явилось доминирующим методом отделения горной породы от массива. Параллельно шло развитие представлений о взрывных явлениях в целом, науки и технологии применения взрыва в горной промышленности, некоторые аспекты использования которого при комплексном освоении недр можно подытожить следующим образом.

Как известно, взрывчатые вещества являются средством решения одной из важнейших проблем горного производства – разрушение горного массива. По своим энергетическим характеристикам современные взрывчатые вещества вполне пригодны для решения любых геотехнологических задач. Но реальные возможности управлять этой энергией напрямую зависят от конструктивных форм и особенностей полостей, в которых они размещаются, т. е. от конструкций зарядов. Учитывая, что коэффициент полезного действия энергии ВВ до сих пор остается удручающе малым, особое значение приобретает изыскание таких конструкций, которых в полной мере выявляют те или иные свойства ВВ. Крупные достижения здесь связаны с появлением принципиально новых идей, в частности, с разработкой целого ряда веществ с разнообразными взрывчатыми свойствами [2, 3]. Не вдаваясь в эволюцию процессов получения этих веществ, отметим, что их про-

изводство полностью или частично имело стационарную химическую основу. При этом особый интерес представляет то обстоятельство, что все взрывчатые материалы и многие их компоненты, являясь химическими веществами, в принципе создавались в стационарных условиях, которые не обязательно связывались с местами их будущего применения. Это обстоятельство имеет принципиальное значение, так как обозначался факт, что некоторые вещества и компоненты из состава ВМ самостоятельно (по отдельности) не являются или могут не считаться взрывчатыми веществами в практическом плане, а таковыми образуются лишь при механическом их смешении. Прямым следствием этого является частичный перенос функции получения ВВ с химических производств в места их массового применения, что меняет концепцию связи «завод – горное производство». Это сопровождалось последовательными изменениями некоторых значений параметров взрывчатых смесей и требований к ним в связи со спецификой их применения на местах и прогрессом в области повышения эффективности управления действием взрыва. Применение аммиачно – селитренных ВВ и открытие новых взрывных методов разрушения произвели революцию в горном деле, представляя собой существенный аспект развития комплексного освоения недр.

Следующий аспект связан с управлением действием взрыва, которое в качестве базового элемента взрывного разрушения массивов горных пород непосредственно сказывается на эффективности различных систем разработки [4, 5].

При разработке месторождений полезных ископаемых в отечественной и зарубежной практике взрывных работ господствует парадигма, базирующаяся на условии образования полости для размещения в ней взрывчатого вещества исключительно с помощью однотипной технологии, обусловленной техникой бурения скважин (шпуров) и образованием круглой в сечении полости для размещения в ней взрывчатого вещества. Отбойка при этом ведется монозарядами по модели расширяющегося взрыва, когда его энергия концентрически расходится во все стороны от заряда и уносится вглубь массива. Таким образом, современный уровень развития буровзрывного комплекса при разработке месторождений характеризуется абсолютным преобладанием отбойки руд и пород единичными (одинарными) скважинными зарядами определенного диаметра. При этом, вследствие постоянной необходимости повышения количественных показателей отбойки, определилась тенденция к увеличению общей энергии зарядов, реализуемая путем постоянного увеличения диаметра взрывных скважин.

Однако в горной науке и практике издавна проявлялся интерес к созданию способов разрушения горных пород с асимметрией распределения энергии взрыва в пространстве и максимальной ее концентрацией в определенных направлениях. В этой связи рассмотрены и решены вопросы нового приоритетного направления, имеющего различного характера горнотехнические приложения. При этом принципиально новые перспективы по управлению процессами передачи и распределения в разрушаемом массиве энергии ВВ открываются только с созданием способов разрушения пород с резкой асимметрией распределения энергии взрыва в пространстве и максимальной ее концентрацией в определенных направлениях.

В базовой конструкции скважинных и шпуровых зарядов давно нет принципиальных изменений. Влияние конструктивных особенностей зарядов при этом, как правило, сводится к минимуму из-за их практической не технологичности. Направленное или управляемое действие взрыва при массовых взрывах в технологическом аспекте зачастую реализуется вариантами коммутаций взрывных цепей обычных скважинных зарядов. Но реальные возможности управлять энергией взрыва напрямую зависят от конструктивных форм и особенностей полостей, в которых они размещаются, т. е. от конструкции зарядов.

Следует отметить, что известные достижения в этом направлении пока связаны с пучками параллельно-сближенных скважинных зарядов. Такой пучок является следствием деконцентрации одного скважинного заряда «большого» диаметра на пучок параллельно-сближенных скважин «малого» диаметра, эквивалентных по массе ВВ [6].

В этом направлении выполнены обширные исследования эффективности различных форм пучка относительно эквивалентной ему по энергии одинарного скважинного заряда, а также пучков относительно друг друга. Установлено, что при взрыве достигается эффект воссоздания или образования заряда и волны некруговой, практически любой по необходимости формы, что само по себе знаменует новое явление в горной практике. Следует отметить, что изменение формы и конструкции заряда пучка не являясь самоцелью, проявляется как средство увеличения доли потока энергии взрыва ВВ в определенном направлении. В этом заключается суть управления направленностью энергии или выборочного действия взрыва концентрированных зарядов ВВ пучка, тождественное известному эффекту в зарядах кумулятивной формы.

Показано, как способом изменения формы и конструкции удлиненного заряда была решена общезначимая проблема практического отхода от классически круглой его формы, связанной с буровым станком.

Это влечет увеличение доли потока энергии взрыва ВВ в определенном направлении и является средством существенного повышения КПД взрыва, сводя к минимуму его действие в обратном, «законтурном», направлении.

Следующие аспекты связаны с практическими проблемами при комплексном освоении недр, отражая различные стороны их решений.

Так, рассмотрены подход и постановка задачи для решения одной проблемы при освоении пластовых угольных месторождений, определяющие инновационное направление при их комплексной разработке. Динамичное развитие топливно-энергетического комплекса страны в современных условиях базируется на целом ряде технических, социально-экономических и экологических аспектов, связанных с решением актуальных задач и определяющих инновационную разработку угольных месторождений.

Одна из таких задач связана с проблемой негативного воздействия взрывных работ на открытых разработках на подземные горные выработки (объекты), расположенные непосредственно под дном карьера при комплексной разработке одного и того же пластового угольного месторождения.

Сейсмоопасность сопутствует проведению взрывных работ на горных предприятиях, представляя реальную проблему, когда при массовых взрывах расход взрывчатых веществ составляет сотни и тысячи тонн. Решение зависит от конкретных горнотехнических и горно-геологических условий. Такая проблема имеет место, например, при совместном ведении подземных и открытых горных работ, когда сеймовзрывные волны при массовых взрывах на разрезе «Заречный» воздействуют на подземные горные выработки нижерасположенной угольной шахты «Талдинская-Западная 2».

В настоящее время решение основывается на концепции снижения интенсивности взрывных работ в карьере (разрезе), что достигается использованием различных технологических средств и приемов, например, путем дробления крупномасштабного взрыва на ряд мелкомасштабных. Это в целом существенно снижает технико-экономические показатели работы разрезов, в частности, из-за недоиспользования ресурсов мощной импортной техники.

Несмотря на известные достижения в науке и практике в этой области сложность учета многообразия различных условий, в увязке со способами крепления и обеспечения устойчивости горных выработок и сооружений, требует изыскания новых подходов с обоснованием и разработкой сейсмобезопасных параметров буровзрывных работ [7].

Изыскание новых технологических решений в данной проблеме в формулировке задачи было выполнено на базе одного из крупнейших угольных объектов топливно-энергетического комплекса Российской Федерации – ОАО «СУЭК-КУЗБАСС».

Задача заключалась в научно-техническом обосновании и разработке способа снижения направленного сейсмического действия взрыва, снижающим до минимума воздействие взрывных волн на подземные горные выработки, и определении сейсмобезопасных параметров буровзрывных работ на разрезе. Результатом ее решения явилась разработка новой идеи в буровзрывных работах, изыскание которой базируется на анализе и использовании авторских, а также известных теоретических предпосылок и расчетных методов в данной постановке. Предложена гипотеза по снижению негативного влияния взрывных работ на карьере на шахтные горные выработки на основе решения в механике сплошной среды по воздействию преграды на газодинамическое течение.

В рамках проверки гипотезы поставлена и решена виртуального характера задача с граничными условиями, показавшая приемлемость использованного аналитического аппарата газодинамического течения и его взаимодействия с твердой преградой в механизме действия взрыва задачи горного производства. Экспериментальными взрывами в производственных условиях показана эффективность новой конструкции скважинного заряда по качественному и количественному компонентам гипотезы.

В отечественной практике взрывного разрушения массивов горных пород в качестве существенного аспекта его применения при комплексном освоении недр разработано новое эффективное направление в буровзрывных работах в виде метода крупномасштабного взрывного разрушения массивов горных пород (крупномасштабная отбойка) с определяющими его признаками [8].

В основу было положено развитие принципа масштабного эффекта на базе анализа известной зависимости величины заряда от объема взрываемого горного массива и ее преобразования с целью получения одинаковой степени дробления при любых объемах и условиях крупномасштабного взрывания.

В рамках исследований этого направления был решен целый ряд задач, в совокупности представивший самостоятельный аспект совершенствования различных параметров взрывного разрушения.

В этой связи, а также в общей перспективе, проявляется еще один важнейший аспект взрывного разрушения массивов горных пород, позволяющий реализовать идеи вышеприведенных факторов и существенно повысить его технико-экономическую эффективность при комплексном освоении недр. Он заключается в разработке новых средств меха-

низации, когда, в противопоставлении современному паллиативному методу бурения на открытых работах пучка близко расположенных скважин одним тяжеловесным и громоздким станком большого диаметра, может представить интерес идея использования специального многошпиндельного бурового станка для одновременного бурения группы параллельно – сближенных скважин малого диаметра [9], или мобильных передвижных буровых установок с размещенными на платформе двумя- тремя высокоскоростными гидроперфораторами [10]. Это позволит повысить общий технический уровень в горном деле, доведя его до мирового в горной практике значения.

Литература

1. Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Викторов С.Д., Жариков И.Ф., Закалинский В.М. Взрывное разрушение горных пород при освоении недр // Сетевое периодическое научное издание «проблемы недропользования». 2014. – № 3. С. 80 – 95.
2. Викторов С.Д., Демидюк Г.П. Простейшие взрывчатые вещества. – Вестник АН СССР, 1985, № 4, с. –102-111.
3. Викторов С. Д. Разработка и применение простейших взрывчатых составов / Отв. ред. акад. К. Н. Трубецкой – М.: ИПКОН РАН, 1996.
4. Викторов С.Д., Закалинский В.М., Осокин А.А. Эффективная взрывная подготовка при освоении пластовых месторождений // Вестник Российской академии наук. -2015. – №2. – Том 85. – С. 138-145.
5. Викторов С.Д., Закалинский В.М., Осокин А.А. К теоретическим предпосылкам действия взрыва при крупномасштабном и селективном взрывании горных пород в сложных условиях // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 6 – С. 79-86.
6. Викторов С.Д. Разрушение горных пород сближенными зарядами / С.Д. Викторов, Ю.П. Галченко, В.М. Закалинский, С.К. Рубцов //Под ред. акад. К.Н. Трубецкого. М.: ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2006. – 276 с.
7. Викторов С.Д., Захаров В.Н., Закалинский В.М. Снижение сейсмического воздействия массовых взрывов в карьере на устойчивость горного массива и подземных сооружений при комбинированной разработке угольных месторождений // Горный журнал. 2016. № 12. С. 59 – 64.
8. Викторов С.Д. Технология крупномасштабной взрывной отбойки на удароопасных рудных месторождениях Сибири / С.Д. Викторов, А. А. Еременко, В. М. Закалинский, И. В. Машуков. – Новосибирск: Наука, 2005. – 212 с.
9. Викторов С.Д., Закалинский В.М. Многошпиндельные станки для бурения взрывных параллельно-сближенных скважин // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 9. – С. 20-22.
10. Форс К.Г. Сорок лет моего опыта // Горное дело и строительство: Швеция, Atlas Copco (переводной журнал). – 2006. № 1. 28 с.

ИНИЦИАТИВЫ ИПКОН РАН ПО РАЗРАБОТКЕ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ*

Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В., Айнбиндер И.И., Есина Е.Н.

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

ИПКОН РАН исторически является организатором и разработчиком нормативно-правовых актов в сфере недропользования. При его участии разработаны документы, регламентирующие безопасное ведение горных работ как при разработке месторождений твердых полезных ископаемых [1-3], так и при строительстве тоннелей и подземных сооружений [4-5] и др.

Изменение геологических, горнотехнических и природно-климатических условий освоения обрабатываемых и перспективных месторождений, усложнение геомеханической ситуации, ужесточение экологических требований, возрастающие потребности в минеральном рудном сырье и топливе вызывают необходимость совершенствования действующих норм и правил по обеспечению экологической и промышленной безопасности. Кроме того, внедрению инновационных геотехнологий, обеспечивающих повышение эффективности горного производства и снижение экологической нагрузки на окружающую среду, препятствуют действующие в России нормы технологического проектирования и правила, регламентирующие безопасное ведение горных работ, разработанные в начале второй половины прошлого столетия и не соответствующие возможностям современной техники и потребностям мирового рынка.

Повышение требований к проектированию и эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых, к промышленной и экологической безопасности вызывает необходимость совершенствования нормативной базы, регламентирующей безопасное и эффективное освоение недр. Действующая в настоящее время нормативная документация явно устарела и не может быть использована в современных условиях. За последние десятилетия существенно изменилась горнотехническая и геомеханическая ситуация, появились инновационные геотехнологии, множество новых программных комплексов и компьютерных разработок, принципиально изменились возможности экспериментальных ме-

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-37-00050

тодов сбора и обработки исходных данных, обоснования рациональных параметров горнотехнических систем, и, следовательно, методы оценки рисков стали более совершенными.

Например, при освоении запасов полезных ископаемых в особо тяжелых и сложных горнотехнических условиях приоритетным направлением обеспечения экологической и промышленной безопасности горных работ является развитие роботизированных геотехнологий, не предусматривающих непосредственное присутствие человека в опасной зоне ведения горных работ. Использование, например, беспилотных с интеллектуальным управлением автосамосвалов, экскаваторов, буровых станков, работающих в автономном режиме, способно существенно расширить область эффективного применения открытых горных работ с принципиальным изменением конструктивных параметров и инфраструктуры карьера.

Использование автономного автоматически работающего горнотранспортного оборудования с интеллектуальным управлением способно сократить или полностью исключить влияние человеческого фактора на выполнение операционных процессов. При этом качественно меняются условия безопасного ведения горных работ, так как по статистике 90% аварий происходит именно по причине человеческого фактора. При внедрении интеллектуальной геотехнологии повышаются аналитические и управленческие функции технических специалистов и руководителей горного производства. Качественно изменяются значения основных параметров горнотехнической системы, отдельных конструктивных элементов системы разработки, что дает существенное повышение экономической и экологической эффективности открытых горных работ [6-7].

Использование интеллектуальной горнотранспортной техники обеспечивает возможность более полной отработки запасов, ранее не входящих в границы проектного контура ведения горных работ. При обосновании новых проектных решений и конструктивных параметров горнотехнической системы следует исходить исключительно из технических возможностей и характеристик применяемого оборудования, что объясняется отсутствием рисков, связанных с работой персонала в опасных условиях рабочей зоны. Поскольку интеллектуальное оборудование снабжено соответствующими датчиками, контролирующими пространственное положение рабочих органов и самой техники с учетом требования к обеспечению минимальной ширины рабочей площадки, обоснование конструктивных параметров горнотехнической системы должно производиться исключительно с учетом минимальных габаритов и технических зазоров, обеспечивающих безопасную работу технологического оборудования.

Внедрение для контроля состояния массива горных пород георадаров, также работающих в автоматическом режиме, способно снизить риск возникновения экономического ущерба от потери техники в случае возникновения обрушения горных пород.

Исследованиями ИПКОН РАН и совместно с компанией «ВИСТ Групп» доказано, что использование роботизированной техники позволяет обеспечить значительное уменьшение ширины рабочей площадки и за счет этого увеличить глубину карьера при доработке запасов, расположенных ниже его проектного контура [8-9]. При использовании роботизированной техники, вследствие отсутствия персонала в забое, имеется возможность минимизировать размеры отдельных элементов горнотехнических конструкций, а часть – исключить (рис. 1,2).

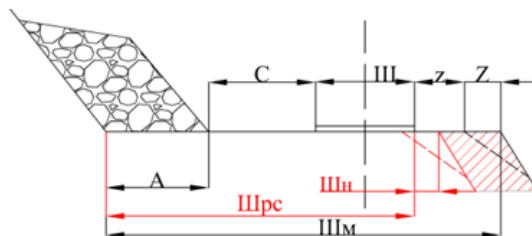


Рис. 1. Изменение конструктивных параметров рабочей площадки карьера при использовании механизированной и роботизированной горнотехнических систем:

$Ш_M$ $Ш_{PC}$ – ширина рабочей площадки при механизированной и роботизированной технике, м; $Ш$ – ширина проезжей части, м; A – ширина заходки экскаватора, м; C – гарантийное расстояние до нижней бровки уступа, м; z – берма безопасности, м; Z – призма возможного обрушения, м

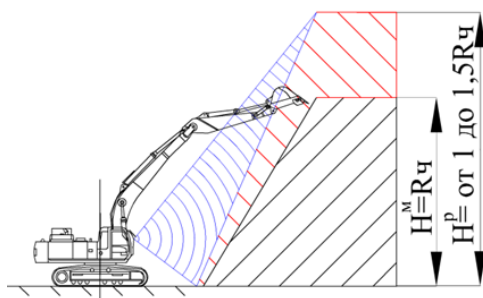


Рис. 2. Изменение угла откоса и высоты уступа при использовании механизированной и роботизированной горнотехнических систем:
 H – высота уступа, м; $R_ч$ – высота черпания экскаватора, м

Очевидно, что появление описанных и иных инновационных геотехнологий, новых горнотранспортных средств, исключаящих необходимость присутствия оператора в тяжелых условиях рабочей зоны рудника, изменяет требования к уровню риска, вызывает необходимость совершенствования нормативно-методической базы, регламентирующей эффективное и безопасное освоение месторождений полезных ископаемых.

При подготовке новых ФНП, регламентирующих безопасность горных работ, будут разделены требования и рекомендации по видам добываемого минерального сырья и учтена возможность развития и корректировки приложений к ФНП через определенный период времени.

Таким образом, внедрение инновационных технологий освоения месторождений твердых полезных ископаемых вызывает необходимость совершенствования нормативно-методической базы, регламентирующей эффективное и безопасное освоение месторождений полезных ископаемых. По сути дела, на решение всех этих задач направлен первый мегапроект «Обеспечение устойчивости откосов при открытых горных работах». Подробная информация о продвижении проекта и структуре разрабатываемого документа представлена на сайте <http://opst.ипконран.рф>.

Утверждение и реализация этих Правил будет способствовать повышению экономической эффективности и безопасности разработки месторождений открытым способом, внедрению инновационных геотехнологических решений, а также усилит конкурентоспособность российских предприятий на мировом уровне, что в современных условиях является весьма актуальным.

Литература

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях / ПБ 07-269-98.

2. Методические указания по определению параметров опасных зон на горных предприятиях АК «АЛРОСА». М.: ИПКОН РАН. – 2007.

3. Инструкция по производству геодезическо-маркшейдерских работ при строительстве коммунальных тоннелей и инженерных коммуникаций подземным способом / РД 07-226-98.

4. Методическое руководство по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей / ТА России, ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс». – СПб. – 2009.

5. Инструкция по безопасному ведению горных работ при комбинированной (совмещенной) разработке рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых / РД 06-174-97

6. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Проблемы и перспективы развития ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения недр Земли / Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 4. С. 116-124.

7. Трубецкой К.Н. Технологии управления горными работами в карьерах: перспективы развития / Горный журнал. – 2013. – № 7. С. 4-6.

8. Трубецкой К.Н., Владимиров Д.Я., Пыталев И.А., Попова Т.М. Роботизированные горнотехнические системы при открытой разработке месторождений полезных ископаемых / Горный журнал. – 2016. – № 5. С. 21-27.

9. Рыльникова М.В., Владимиров Д.Я., Пыталев И.А., Попова Т.М. Роботизированные геотехнологии как путь повышения эффективности и экологизации освоения недр / Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2017. – № 1. С. 92-101.

**МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ
ХАЛЬКОПИРИТА, ГАЛЕНИТА И АРСЕНОПИРИТА
ДИБУТИЛДИТИКАРБАМАТОМ НАТРИЯ
ПРИ ФЛОТАЦИИ СУЛЬФИДНО–ОЛОВЯННЫХ РУД***

Матвеева Т.Н., Громова Н.К., Минаев В.А., Ланцова Л.Б.

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

Обогащение сульфидно-оловянных руд осуществляется по сложным многостадийным схемам с использованием гравитационных методов, флотогравитации, флотации, магнитной сепарации. При флотационном обогащении сульфидные минералы извлекаются в коллективный концентрат с последующим получением медного, свинцового и др. концентратов при этом основной минерал олова – касситерит концентрируется в камерном продукте. Представляется целесообразным использовать модификации новых реагентов с целью предотвращения попадания сульфидов в оловянный концентрат и снижения потерь тонкодисперсного олова, серебра, меди и других цветных и благородных металлов с хвостами обогащения комплексных оловянных руд [1–3].

Исследованиями, ранее выполненными в ИПКОН РАН, обоснован механизм действия новых реагентов–собирателей класса дитиокарбаматов модифицированного диэтилдитиокарбамата (ДЭДТКм) и оксипропилового эфира дитиокарбаминовой кислоты (ОПДТК) на минералы цветных и благородных металлов при флотации упорных золото- и платиносодержащих руд [4–6]. Применение новых реагентных режимов с использованием этих собирателей в сочетании с бутиловым ксантогенатом позволяет обеспечить прирост извлечения благородных металлов на 6–13% и повышение их содержания в концентратах в 1,2–1,5 раза.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-17-01292)

Целью данной работы является исследование физико-химических свойств халькопирита, галенита, арсенопирита и касситерита, входящих в состав комплексных оловосодержащих руд, в результате модифицирования их поверхности устойчивыми комплексами металл-дибутилдитиокарбамат при воздействии реагента-собирателя дибутилдитиокарбамата (ДБДТК) для оценки эффективности его применения при флотации комплексных оловянных руд.

Дибутилдитиокарбамат натрия выбран в качестве сильного сульфгидрильного собирателя, обладающего комплексобразующими свойствами по отношению к меди, свинцу, серебру и другим цветным и благородным металлам [7, 8], для коллективной флотации сульфидных минералов, входящих в состав комплексных оловянных руд.

Дибутилдитиокарбамат натрия ($C_9H_{18}NS_2Na$) – промышленный образец реагента Flotent DCDB производственной компании ООО «ФЛОТЕНТ КЕМИКАЛС РУС» (г. Самара).

Экспериментальные исследования процессов физико-химического воздействия ДБДТК на поверхность минералов выполнены с применением методов аналитической сканирующей электронной АСЭМ (LEO 1420VP INCA OXFORD ENERGY 350) и лазерной (KEYENCE VK-9700) микроскопии, измерения электродных потенциалов минеральных аншлифов, мономинеральной флотации измельченных фракций (-0,16 + 0,08 мм).

Анализ изменения потенциалов минеральных электродов в растворе ДБДТК (рис. 1а) показал, что с увеличением концентрации реагента у сульфидных минералов происходит снижение положительных значений потенциала в отрицательную область, свидетельствующее об адсорбции потенциалоопределяющих ионов дитиокарбамата на поверхности сульфидов.

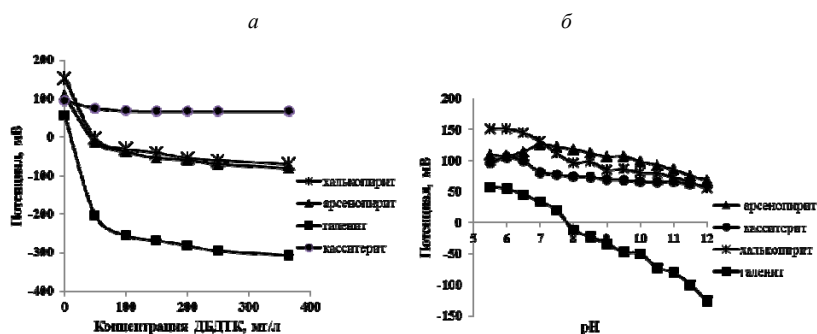


Рис. 1. Изменение потенциала минеральных электродов в зависимости от концентрации ДБДТК в растворе (а) и от pH (б)

Потенциал арсенопирита понижается на 189 мВ, халькопирита на – 223 мВ, галенита на – 364 мВ. Следует отметить, наиболее резкое падение потенциала происходит при концентрации ДБДТК до 50 мг/л, дальнейшее повышение концентрации реагента не оказывает значительного влияния на изменение потенциала и свидетельствует о насыщении адсорбционного слоя комплексами ДБДТК-металл. Максимальное снижение потенциала галенита (более, чем на 360 мВ) характеризует активную адсорбцию реагента на минерале с образованием прочного комплексного соединения $Pb(ДБДТК)_2$.

В отличие от сульфидных минералов, потенциал касситерита SnO_2 практически не меняется и остается положительным (+100 мВ) во всем диапазоне концентраций реагента, что свидетельствует об отсутствии адсорбции ДБДТК на его поверхности.

Характерно, что в отсутствии собирателя насыщение адсорбционного слоя халькопирита и арсенопирита гидрокомплексами ОН-металл при повышении щелочности среды с 5,8 до 12 приводит к значительно меньшему снижению потенциалов – на 50-70 мВ (рис. 1б), чем в растворе ДБДТК. Потенциал галенита в щелочной среде падает на 150-200 мВ.

Таким образом, в условиях конкурентной адсорбции изученные сульфидные минералы обладают повышенной адсорбционной активностью по отношению к ДБДТК, что будет благоприятно сказываться на устойчивости комплексов ДБДТК-металл в условиях флотации при изменении рН среды.

Анализ изображений поверхности аншлифов халькопирита, галенита, арсенопирита и касситерита, модифицированных ДБДТК (лазерный микроскоп Кеуенсе VK-9700) показал, что после взаимодействия минералов с ДБДТК на поверхности сульфидов появляются дискретные новообразования (пленки), характер которых индивидуален для каждого из изученных минералов.

Обработка аншлифа халькопирита реагентом-собирателем ДБДТК приводит к образованию на его поверхности новой фазы в виде дендритов светло-коричневого цвета высотой 0,1 мкм и капель диаметром от 3 до 23 мкм высотой до 1 мкм. Галенит после контакта с ДБДТК покрылся пленкой голубого цвета толщиной до 0,1 мкм. На арсенопирите ДБДТК закрепился в виде дискретных капель округлой формы диаметром до 38-58 мкм, высотой 1,5-2,5 мкм. На касситерите новообразований не обнаружено.

Измерение площадей новообразованных фаз реагента на поверхности аншлифов минералов выполнено с помощью программного обеспечения VK-Analyzer на основе цветного снимка путем заливки подобранным градиентом области объекта. Произведенные замеры на нескольких участках поля зрения показали, что площадь покрытия реагентом поверхности халькопирита составила от 46 до 70%. На галените площадь покрытия составила в среднем 81 %, арсенопирите – 19-25%.

Аншлифы минералов исследовались с помощью растрового электронного микроскопа LEO 1420VP с энергодисперсионным анализатором INCA OXFORD ENERGY 350.

Микрофотографии аншлифов и рентгеновские спектры халькопирита, арсенопирита, галенита представлены на рис. 2.

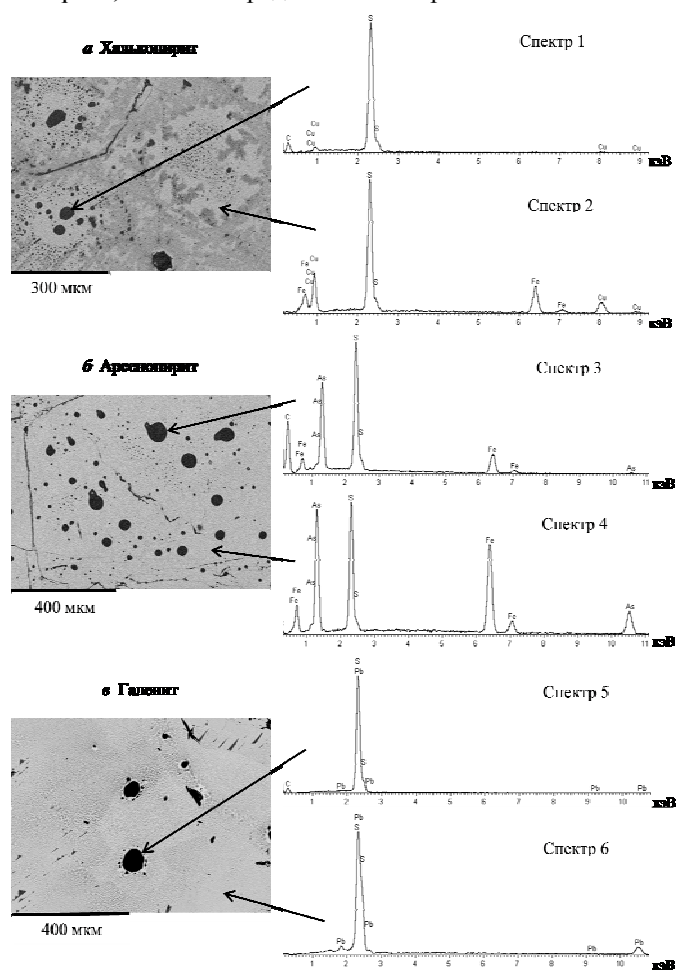


Рис. 2. Микрофотографии аншлифов и рентгеновские спектры халькопирита (а), арсенопирита (б) и галенита (в) после взаимодействия с реагентом ДБДТК

На микрофотографиях аншлифов сульфидных минералов после обработки их реагентом ДБДТК обнаруживаются характерные темные округлые пятна (рис. 2 а, б, в), рентгеновские спектры которых характеризуются повышенным содержанием углерода С и серы S и в тоже время пониженным содержанием основных металлов, входящих в состав изученных минералов (рис. 2, спектры 1, 3, 5), что свидетельствует об адсорбции на их поверхности углерод- и серосодержащего органического реагента ДБДТК.

Была проведена мономинеральная флотация в механической флотационной машине: объем камеры 20 мл; навеска 2 г, время контакта с ДБДТК, БутКс, сосновым маслом 1 мин., время флотации 3 мин.

Флотационные эксперименты показали, что галенит, халькопирит и арсенопирит активно флотируются реагентом ДБДТК (рис. 3, а), при этом максимальное извлечение достигается при использовании сочетания ДБДТК с БутКс в соотношении 1:1 при значительно более низких расходах обоих реагентов – (50 г/т каждого) (рис. 3, б).

Флотация касситерита не происходит, выход 20% объясняется механическим выносом минерала в пенный продукт.

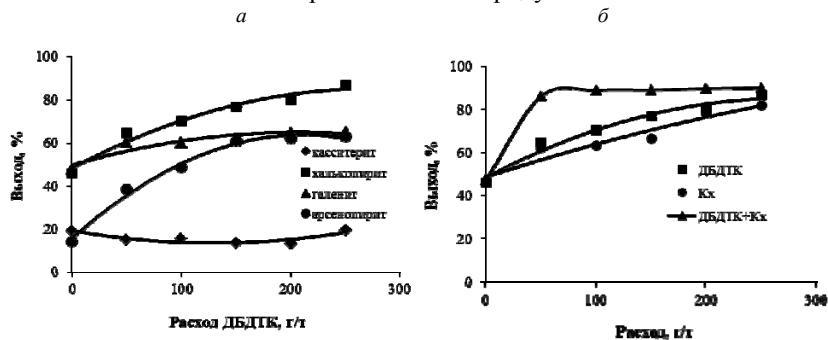


Рис. 3. Флотация халькопирита, галенита, арсенопирита и касситерита реагентом ДБДТК (а) и халькопирита смесью ДБДТК и Бут Кс (б)

Заключение

Методами лазерной (KEYENCE VK-9700) и аналитической сканирующей электронной АСЭМ (LEO 1420VP INCA OXFORD ENERGY 350) микроскопии установлен индивидуальный характер формирования адсорбционного слоя ДБДТК на поверхности халькопирита, галенита и арсенопирита и определены размеры пленок реагента и прочность их закрепления.

Определена площадь покрытия реагентом поверхности минералов: халькопирита от 46 до 70%, галенита – в среднем 81 %, арсенопирита – 19 – 25%. Адсорбция ДБДТК на касситерите не обнаружена.

Индифферентность касситерита к ДБДТК обеспечивает селективное отделение его в камерный продукт при флотации сульфидов.

Показано, что модифицирование поверхности сульфидов устойчивыми комплексами металл-дибутилдитиокарбамат обеспечит повышение их извлечения в коллективный сульфидный концентрат при доводке черновых оловянных концентратов.

Литература

1. Юсупов Т.С., Кондратьев С.А., И.И. Бакшеева. Структурно-химические и технологические свойства минералов касситерит-сульфидного техногенного сырья // Обогащение руд. 2016. № 5. С. 26-31.
2. Иванков С.И. Современное состояние проблемы разделения минеральных комплексов оловянно-полиметаллических руд и техногенных образований благородных и цветных металлов // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды: обзор. информ. / ВИНТИ. М. 1998. Вып. 6. С. 47-69.
3. X.Q Wu. J.G. Zhu Selective flotation with benzohydroxamic acid // Minerals Engineering 19 (2006) 1410-1417.
4. Матвеева Т.Н., Громова Н.К., Иванова Т.А., Чантурия В.А. Физико-химическое воздействие модифицированного диэтилдитиокарбамата на поверхность золотосодержащих сульфидов при флотации руд благородных металлов // ФТПРПИ. 2013. № 5. С.147-156.
5. Матвеева Т.Н., Ланцова Л.Б. Испытания реагентных режимов флотации золотосодержащей руды с применением модифицированного диэтилдитиокарбамата и тиозфира дитиокарбаминовой кислоты // Цветные металлы. 2014. № 11. С. 16-21.
6. Матвеева Т.Н. Научное обоснование высокоэффективных реагентных режимов флотационного извлечения платиносодержащих сульфидных минералов из труднообогатимых руд // ФТПРПИ. 2011. № 6. С. 128-134.
7. Бырько В.М. Дитиокарбаматы. М.: Наука, 1984. 342 с.
8. Соложенкин П.М. Прогнозирование перспективных флотационных реагентов для флотации висмутовых минералов и руд на основе скрининга химических соединений и экспериментально-компьютерных подходов // Обогащение руд. 2015. № 4. С. 32-38.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ В КАЗАХСТАНЕ

**Касымканова Х.М., Джангулова Г.К., Жалгасбеков Е.Ж.,
Туреханова В.**

Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби.

В настоящее время за рубежом при помощи открытой разработки добывается примерно 30% угля, около 75% железных руд, до 80% руд цветных металлов, свыше 90% неметаллических полезных ископаемых (асбест, графит, каолин, слюда, тальк), почти 100% нерудных строительных материалов

Добыча железной руды открытого способа концентрируется на месторождениях Украины (Криворожский бассейн), Центра (Курская магнитная аномалия), Казахстана (Соколовско-Сарбайское, Качарское, Лисаковское, Аятское, месторождения) и Урала.

Добыча руд цветных металлов открытым способом преимущественно осуществляется в Сибири и Казахстане.

Возрастающие потребности Казахстана в топливе и минеральном сырье обеспечиваются за счет открытого способа разработки, и включают добычу угля, золота, урана, железной, медной, никелевой, свинцово-цинковой, бокситовой и других руд.

В связи с истощением запасов руд, залегающих на доступных глубинах, основным направлением развития горнодобывающей промышленности является дальнейшее развитие и совершенствование открытого способа добычи полезных ископаемых, с вовлечением в эксплуатацию месторождений со сложными горно-геологическими условиями и большой (до 700м) глубиной разработки.

Месторождения полезных ископаемых, разрабатываемые открытым способом, характеризуются большим разнообразием горно-геологических, горнотехнических, геомеханических и технологических условий. Ведущие предприятия горнопромышленного комплекса Казахстана, отрабатывающие месторождения открытым способом, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Горнопромышленный комплекс Казахстана

Разновидность руды	Название организаций
Добыча марганцевых руд	Рудник «Тур» («Казхром»), «Жайремский ГОК»
Добыча хромовых руд	ОАО «Донской ГОК», ТНК «Казхром»
Добыча никелевых руд	ТОО «Кызыл Каин Мамыт»
Добыча медных руд	Корпорация «Казахмыс»
Добыча свинцово-цинковых руд	ОАО «Казцинк», ЗАО «Южполиметалл»
Добыча титаномагниевого руд	Обуховский ГОК-2, АО «Минерал», АО «Бектемир»
Добыча редкоземельных руд	«Восточно-Казахстанская редкоземельная компания»
Добыча золота	АК «Алтыналмас», ОАО «Васильковский ГОК», ОАО «ГРК АБС-Балхаш», ТОО «Казахалтын»
Добыча фосфоритов	АО «ГХК Каратау»
Добыча угля	«Испат-Кармет», «Богатырь Аксес Комир», ОАО «Евроаз. энерг. корпорация», «Семейкомир» и др.
Добыча урана	НАК «Казатомпром», СП «Инкай», СП «Катко»
Добыча асбеста	ТОО «Костанайские минералы»

В теории и практике открытых работ известны основные пути увеличения полноты и качества выемки полезных ископаемых и улучшения технико-экономических показателей карьеров:

- увеличение объемов вскрышных работ с увеличением глубины отработки для создания благоприятных горнотехнических условий при переходе на подземные работы. Но этот вариант требует существенных дополнительных материальных затрат;
- пересмотр первоначального проекта конечного контура карьера и формирование бортов с увеличенными углами наклона. Увеличение угла наклона борта карьера на конечном контуре приводит к весьма значительному уменьшению объема вскрышных работ. В частности, увеличение угла наклона борта карьера с 39 до 40° при высоте 400 м обеспечивает снижение объема вскрышных пород в контуре карьера более чем на 345 тыс. м³ на каждые 100 м периметра борта. Но формирование крутых бортов требует существенного пересмотра технологии и организации горных работ;
- вовлечение в переработку оставленных бедных руд, а также отходов горного производства наряду с добычей основного полезного ископаемого в период первичной эксплуатации месторождения;
- применение временно нерабочих бортов при поэтапной отработке месторождения для снижения коэффициента вскрыши;
- комбинация физико-технических технологий добычи с физико-химическими технологиями,
- применения комбинированного открыто-подземного способа;
- рациональное использование выработанного карьерного пространства.

Основные характеристики проектных параметров некоторых карьеров Казахстана приведены в таблице 2.

Главные принципы обеспечения безопасности при ведении горных работ должны базироваться на выполнении и внедрении научно обоснованного комплекса фундаментальных и прикладных научных исследований в соответствии с требованиями вновь принятой концепции экологической безопасности РК на 2004-2015 годы, одобренной Указом Президента РК от 3 декабря 2003 г. № 1241.

Это обуславливает необходимость постановки исследований геомеханических процессов, сопутствующие отработке, изучению природы их возникновения, установления закономерностей и принятия на этой основе корректных технических и технологических решений, обеспечивающих безопасную отработку месторождений полезных ископаемых и исключение катастрофических последствий.

Таблица 2 – Проектные параметры рудных карьеров

Карьеры	Угол падения залежи, градус	Длина карьера, км	Ширина карьера, км	Глубина карьера, м	Угол наклона уступов при погашении	Высота нерабочих уступов, м
Сарбайский	40-55	3,2	2,4	650	50-60	30-45
Учалинский	70-80	1,9	1,0	326	60	36
Сибайский	40	1,4	1,4	471	30-65	30-40
Оленогорский	65-80	3,9	0,85	385	50-60	24
Гайский ГОК	55-70	1,6	1,22	340	30-35	30
Коунрад	70-80	2,0	1,7	570	45-65	30
Саяк	75-90	1,9	0,73	300	50-60	30
Акжал	50-60	2,0	0,80	240	60-70	30

Из многообразия факторов, влияющих на устойчивость откосов с вмещающими скальными и полускальными породами, можно выделить три основных фактора, требующих обязательного учёта при исследовании геомеханических процессов:

- 1) структурно-тектонические особенности горного массива;
- 2) физико-механические свойства горных пород;

Остальные факторы имеют подчинённое значение и могут быть учтены в расчётах через коэффициент запаса устойчивости.

Структурно-тектонические особенности горного массива являются одним из важнейших факторов, оказывающих влияние на устойчивость скальных и полускальных пород. От ориентировки поверхностей ослабления в массиве относительно поверхности откоса зависят положение и форма поверхности возможного обрушения, а следовательно, и выбор схемы расчёта. Расчленение толщи пород трещинами ведёт к снижению их общей устойчивости. Поэтому изучение трещиноватости скального массива является одним из первых этапов в оценке устойчивости открытых горных выработок.

Физико-механические свойства пород во взаимосвязи со структурно-тектоническими особенностями горного массива определяют его напряжённое состояние в уступах и бортах карьеров под действием внутренних и внешних сил. Тщательное и всестороннее изучение прочности горного массива должно предшествовать решению вопросов по предупреждению деформации откосов на карьерах.

Анализ опыта разработки, фактические данные о состоянии устойчивости бортов некоторых рудных карьеров Центрального Казахстана показывает, что эффективность открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых можно существенно повысить за счет применения инженерных способов управления, который в свою очередь обеспечивается путем получения достоверной информации о геомеханическом состоянии прибортового массива. Поэтому проблема обеспечения устойчивости карьерных откосов является важнейшей в горном деле. Особенно это относится к скальным и полускальным трещиноватым массивам, так как при высокой прочности отдельных монолитных блоков наличие в массивах поверхностей ослабления в виде трещин отдельности большого протяжения, поверхностей смесителей тектонических нарушений, контактов слоистых пород резко ухудшает устойчивое состояние откосов. Исследование геомеханических условий влияющих на устойчивость откосов приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Исследование геомеханических условий влияющих на устойчивость откосов

Изучение геомеханических условий влияющих на устойчивость откосов, сложенных трещиноватыми породами	
Природные факторы	Технологические факторы
Структурно-тектонические особенности горного массива	Разработка и выбор способа управления
Физико-механические свойства пород	Технология выемки горной массы
Оценка устойчивости бортов карьера	
Технико –экономический анализ принимаемых решений	

Первые два фактора являются природными, присущими данному массиву, они первичны, их нельзя изменить, их можно только учитывать при расчетах устойчивости откосов. Третий же фактор есть результат производственной деятельности человека. И он должен быть управляем при решении проблемы обеспечения устойчивости карьерных откосов при отработке месторождений открытым способом.

В этой связи вопросы по оценке устойчивости параметров откоса уступов и совершенствования способов их укрепления для обеспечения безопасного ведения горных работ является актуальной задачей на сегодняшний день.

Литература

1. Ужкенов Б.С., Карибаев Е.Г. Минерально-сырьевой потенциал Республики Казахстан .- Алматы:Горный журнал Казахстана, №1,-С.1-6.
2. Нурпеисова М.Б., Касымканова Х.М. Устойчивость бортов рудных карьеров и отвалов.-Алматы., КазНТУ, 2006,- 131 с.
3. Долгоносов В.Н, Ожигина С.Б., Шпаков П.С. Изучение зависимости показателей прочностных свойств глинистых пород от влажности. Труды университета. КарГТУ -2004, №2 – С. 33-34.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД В ПРИБОРТОВОМ МАССИВЕ САРБАЙСКОГО КАРЬЕРА

Барях А.А.¹, Шамганова Л.С.², Токсаров В.Н.¹,
Самоделкина Н.А.¹, Бердинова Н.О.²

¹Горный институт УрО РАН, г. Пермь, Россия

²Институт горного дела имени Д.А. Кунаева, Алматы, Казахстан

Сарбайский карьер, отрабатывающий запасы железных руд на Соколовско-Сарбайском месторождении расположен на севере Казахстана. Размер карьера в плане составляет примерно 5,5Ч3 км, текущая глубина разработки – 600 м. В результате планируемой углубки Сарбайского карьера до отметки 700 м и вовлечения в разработку новых участков месторождения потребовалось детальное изучение геомеханических условий разработки. Для уточнения геомеханической модели карьера были выполнены исследования по оценке напряженно-деформированного состояния пород приконтурной части массива, выполнено математическое моделирование методом конечных элементов в трехмерной постановке.

Контроль напряжений в скальных трещиноватых породах осуществлялся с использованием акустоэмиссионного эффекта памяти пород при нагружении околоскважинного пространства [1-3].

Испытания проведены в 19-ти горизонтальных скважинах длиной 6 м на трех экспериментальных участках, расположенных на уступах, соответственно, на глубине 440, 480 и 540 м (рисунок 1).

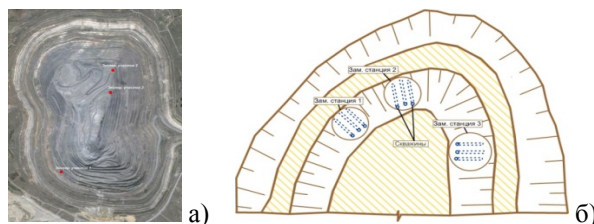


Рис. 1. Местоположение экспериментальных участков (а) и схема расположения замерных станций (б) на участке

Экспериментальный участок состоял из трех замерных станций. В каждой замерной станции испытывались от 1-й до 3-х скважин диаметром 76 мм. Результаты определения напряжений на первом участке приведены на рисунке – 2, а. В более рыхлых породах (зам. станция 1) приконтурная часть массива разгружена, максимум горизонтальных напряжений расположен на глубине около 3 м и равен примерно 15 МПа. В массиве мраморизированного известняка (зам. станции 2 и 3) установлен иной характер распределения горизонтальных напряжений. Максимальная величина горизонтальных напряжений отмечается на глубине 0,4÷1 м и изменяется в диапазоне от 9 до 11 МПа. С ростом глубины горизонтальные напряжения на всех замерных станциях стремятся к величине 4 МПа.

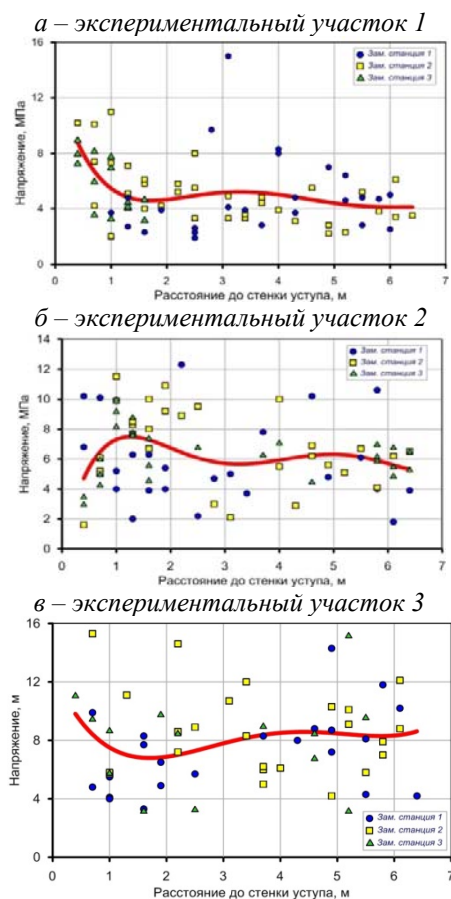


Рис. 2. Распределение горизонтальных напряжений с глубиной на экспериментальных участках

Результаты определения напряжений на втором экспериментальном участке приведены на рисунке – 2, б. На зам. станциях 2 и 3 максимум горизонтальных напряжений расположен на глубине 1 м и изменяется в интервале от 8 до 11,5 МПа. На зам. станции 1 высокие значения горизонтальных напряжений (7-10 МПа) отмечаются уже на глубине 0,4 м. С ростом глубины горизонтальные напряжения на всех замерных станциях стремятся к величине 6 МПа.

Необходимо отметить малое кол-во успешных экспериментальных измерений в средней части скважины. Это объясняется высокой прочностью пород и отсутствием большого кол-ва трещин. Известно, что акустоэмиссионный эффект памяти особенно хорошо проявляется в слабых трещиноватых скальных породах и фактически отсутствует в крепких ненарушенных породах [4].

На третьем экспериментальном участке (рисунок 2, в) в интервале глубин 5–8 м отмечается наличие 5–7 трещин на погонный метр скважины.

В результате анализа установлено, что на всех замерных станциях наблюдается примерно одинаковый характер распределения горизонтальных напряжений по длине скважин, основная часть которых варьируется в диапазоне от 4 до 12 МПа. Установлен скачкообразный характер распределения напряжений, обусловленный блочным строением приконтурного массива. С ростом глубины горизонтальные напряжения на всех замерных станциях стремятся к величине 8 МПа. Так при увеличении глубины с 440 м до 540 м отмечается рост горизонтальных напряжений – с 4 до 8,5 МПа.

По результатам натурного определения напряжений проведено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород Сарбайского карьера по модифицированной схеме полуаналитического метода конечных элементов, позволяющей на основе разложения искомого вектора смещений в ряд Фурье свести трехмерную задачу к совокупности двумерных [5].

Формирование физико-геологической модели массива горных пород проводилось по данным 35 геологических разрезов. Она отражает основные особенности геологического строения массива: типы пород и их расположение в пространстве, наличие геологических нарушений различного типа. Каждый расчетный конечно-элементный разрез состоит примерно из 30000 узлов и 60000 треугольных элементов (рисунок 3).

Результаты расчета вертикального, горизонтального и касательного напряжений для разреза 15 (рисунок 4а, б, в) показали, что зона концентрации горизонтальных напряжений на всех рассматриваемых разрезах находится под днищем карьера. При этом коэффициент концентрации горизонтальных напряжений может достигать 2-х кратной величины по сравнению с окружающим массивом. Так в плоскости геологического разреза № 15 максимум горизонтальных напряжений под днищем карьера равен $9,5 \div 10$ МПа, при их величине на той же глубине в окружающем массиве – $4 \div 4,5$ МПа (рис. 4, б).

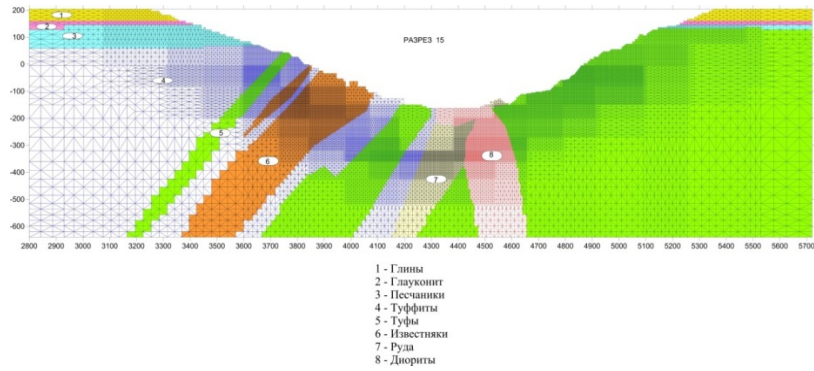


Рис. 3. Физико-геологическая модель породного массива (разрез 15)

По результатам моделирования максимальные величины касательных напряжений фиксируются в нижней приконтурной части бортов карьера на расстоянии 100–150 м от дна карьера. При этом максимум касательных напряжений, равный 2,8 МПа зафиксирован в западном борту карьера по разрезу 15 (рис. 4, в).

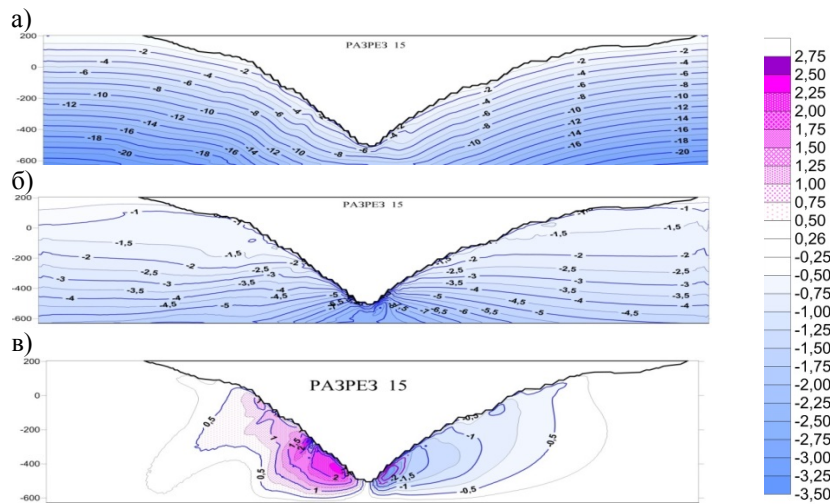


Рис. 4. Распределение вертикальных (а), горизонтальных (б) и касательных (в) напряжений в плоскости геологического разреза № 15

Места локализации максимумов касательных напряжений в бортах карьера являются потенциально наиболее опасными, с точки зрения обеспечения устойчивости откосов отдельных уступов.

Для данных условий была проведена оценка распределения критериального параметра (критерий Кулона-Мора) по разрезу 15. Установлено, что на данном разрезе в обоих бортах карьера верхний слой рыхлых пород мощностью 100–120 м находится за пределом прочности даже без учета коэффициента структурного ослабления (Рисунок 5).

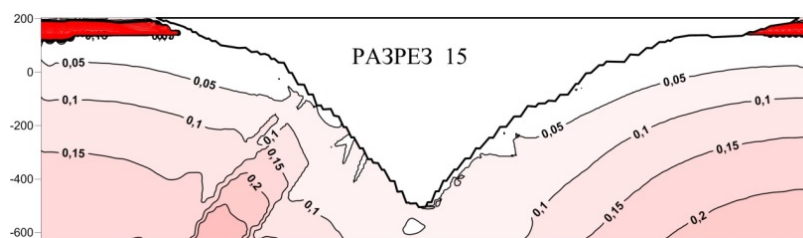


Рис. 5. Распределение критериального параметра по разрезу 15

Такое состояние пород верхнего слоя пород характерно и для остальных рассматриваемых геологических разрезов. Положение наиболее напряженной поверхности скольжения в откосе определялось расчетом, основанным на сопоставлении удерживающих и сдвигающих усилий, возникающих по потенциальным поверхностям скольжения под действием сил веса вышележащих пород и сопротивления их срезу (сдвигу). Для расчетов устойчивости бортов карьера строилось семейство кругло-цилиндрических поверхностей скольжения с целью локализации наиболее слабой из них.

Прогнозный расчет коэффициента запаса устойчивости бортов карьера по наиболее характерным сечениям показал, что в целом, оба борта карьера являются устойчивыми, при этом коэффициенты устойчивости варьируются в достаточно широких пределах – от 1,15 до 3,10.

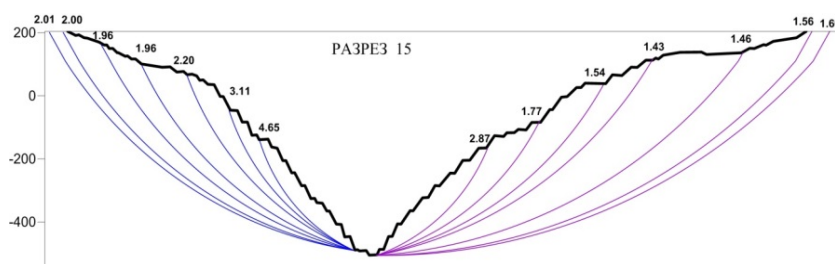


Рис. 6. Результаты расчета коэффициента запаса устойчивости Сарбайского карьера по геологическим разрезам 15

Минимальный коэффициент запаса устойчивости, равный 1,14, зафиксирован в восточном борту карьера по разрезу 10. Максимальные значения коэффициентов запаса устойчивости приурочены к западному борту карьера. В целом, несмотря на то, что восточный борт карьера более пологий, он является менее устойчивым. Это обусловлено наличием поверхностей ослабления ориентированных параллельно откосам уступов, которые обуславливают снижение сцепления скальных пород.

Литература

1. Асанов В.А., Токсаров В.Н., Евсеев А.В., Бельтюков Н.Л. Опыт изучения акустоэмиссионных эффектов памяти в соляных породах с использованием скважинного гидродомкрата Гудмана // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М., МГГУ. – №10.
2. Асанов В.А., Токсаров В.Н., Бельтюков Н.Л. Скважинный метод контроля напряжений в соляном массиве // Научные исследования и инновации: Научный журнал, 2011. – Т. 5. – № 4. – С. 53-55.
3. Лавров А.В., Шкуратник В.Л., Филимонов Ю.Л. Акустоэмиссионный эффект памяти в горных породах. – М., МГГУ, 2004.
4. В.Н. Токсаров, Л.С. Шамганова, Н.Л. Бельтюков, А.А. Ударцев. Использование акустического эффекта памяти для оценки напряженного состояния трещиноватых скальных пород / Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук, № 2, 2015.
5. Барях А.А., Константинова С.А., Асанов В.А. Деформирование соляных пород. – Екатеринбург, 1996.

МОДЕЛЬ NTNU: ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Аверин Е.А.

ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный завод», Тула

В докладе описана история развития модели NTNU (Норвежского технологического университета) для прогнозирования эффективности ведения тоннелепроходческих работ при помощи щитовых проходческих комплексов. Также рассмотрены особенности ее применения.

Ключевые слова: строительство тоннелей, горнопроходческие работы, комплексная модель, история горного дела

В основе рассматриваемой модели эмпирические данные с 35 (тридцати пяти) проектов по строительству тоннелей, в основном в Норвегии, общей протяженностью более 250 км. Модель позволяет определять значение скорости проходки, срок службы породоразрушающего инструмента, удельную стоимость и производительность тоннелепроходческих работ [1].

В качестве входных параметров для определения скорости проходки в модели используются трещиноватость, частота и ориентация геологических нарушений, коэффициент буримости *DRI*, пористость, среднее напорное усилие на забой, шаг резания, диаметр шарошек. Для определения износа/расход инструмента используются следующие входные параметры коэффициент износостойкости шарошки *CLI*, содержание кварца в %, число шарошек на исполнительном органе, диаметр шарошек, диаметр исполнительного органа, частота вращения исполнительного органа.

Этот метод предназначен для проектирования и расчета эффективности применения тоннелепроходческих машин только открытого типа, которые используются для ведения горнопроходческих работ в устойчивых горных породах [2]. Тоннелепроходческие машины открытого типа предназначены для ведения горнопроходческих работ в устойчивых горно-геологических условиях с небольшим количеством геологических нарушений и незначительным водопритоком.

Развитие модели началось в середине 70-х годов двадцатого века, и первая версия была опубликована в 1976 году [3]. Она позволяла определять теоретическую скорость проходки в м/ч, удельный расход инструмента в денежных единицах на кубометр породы, эксплуатационную

скорость проходки в м/неделя и эксплуатационные затраты на ведение работ в денежных единицах на метр проходки. Коэффициент буримости пород *DRI* использовался для описания не подвергшихся механическому воздействию в ходе ведения работ горных пород. По степени нарушения породы разделялись на три категории: среднее расстояние между трещинами (нарушениями сплошности) ≥ 20 см, ≈ 10 см и ≤ 5 см. Тип и ориентация нарушений не рассматривались. *DRI* и категория нарушения позволяли определить глубину резания (теоретический уровень пенетрации). Параметры, связанные с машиной не рассматривались; при этом предполагалось, что они оптимальные. Затраты на инструмент (и соответственно срок службы инструмента) рассчитывались, основываясь на коэффициенте износа инструмента *BWI* (англ. Bit Wear Index) [4]. Содержание кварца и/или других минералов в породе не рассматривалось. С применением данной модели было произведено сравнение механического и буровзрывного способов проходки тоннелей, которое показало, что с экономической точки зрения механический способ применим для выработок с площадью поперечного сечения ≤ 12 м² в наиболее благоприятных горно-геологических условиях (высокие значения *DRI* и среднее расстояние между нарушениями сплошности/трещинами ≤ 5 см).

Следующий вариант модели был разработан в 1979 году и опубликован в 1981 году [5]. В число входных параметров было добавлено напорное усилие на инструмент, которое соотносилось со степенью нарушения горной породы. Также был введен коэффициент для проверки машины по критерию развиваемого крутящего момента. Больше внимания стало уделяться горно-геологическим условиям. По степени нарушения горные породы теперь разделялись на четыре категории (добавлена категория – не больше 40 см). При расчете затрат на инструмент учитывается диаметр исполнительного органа. Полные затраты на ведение горных работ рассчитывались чуть более детально, чем в первоначальной версии, но в принципе так же.

Следующая модификация вышла в 1983 году [6]. Была введена специальная категория для ненарушенных горных пород. При определении пенетрации учитывался диаметр дисковых шарошек (305-432 мм или 12-17 дюймов). Срок службы дисковых шарошек (356 и 394 мм или 14 и 15,5 дюймов) впервые был оценен с использованием нового показателя – *CLI* (англ. Cutter Life Index). Для него в качестве поправочного фактора использовалась величина процентного содержания кварца в породе, а также скорость вращения и диаметр исполнительного органа. Затраты на ведение горных работ рассчитывались более детально по сравнению с предыдущей версией модели.

В следующей модификации 1988 года [7] модель в дополнение к содержанию кварца стала учитывать также процентное содержание некоторых других минералов в качестве поправочных факторов при расчете срока службы породоразрушающих инструментов. В модель был включен шаг резания. Модель была рассчитана на дисковые шарошки от 356 до 483 мм (14 – 19 дюймов). Поправочный параметр, учитывающий диаметр исполнительного органа при оценке срока службы инструмента, был разделен на два случая: для плоских и куполовидных исполнительных органов. Затраты на ведение горных работ оценивались так же, как и в предыдущей модификации.

Следующая версия вышла в 1994 году [8]. Влияние свойств горных пород на величину пенетрации было обобщено эквивалентным коэффициентом (учитывалась, в том числе, пористость, если она превышала 2% от всего объема породы), а влияние параметров машины было обобщено эквивалентным напорным усилием. Оценка срока службы инструмента производилась при помощи *CLI*, а поправка осуществлялась только на процентное содержание кварца. Для расчета времени эксплуатации машины временные затраты на вспомогательные операции определялись как функция от величины пенетрации. Существенных изменений в оценке затрат на ведение горных работ не было.

Модель 1998 года [9] используется в настоящее время. По сути, она является обобщением предыдущих работ с небольшими дополнениями и уточнениями, а также актуализацией с учетом современного уровня техники.

Модель построена на эмпирических данных, полученных при ведении горных работ в нижеуказанных горно-геологических условиях, а потому в них применимых [10]:

- крепость горных пород, выраженная коэффициентом буримости *DRI* (англ. *Drilling Rate Index*), находится в пределах значений данной величины от 20 до 80, что примерно соответствует значениям предела прочности на сжатие от 350 до 25 МПа.
- объем пор не превышает 10 % от общего объема породы.
- среднее расстояние между трещинами не меньше 50 мм.
- характер разрушения горных пород – хрупкий.
- устойчивость вмещающих пород позволяет обходиться анкерным креплением и креплением набрызг-бетоном.

Для этих условий выбор тоннелепроходческой машины открытого типа является нормальным и, как правило, наилучшим вариантом. Однако в случае наличия водопритока, а также проявлений напряженности вмещающих горных пород, модель может быть применена только частично и/или с поправками на данные явления (например, учитывать время крепления при определении эксплуатационной производительности).

В настоящее время наблюдается задержка в развитии более мощных и производительных машин для ведения тоннелепроходческих работ по крепким породам. Одной из наиболее серьезных причин этому является достижение предела выдерживаемых породоразрушающим инструментом нагрузок на данном этапе их развития. Высокопроизводительные машины, как правило, спроектированы с расчетом на средние нагрузки при резании до 330 кН/инструмент. Однако, например, для 19-дюймовых (483 мм) дисковых шарошек максимальное напорное усилие, которое они способны выдерживать составляет примерно 260-280 кН/инструмент.

При этом потенциал увеличения производительности при небольших улучшениях качества режущих дисков дисковых шарошек является значительным: повышение на 15 % воспринимаемой инструментом нагрузки способно привести к увеличению скорости проходки на 50 % за счет увеличения глубины резания на каждом обороте исполнительного органа при повышении скорости его вращения. К тому же возможно расширение области применения тоннелепроходческих машин на более крепкие породы.

Еще одним важным направлением повышения эксплуатационной производительности является уменьшение времени на замену изношенных инструментов. Примерное время замены одной 19-дюймовой (483 мм) дисковой шарошки составляет примерно 60 минут (включая обследование) [11]. В настоящее время наблюдение за состоянием инструментов в режиме реального времени происходит, в основном, только косвенно – по нагруженности исполнительного органа. То есть оценка состояния каждого конкретного инструмента невозможна.

Литература

1. Bruland, A., 2000. Hard rock tunnel boring, PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology Department of Building and Construction Engineering, Vol. 10.
2. Bilgin N., Copur H., Balci C. Mechanical excavation in mining and civil industries. CRC Press. 2013. 353 с.
3. NTH-Anleggsdrift & NTH Geologi (1976): Project Report 1-76 Hard Rock Tunnel Boring, Trondheim. (на норвежском языке).
4. Bruland, A., 2000. Hard rock tunnel boring, PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology Department of Building and Construction Engineering, Vol. 8.
5. NTH-Anleggsdrift & NTH-Geologi (1981): Project Report 1-79 Hard Rock Tunnel Boring, Trondheim. (на норвежском языке).
6. NTH-Anleggsdrift (1983): Project Report 1-83 Hard Rock Tunnel Boring, Trondheim.

7. NTH-Anleggsdrift (1988): Project Report 1-88 Hard Rock Tunnel Boring, Trondheim.
8. NTH-Anleggsdrift (1994): Project Report 1-94 Hard Rock Tunnel Boring, Trondheim.
9. Bruland, A., 2000. Hard rock tunnel boring, PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology Department of Building and Construction Engineering, Vol. 3.
10. Bruland, A., 2000. Hard rock tunnel boring, PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology Department of Building and Construction Engineering, Vol. 1.
11. Bruland, A., 2000. Hard rock tunnel boring, PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology Department of Building and Construction Engineering, Vol. 9.

АКТИВИЗАЦИЯ МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА МЕЖДУ ВУЗАМИ ОТКРЫВАЕТ НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ

Нурпеисова М.Б.

*Казахский национальный исследовательский технический
университет (КазННТУ) имени К.И.Сатпаева. г.Алматы,
Республика Казахстан*

Одной из основных задач развития Республики Казахстан на современном этапе является подготовка квалифицированных кадров и создание наукоемкой экономики. В этой связи усиливается роль инноваций, призванных увеличить производительность и эффективность приоритетных секторов экономики, в числе которых горно-металлургическая отрасль традиционно занимает лидирующие позиции.

В этой связи принятая Государственная программа индустриально-инновационного развития (ГПИИР) Республики Казахстан на 2015-2019 годы учитывает подготовку необходимого количества кадров с высоким уровнем знаний и навыками, востребованными ключевыми работодателями в горнодобывающих отраслях. Основной целью программы является стимулирование повышения конкурентоспособности нашей отрасли.

Для удовлетворения потребностей в кадрах ГПИИР в первом исследовательском вузе РК – КазННТУ имени К.И.Сатпаева производится обучение высококвалифицированных кадров по специально разработанным программам за счет грантового финансирования.

В рамках реализации образовательной программы ГПИИР ведется продуктивное сотрудничество со многими зарубежными вузами, НИИ и отечественными горнодобывающими предприятиями. Были заключены

меморандумы и договора, где стороны договаривались проводить совместные научные проекты, содействовать созданию необходимых условий по обеспечению стажировки преподавателей и магистрантов, руководство PhD докторантами, обеспечивать проведение совместных научных конференций.

Ведется активное взаимодействие с:

- Leica Geosystems (**Швейцария**).
- Берлинским университетом прикладных наук (**Германия**) [QS-189];
- ИПКОН РАН (**Россия**); Китайским горнотехническим университетом Пекин (**Китай**) [QS-55];
- Уральским государственным горным университетом (**Россия**) [QS-358];
- Московским государственным университетом геодезии и картографии (МИИГАиК) (**Россия**) [QS-291];
- Leica Geosystems (**Швейцария**).

Кафедра Маркшейдерского дела и геодезии – одна из старейших в КазННТУ.

Она появилась в числе первых девяти кафедр КазГМИ, созданного постановлением Совета народных комиссаров в 1934 году. На заведование кафедрой был приглашен молодой ученый МГИ, профессор П.А. Рыжов. Благодаря огромной энергии и настойчивости профессора П.А. Рыжова, впервые в КазГМИ в 1939 г. была открыта аспирантура, в которой началась подготовка кадров высшей квалификации. Первым аспирантом кафедры и института стал А.Ж. Машанов, который стал впоследствии ученым и мыслителем мирового уровня. 100-летие со дня рождения академика НАН РК в 2006 году отмечалось под патронажем ЮНЕСКО. С именем профессора П.А. Рыжова связано создание и становление научной школы маркшейдерии в Казахстане. Заслуга этой школы состоит в налаживании подготовки специалистов в области геодезии и картографии, ведь маркшейдерия – одно из важных направлений прикладной геодезии.

В настоящее время кафедра осуществляет подготовку по программам бакалавриата, магистратуры и докторантуры по специальностям маркшейдерское дело, геодезия и картография. Кафедра оснащена современным маркшейдерско-геодезическими приборами и инструментами, программными продуктами.

Для подготовки маркшейдеров и геодезистов кафедра располагает учебной лабораторией «Научно-исследовательская лаборатория инновационных геопространственных технологий в геодезии, картографии и маркшейдерии», созданной компанией «Leica Geosystems» (рис. 1).



Рис.1. Занятия с магистрантами в НИЛ инновационных геопространственных технологий в геодезии, картографии и маркшейдерии

Цель открытия лаборатории – интеграция научной, образовательной и инновационной деятельности в области геопространственных технологий и реализация совместных видов деятельности, направленных на улучшение подготовки специалистов.

Наличие на кафедре учебных и научных лабораторий, оснащенных современным оборудованием, позволяет в настоящее время вести подготовку специалистов горного и маркшейдерско-гедезического профиля на качественно новом уровне. Имеющаяся материально-техническая база позволяет оптимально решать актуальные задачи, стоящие перед горно-металлургической наукой и производством.

В соответствии с договорами между КазНТУ и Техническим университетом им. Агриколы (Германия, Бохум) и Китайским горно-техническим университетом в Пекине магистранты прошли обучение в рамках программы международной мобильности (рис.2).



Рис.2-Стажировка магистрантов в Германии и в Китае

Результатом тесных творческих международных связей являются широкое участие профессорско-преподавательского состава университета в Международных научных конференциях, симпозиумах, выезд за рубеж на стажировку (рис.3).



Рис.3. Участие делегации Казахстана в «Неделя Горняка-2017»

На протяжении нескольких лет подряд я являюсь активным участником этих программ, уже посетила немало как российских (МИСиС, ИПКОН) так и зарубежных профильных вузов (КНР, Германия, Турция) где познакомилась с уникальными, интересными людьми — настоящими профессионалами. Один из них – В.Н.Захаров, директор ИПКОН РАН. В рамках «Неделя горняка-2017», обсуждали с ним поведение международной конференции, посвященной к 110-летию со дня рождения академика А.Ж.Машанова, у нас родилась идея издать его монографию в Москве. В.Н.Захаров поддержал данную идею и ИПКОН принял активное участие в проведении этого значимого события в Казахстане. ИПКОН РАН ежегодно проводит международную конференцию «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых», в которой принимают активное участие наши докторанты и магистранты. Результаты их работ публикуются в сборниках научных трудов конференции. За это большое спасибо!

В соответствии с договором между КазНТУ и ИПКОН РАН магистранты маркшейдерской специальности ежегодно проходят стажировку в ИПКОНе и самое главное, ученые ИПКОНа примут участие в проведении научного проекта на 2018-2020 гг (рис.4).

Подписан также договор о сотрудничестве между КазНТУ и Китайским горно-техническим университетом(Пекин) в рамках реализации ГПИИР. В 2016 г. прошла стажировку в Китае по образовательной программе «Инновационные технологии мониторинга состояния земной



Рис. 4. Встреча с учеными КазНИТУи подписание договора о сотрудничестве

поверхности и объектов». Основная цель мероприятия по задумке организаторов — собрать в одном месте специалистов производственных организаций, разработчиков технологий и представителей учебных заведений. Важно было рассказать тем, кто занимается образованием, и тем, кто предлагает новые технологии, о реальных нуждах отрасли, о задачах и трудностях, с которыми сталкиваются инженеры-маркшейдеры ежедневно.

Сегодня коллектив кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» нацелен на выполнение новых задач по выпуску из вуза специалистов, в полной мере отвечающих требованиям сегодняшнего дня, способных вывести нашу республику в число передовых конкурентоспособных стран мира. Задачи ГПИИР нам, сотрудникам КазНИТУ– самого первого в РК научно-образовательного и исследовательского университета вполне по плечу.

ОПАСНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В РАЙОНЕ ЧЕРНОВСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

Цыренов Т.Г.

Забайкальский государственный университет, Чита

Черновское буроеугольное месторождение находится на северо-западной окраине города Чита (Забайкальский край). Освоение месторождения датируется 1890-м годом, хотя стабильные горные работы начаты только с 1907 года. До 1930 года добыча угля производилась только открытым способом, позже стали применяться шахтные способы добычи. На сегодняшний день все промышленные пласты практически отработаны.

В связи с тем, что на протяжении всего времени добычи углей никаких мер по защите экосистемы Черновского буроеугольного бассейна не производилось, на территории месторождения стали происходить опасные инженерно-геологические процессы, а именно: образование мульд сдвижения и воронок в результате оседания и обрушения земной поверхности над отработанными шахтными полями; заболачивание в результате нарушения подземного гидрологического режима; пучение грунтов при деградации многолетнемерзлых горных пород; подземные пожары, вызванные самовозгоранием под воздействием, как антропогенных, так и природных факторов; образование «Bad land» («дурных земель») - сухого рельефа с глиняными почвами, состоящего из сети холмов с узкими гребнями, пересеченных оврагами [2].

Кроме того, на прилегающих к Черновскому буроеугольному бассейну территориях наблюдаются деформации и просадки линейных сооружений такого рода как железные дороги и автомобильные трассы. Данные явления связаны с изменением температурного режима грунтов, перекрывающих угольные пласты. Температурный фактор приводит к уменьшению площади многолетнемерзлых грунтов, что на поверхности отображается в виде характерных волн на различных участках автомобильных трасс и железных дорог.

Особенно опасными оказались подземные возгорания, приведшие к изменению состава и загрязнению атмосферы городского массива, преобразованию исходно химически связанных и инертных F, Cl, S и N в токсичные и химически агрессивные соединения, проседанию грунтов и развиту сети трещин и провалов, разрушающих инженерные сооружения.

Проведенные нами замеры скорости роста трещин и провальных воронок на территории шахты Восточная, свидетельствуют о катастрофичности процессов, особенно ускорившихся в последнее время.

Оценка степени экологической опасности этих процессов – первоочередная задача природоохранных организаций города Чита, однако, никаких мер по приостановлению динамики развития провалов в пределах Черновского месторождения на сегодняшний день не принято. В настоящее время принято единственное решение - дать процессам самовозгорания углей завершиться самостоятельно и ограничить доступ людей к данным аварийным участкам.

Однако существует комплекс мер, направленных на устранение, либо ослабление возможных факторов возникновения самовозгорания углей. Среди профилактических мер - применение пожаробезопасных способов вскрытия и систем разработки месторождений, например, полная закладка выработанного пространства с целью уменьшения притока воздуха. Другой профилактической мерой является применение заиливания выработанных пространств и тщательный режимный контроль над составом и температурой воздуха в действующих горных выработках, а также контроль над составом шахтных вод.

Кроме того, необходимо было тщательно относиться к складированию и хранению углей и отходов добычи. На складах, с целью профилактики, уголь необходимо укладывать штабелями на негорючее основание, сокращать сроки хранения углей, послойно укладывать штабели с уплотнением каждого слоя отдельно, ограничивать их высоту и производить их изоляцию от воздуха, а также тщательно следить за температурным режимом. В течении зимы штабели углей укладывать на ледяную подушку, сохраняя в ней низкие температуры [1].

Если самовозгорание углей все-таки произошло, то для ликвидации очагов самовозгорания необходимо данный участок извлечь из штабеля, затем потушить и охладить на отдельной площадке.

Возможно, что на этапе разведки и доразведки месторождения недостаточно тщательно изучены геологические и инженерно-геологические условия на предмет возможности появления опасных инженерно-геологических явлений. Заранее зная о возможности самовозгорания, можно было предпринять профилактические меры на этапе проектирования, например, уменьшить высоту и угол откоса, тем самым ощутимо обезопасив участки добычи от тех явлений, что происходят в настоящее время.

Литература

1. Потапов С.С., Максимович Н.Г. К минералогии горелых отвалов Кизеловского угольного бассейна (Пермский край) // Седьмые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В.О. Полякова. Миасс, 2006. С. 56-67.

2. Филенко Р.А. Древние и современные подземные пожары на Черновском бурогольном месторождении // Молодёжь и наука Забайкалья: Материалы II молодеж. Науч. Конф., Чита, 17-20 мая 2011 г. Чита, 2011. С. 18-22.

ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ И РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

ЭКСПРЕССНОЕ УТОЧНЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЗРЫВОВ НА КАРЬЕРАХ

Жариков С.Н., Кутуев В.А., Шеменев В.Г.

Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург

В статье приведены сведения о способах изучения прочностных характеристик горных пород в естественном залегании для определения рациональных параметров буровзрывных работ. Показано, что уточнение свойств горных пород при производстве буровзрывных работ имеет большую научно-практическую значимость. Приведены результаты исследования взаимосвязей между процессами шарошечного бурения и взрывного разрушения горных пород. Показано, что учёт параметров процесса бурения технологических скважин позволяет моделировать изменение прочностных характеристик горных пород в выемочных блоках и уточнять параметры скважинных зарядов ВВ.

Ключевые слова: *физико-механические свойства горных пород, шарошечное бурение, буровзрывные работы, взрыв, параметры буровзрывных работ.*

Буровзрывные работы на карьерах в значительной мере определяют себестоимость добычи полезных ископаемых. При этом качество взрывной подготовки горной массы к выемке существенным образом зависит от правильного выбора параметров буровзрывных работ в соответствии со свойствами пород в границах выемочного блока [1]. В этой связи большую научно-практическую значимость имеют исследования, связанные с разработкой способов экспрессного исследования свойств грунтов.

В настоящее время свойства массива горных пород можно уточнять с применением физических полей [2], или на основе данных о трудности бурения взрывных скважин [3 – 5].

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение свойств горных пород с применением физических полей [2] основано на исследовании процесса распространения искусственно вызываемых упругих колебаний. В качестве основных источников информации являются параметры распространения в массиве ис-

кусственно вызываемых волн. В [2] рассматриваются сейсмические волны. Скорость прохождения продольных волн по массиву горных пород позволяет оценить пространственное распределение их прочностных характеристик на глубину до 15 – 20 м от свободной поверхности. Область применения указанного метода – локальные горные массивы, на карьерах, подготавливаемые к разрушению буровзрывным способом. Глубина исследований локального горного массива составляет 20 метров.

Применение метода сейсмометрии позволяет уточнить свойства пород и зоны техногенной нарушенности от предыдущих взрывов. Недостатком метода является то, что он не даёт количественной характеристики трещиноватости горных пород. Поэтому указанный метод целесообразно применять совместно с другими методами определения свойств горных массивов при проектировании взрывов. Совершенствование метода заключается в уточнении зависимостей между скоростью прохождения сейсмических волн и физико-механическими свойствами горных пород. Что важно не только для уточнения расхода материальных ресурсов, но и обеспечения безопасности при выборе направлений развития горных работ [6].

Наиболее точно свойства горных пород характеризуются трудностью и энергоёмкостью бурения технологических скважин [3 – 5]. Однако если буримость и крепость пород по хронометражу бурения может быть определена достаточно точно, то взрываемость [7] без учёта среднего размера отдельности в массиве не может быть определена. В данном случае различия между трещинной структурой пород в забое скважины и в отбиваемом скважиной объёме имеют принципиальное значение. Если по данным бурения нельзя установить, какое количество ВВ заложить в скважины, то такая информация, в значительной мере, теряет свою ценность, т.к. расход ВВ не может быть изменён. Этим и обусловлено то, что при производстве БВР параметры процесса бурения скважин не измеряются и не учитываются при корректировочных расчётах.

С другой стороны, следует обратить внимание на формулы Ржевского В.В. [8, 9] по расчёту эталонного удельного расхода ВВ и показателя трудности бурения в зависимости от физико-механических свойств горных пород.

$$q_{\text{э}} = k(\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{сд}} + \sigma_{\text{р}} + 10\gamma) \quad (1)$$

$$P_{\text{б}} = 0,07(\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{сд}} + 10\gamma) \quad (2)$$

Получается, что показатель буримости и эталонный удельный расход ВВ связаны через физико-механические свойства горных пород. Следовательно, эталонный расход ВВ можно выразить с учётом показателя трудности бурения:

$$q_{\text{э}} = k \left(\frac{P_{\text{б}}}{0,07} + \sigma_{\text{р}} \right) \quad (3)$$

Анализ формул Ржевского В.В. подтверждает то, что разрушение горных пород при бурении и взрывании имеет связь. При этом эталонный расход ВВ находится в зависимости от показателя трудности бурения. Из практики известно, что показатель трудности бурения Ржевского В.В. связан с коэффициентом крепости Протодяконова М.М. ($P_{\text{б}} \approx 0,95 f$). Следовательно, если по данным технологического бурения моделировать крепость горных пород, то на основе этих результатов вполне можно определять (уточнять) параметры буровзрывных работ (БВР). Показатель трудности бурения ($P_{\text{б}}$) связан с параметрами процесса шарошечного бурения следующим образом [5]:

$$P_{\text{б}} = \left(\frac{P_{\text{о}} n^{0,8}}{v_{\text{т}} D} \right)^{0,625} \quad (4)$$

где $P_{\text{о}}$ – осевое усилие, кН; n – частота вращения, мин⁻¹; $v_{\text{т}}$ – техническая скорость бурения, м/ч; D – диаметр долота, см.

На рисунке 1 представлена схема построения цифровой модели крепости горных пород на основе данных хронометража бурения.

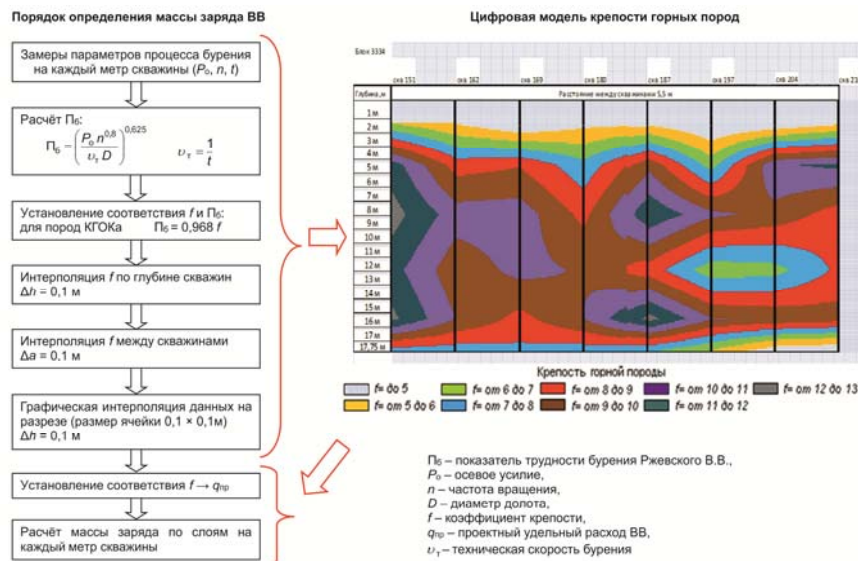


Рис. 1. Схема построения цифровой модели крепости горных пород

На основании полученных результатов разработана методика определения величины удельного расхода ВВ по данным бурения технологических скважин, которая позволяет строить модели изменения крепости пород по высоте уступа, определять пропорциональность между энергетическими характеристиками процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения массива горных пород, а также уточнять массу зарядов ВВ по каждой скважине выемочного блока. Указанный подход позволяет с наибольшей эффективностью применять разработки в области конструкций зарядов, а также обеспечивать рациональные параметры БВР при подпоре блока и при совершенствовании вооружения шарошечных долот [7]. Представленная на рисунке 1 модель позволяет разбить взрываемый блок на ячейки и для каждой ячейки установить необходимый удельный расход ВВ, а в последствии скорректировать его значение по слоям уступа. Схема определения удельного расхода ВВ по данным указанной на рисунке 1 модели представлена на рисунке 2.

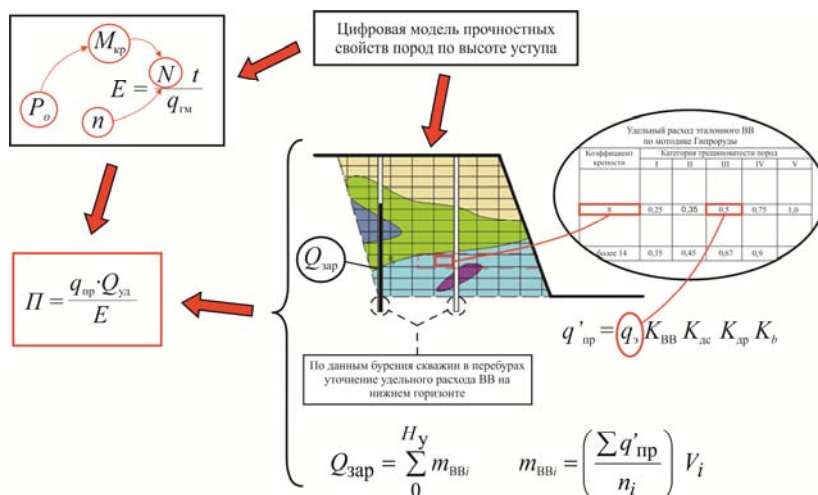


Рис. 2. Схема определения удельного расхода ВВ на основании модели изменения крепости пород по высоте уступа:

$Q_{зар}$ – вес заряда в скважине, $m_{ВВi}$ – масса ВВ на слой, n_i – число элементов слоя, V_i – объём слоя, N – мощность двигателя вращателя, $M_{кр}$ – момент вращения долота, n – частота вращения долота, t – среднее время бурения 1 м, P_o – осевое усилие, $Q_{уд}$ – удельная теплота взрыва, $q_{пр}$ – проектный удельный расход ВВ по методике Гипроруды, $q_{зм}$ – выход горной массы с 1 м скважины, E – энергия на обустройство 1 м³ горной породы, Π – коэффициент пропорциональности между энергиями на обустройство и взрывное разрушение

$$N = 2\pi 10^{-3} M_{\text{кр}} n \eta^{-1} \quad (5)$$

где $M_{\text{кр}}$ – момент вращения долота, Н·м; n – частота вращения, с⁻¹; η – КПД трансмиссии вращателя.

$$M_{\text{кр}} = 2,84 \cdot 10^{-3} k_1 D (0,22 P_o)^m \quad (6)$$

где k_1 – эмпирический коэффициент, зависящий от крепости породы [10]; D – диаметр долота, мм; P_o – осевое усилие, кН; m – показатель качества очистки скважины (1,25 – для очень хорошей, 1,5 – для удовлетворительной, 1,75 – для плохой).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ИГД УрО РАН разработан способ экспрессного исследования свойств грунтов, который заключается в моделировании крепости горных пород на основе данных получаемых в процессе бурения технологических скважин. Получаемая модель служит основой для уточнения параметров зарядов в скважинах выемочного блока. С применением моделирования крепости горных пород по трудности и энергоёмкости бурения, возможно, уточнять трещиноватость массива, что особенно важно при выборе рациональной схемы инициирования [11] зарядов ВВ.

Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-01398-17-00 и по конкурсному проекту № 15-11-57.

Литература

1. Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Викторов С.Д. и др. Взрывное разрушение массивов горных пород при освоении недр // Проблемы недропользования. 2014. № 3. С. 80 – 95.
2. Воронцов И.В. Многоволновая сейсмометрия при решении горно-геологических задач. Екатеринбург: Изд. УрО РАН, 1998. 112 с.
3. Тангаев И.А. Буримость и взрываемость горных пород. М.: «Недра», 1978. 184 с.
4. Тангаев И.А. Энергоёмкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. М.: Недра, 1986. 231 с.
5. Жариков С.Н. Взаимосвязь удельных энергетических характеристик процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения массива горных пород: дисс. ... канд. техн. наук / ИГД УрО РАН. Екатеринбург, 2011. 139 с.
6. Жариков С.Н., Шеменев В.Г., Кутуев В.А. Способы уточнения свойств горных пород при производстве буровзрывных работ // Устойчивое развитие горных территорий. 2017. Т. 9. № 1. С. 74-80.
7. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Лапиков И.Н., Шляпин А.В. Зона нерегулируемого дробления горных пород в карьерах // Устойчивое развитие горных территорий. Международный научный журнал. 2016. № 1. С. 81 – 85.

8. Жариков С.Н. Определение крепости горных пород по параметрам шарошечного бурения технологических скважин в карьерах // Горный журнал. 2010. № 7. С. 50 – 51.

9. Корнилов С.В., Стенин Ю.В., Стариков А.Д. Расчёт параметров буровзрывных работ при скважинной отбойке на карьерах [Текст]: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1997. 112 с.

10. Трубецкой К.Н. и др. Открытые горные работы [Текст]: справочник М.: Горное бюро, 1994. 590 с.

11. Жариков С.Н., Кутуев В.А. Схемы буровзрывной подготовки горной массы к выемке, обеспечивающие высокопроизводительную работу циклического звена циклично-поточной технологии//Горный вестник Узбекистана. 2016. № 4 (67). С. 42-45.

МНОГОФАЗНАЯ И МНОГОЗОННАЯ ТЕОРИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ДРОБЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ

Казаков Н.Н., Шляпин А.В., Лапиков И.Н.

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

Буровзрывные работы широко применяются при открытой и подземной разработке месторождений полезных ископаемых. Большой вклад в развитие теории и в совершенствование технологии дробления горных пород взрывом, внесли: Н.В. Мельников, Г.П. Демидюк, К.Н. Трубецкой, Д.М. Бронников, В.В. Адушкин, С.Д. Викторов, Н.Н. Казаков, А.В. Шляпин, И.Н. Лапиков, В.М. Закалинский, И.Ф. Жариков, Б.Н. Кутузов, Е.И. Шемякин, Л.И. Барон, Б.Р. Ракишев, В.А. Белин, Г.П. Парамонов, С.В. Лукичев, А.А. Еременко и другие [1-8].

Технологическое дробление горных пород взрывом – это дробление заданного объема горного массива взрывом группы промышленных зарядов до крупности, приемлемой с технологической точки зрения [6].

В развитии процесса разрушения горных пород взрывом переплетаются труднейшие нерешенные проблемы физики твердого тела, механики материалов, особенностей многообразных технологических способов дробления пород, и прикладного материаловедения.

Из существующих представлений выделим две гипотезы. Первая гипотеза предполагает, что энергия взрыва передается в породный массив в виде волны напряжений. По параметрам волны напряжений, по их величине, или по интенсивности изменения этих параметров при распространении волны по массиву, можно определить конечные результаты взрыва, в том числе и крупность дробления горных породы взрывом.

В рамках этой гипотезы дробление пород взрывом рассматривается как однозонный и однофазный процесс.

Выполнено очень много теоретических и экспериментальных работ, опирающихся на эту гипотезу. Но решение прикладных задач дробления горных пород взрывом в горном производстве с использованием этой гипотезы трудно достижимо, так как в ней не учитывается реальное строение сложного горного массива и важнейшие технологические параметры ведения буровзрывных работ в горной промышленности.

В практике горных работ чаще используется вторая, эмпирическая гипотеза. По известным начальным условиям взрывания, и известным конечным результатам взрыва устанавливаются эмпирические зависимости, которые используются и при исследовании процессов технологического дробления горных пород, и при проектировании буровзрывных работ [8].

Эмпирические зависимости, полученные таким путем, имеют узкую область использования. При изменении условий взрывания, и даже при изменении параметров взрывных работ, эти зависимости необходимо уточнять экспериментальным путем.

По инициативе члена корреспондента Академии наук СССР Дмитрия Михайловича Бронникова, под его непосредственным руководством на первых этапах, а в последующем под руководством д. т. н. Казакова Н.Н. с его активным участием, и с участием его учеников: Копылова С.В., Щяпина А.В., Лапикова И.Н., вместо не оправдавшей себя однофазной и однозонной теории разрушения горных пород цилиндрической волной напряжений, разработана принципиально новая «Многофазная и многозонная теория технологического дробления горных пород взрывом».

Для примера, самый простой взрыв одиночного вертикального заряда в карьере распадается на 12 зон. В каждой зоне развивается редко одна, а чаще две фазы процесса, табл. 1.

Количество условно выделяемых по этой гипотезе зон и фаз процесса развития взрыва зависит от многих факторов: от формы и количества зарядов, от положения зарядов в массиве, от наличия и положения обнаженных поверхностей, от последовательности взрывания зарядов. В каждой фазе используются индивидуальные модели развития процесса, индивидуальные математические зависимости, индивидуальные условия сопряжения и наложения фаз процесса развития взрыва.

Таблица 1 – Зоны и фазы дробления породы взрывом заряда в карьере

№	Зоны действия взрыва 1 заряда	Фазы действия взрыва одного заряда в карьере		
		Камуфлетная	Волновая	Квазистатическая
1	Средняя зона	Камуфлетная фаза в средней зоне	Волновая фаза в средней зоне	Квазистатическая фаза в средней зоне
2	Верхняя зона	Камуфлетная фаза в верхней зоне	Волновая фаза в верхней зоне	Квазистатическая фаза в верхней зоне
3	Нижняя зона	Камуфлетная фаза в нижней зоне	Волновая фаза в нижней зоне	Квазистатическая фаза в нижней зоне
4	Зоны нерегулируемого дробления	Камуфлетная фаза в зонах нерегулируемого дробления	Волновая фаза в зонах нерегулируемого дробления	Квазистатическая фаза в зонах нерегулируемого дробления

Авторами теории разработаны физические модели фаз процесса, аналитическими зависимостями этапов развития, составлены компьютерные программы, выполнены расчеты [1-6]. Главные этапы описания процесса.

1. Энергия заряда распределяется между фазами процесса.
2. Энергия фаз процесса распределяется между частями зон ее действия (при наличии таких различий).
3. Из энергии, переданной в зону действия фазы, или в часть фазовой зоны, выделяется энергия разрушения.
4. Затем, осуществляется распределение энергии разрушения по объему зоны, или по объему части зоны.
5. Выполняется условное разделение зоны действия фазы на расчетные объемы.
6. Определяется энергия разрушения и плотность энергии разрушения в каждом расчетном объеме.
7. Определяется линейный размер кусков раздробленной породы в каждом расчетном объеме.
8. Формируется грансостав при взрыве одиночного заряда, и при взрыве группы зарядов.

Будущее за этой теорией, как бы ни труден был путь ее реализации.

Литература

1. Казаков Н.Н. Фазы процесса и зоны их действия при взрыве скважинных зарядов в карьере. Материалы международной конференции «Развитие идей Д.М. Бронникова в области разработки рудных месторождений на больших глубинах. М., 2013, С.27-32.
2. Казаков Н.Н. Взрывная отбойка руд скважинными зарядами. – М.: Недра, 1975. – 185 с.
3. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. О распределении энергии взрыва в породе // Взрывное дело: Сб. научных трудов Горного информационно-аналитического бюллетеня, ОВ №7. – М.: Мир горной книги, 2007. – С. 234-237.
4. Лапиков И.Н., Шляпин А.В. Расчетный метод определения крупности дробления горных пород взрывом // Взрывное дело. Выпуск № 104/61. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2010. – С.113-121.
5. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В., Лапиков И.Н. Геометрические параметры камуфлетной зоны при взрыве скважинного заряда в карьере. Сборник «Взрывное дело» Выпуск № 108/65. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2012. – С.8-15.
6. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Достижения и проблемы взрывных работ на горных предприятиях. // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск №1. – М.: Мир горной книги, 2017. – С.111-125.
7. Адушкин В.В. Модельные исследования разрушения горных пород взрывом. «Физические проблемы взрывного разрушения массивов горных пород». – М.: ИПКОН РАН, 1999. – С.18-29.
8. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Часть 2 Взрывные работы в горном деле и промышленности. – М.: Горная книга, 2011, с.511.

К ВОПРОСУ ОБ УТРАТЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СКВАЖИН

Хохлов Б. В.

*Республиканский академический научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт горной геологии,
геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ)
Министерство образования и науки ДНР*

На основании ранее выполненного обследования [0] нами было определено, что при эксплуатации технических скважин повреждения их крепи могут происходить по следующим причинам:

- коррозия крепи;
- влияние горных выработок, проведенных вблизи скважины;
- нарушение гидростатического баланса;
- ведение очистных работ в зонах влияния на скважину.

Так же были сделаны выводы о том, что в настоящее время параметры предохранительных целиков, регламентируемые современными нормативными документами, обеспечивают достаточно эффективную охрану технических скважин от вредного влияния очистных работ. В этой связи достаточно актуальным является выявление основных, наиболее часто встречающихся, причин нарушений и выхода из строя технических скважин. Технические скважины, это вертикальные горные выработки, пробуренные с земной поверхности и закрепленные, в основном, стальными трубами со сварными, резьбовыми или другими соединениями секций. Толщина стенок обсадных труб 8-16 мм.

В таблице 1 приведены результаты выборочного обследования состояния 330 технических скважин диаметром от 0,07 до 5,3 м и глубиной до 1060 м, эксплуатируемых в 20 объединениях Донбасса за пятилетний период.

Для исследования был взят период стабильной до военной работы 53 шахт Донецкого бассейна с 2000 по 2005 гг.

Из результатов анализа приведенных в таблице 1 видно, что основной причиной нарушений и выхода из строя технических скважин является воздействие вредных веществ, содержащихся в подземных водах, которые весьма минерализованы, агрессивны по содержанию сульфатов и обладают корродирующими свойствами по отношению к металлам. В результате воздействия агрессивных и корродирующих веществ происходит прободение обсадных труб и вымывание цементации затрубного пространства, а повышенная минерализация вод приводит к закальцинированию и заиливанию труб водоотливных скважин. По этим причинам вышло из строя восемь технических скважин, что составляет 38,1 % от общего числа поломанных.

Таблица 1 – Результаты анализа влияния гидрогеологических факторов и воздействия вредных веществ на состояние крепи технических скважин на шахтах Донбасса

№	Объединение, ГП	Количество технических скважин в ГП:				
		всего	Из них нарушено:			
			всего	воздействие вредных веществ	влияние гидро-геологических факторов	влияние очистных выработок
1	2	3	4	5	6	7
1	Антрацит	11	0	0	0	0
2	Артемуголь	6	6	5	0	1
3	Дзержинскуголь	11	0	0	0	0
4	Добропольеуголь	9	0	0	0	0

1	2	3	4	5	6	7
5	Донбассантрацит	50	5	0	5	0
6	Донецкуголь	25	0	0	0	0
7	Красноармейскуголь	7	2	1	0	1
8	Краснодонуголь	18	0	0	0	0
9	Лисичанскуголь	5	0	0	0	0
10	Луганскуголь	16	0	0	0	0
11	Макеевуголь	3	0	0	0	0
12	Октябрьуголь	5	0	0	0	0
13	Павлоградуголь	24	0	0	0	0
14	Первомайскуголь	15	0	0	0	0
15	Ровенькиантрацит	27	0	0	0	0
16	Свердловантрацит	7	0	0	0	0
17	Селидовуголь	28	4	0	1	1
18	Снежноеантрацит	21	0	0	0	0
19	Горезантрацит	9	2	2	0	0
20	Шахтерскантрацит	33	2	0	0	2
Всего		330	21	8	6	5
Процент нарушенных от общего числа скважин			6,4	2,4	1,8	1,5
Процент нарушенных скважин по причине, от числа нарушенных скважин				38,1	28,6	23,8

При изменении гидрогеологической обстановки (водонасыщении или глубоком водопонижении с образованием депрессионной воронки) скважина испытывает сложное неравномерное силовое воздействие, проявляющееся в общем вертикальном сжатии, зональном вертикальном растяжении и сжатии, сдвигающих и изгибающих усилиях на контактах с дренирующими и деформируемыми слоями [2]. В результате происходят смятия, разрывы или срезы металлических труб. Как видно из таблицы 1, по причине влияния гидрогеологических факторов вышло из строя шесть технических скважин, что составляет 28,6 % от общего числа поломанных.

Повреждения крепи технических скважин по причине ведения очистных работ (в результате полной или частичной подработки) бывают, как правило, двух видов [3]: разрывы обсадных труб и срезы ствола скважины. Разрывы обсадных труб происходят в условиях преобладания вертикальных деформаций растяжения породного массива, характерных для районов в окрестностях верхних границ зоны полных сдвижений [4], а срезы – в зонах перегибов [5]. В результате подработки повреждения получили пять скважин, что составило 23,8 % от общего числа поломанных.

Таким образом, мы определили три основных причины нарушения крепи технических скважин, это:

- 1) воздействие агрессивных, корродирующих веществ и повышенная минерализация шахтных вод;
- 2) нарушение гидростатического баланса вокруг скважины;
- 3) влияние геомеханических факторов.

Так же можно сделать вывод, что основной причиной нарушений и выхода из строя технических скважин, является не ведение очистных работ, а воздействия вредных веществ на металлическую крепь скважин, будь то агрессивные и корродирующие вещества или повышенная минерализация (приводящая к заиливанию, зашлаковыванию труб крепи скважин), шахтные воды, как правило, обладают и теми и другими свойствами.

Литература

1. Кулибаба, С.Б. Оценка влияния очистных выработок на технические скважины [Текст] / С.Б. Кулибаба, Б.В. Хохлов, В.С. Дзюбак // Уголь Украины. – 2005. – № 11. – С. 44-46.

2. Хохлов, Б.В. Конструктивный способ защиты технических скважин от вредного влияния очистных выработок [Текст] / Б.В. Хохлов // Наукові праці УкрНДМІ НАН України : зб. наук. пр. – Донецьк, 2009. – № 4. – С. 140-144.

3. Хохлов, Б.В. Оценка критических деформаций породного массива при подработке технических скважин [Текст] / Б.В. Хохлов // Уголь Украины. – 2009. – № 3. – С. 35-37.

4. Кулибаба, С.Б. Сдвигение массива горных пород в зоне полных сдвижений [Текст] / С.Б. Кулибаба // Наукові праці ДонНТУ: сб. научн. трудов, серія гірничо-геологічна. – Донецьк, 2002. – Вип. 45. – С. 147-152.

5. Хохлов, Б.В. Геомеханическая схема сдвижения горных пород над очистной выработкой, применительно к охране технических скважин [Текст] / Б.В. Хохлов // Наукові праці УкрНДМІ НАН України : зб. наук. пр. – Донецьк, 2012. – № 10. – С. 61-75.

ПРОТЕКАНИЕ ГИДРОГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СОЛОТВИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ КАМЕННОЙ СОЛИ

Шевченко Е.Н., Артеменко П.Г., Ягмур А.Б., Дроздова Н.А.

*Республиканский академический научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт горной геологии,
геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ)
Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики*

За многолетний период эксплуатации Солотвинского месторождения каменной соли наблюдалось прогрессирующее ухудшение гидрогеологических условий и, как следствие, массовое развитие техногенно-

го карста. Главная опасность заключается в трудности предсказания места и времени образования новых провалов, их появление и развитие вблизи жилой и дачной застройки, действующих стволов и других объектов шахтной инфраструктуры.

При отработке запасов соляных месторождений главной проблемой является отвод пресных вод приповерхностных водоносных горизонтов. Кроме того, развитие горных работ с применением буровзрывных технологий без расчета возможных негативных последствий неизбежно приводит к образованию и расширению систем водопроводящих трещин, по которым пресная вода начинает в нарастающем количестве поступать в горные выработки шахт. Сказанное в полной мере относится к соляной шахте № 9, которая не проработала и четверти проектируемого периода эксплуатации.

Основными источниками поступления пресных и слабоминерализованных вод к Солотвинскому соляному месторождению являются аллювиальные отложения II надпойменной террасы реки Тиса, напорные трещинные воды боковых пород, залегающих вокруг соляного тела, а также атмосферные осадки.

Большая часть ранее построенных водоотводных выработок, в том числе и главная из них – Тиса–штольня, не поддерживались, пришли в негодность, а новые дренажные выработки, которые необходимы для обеспечения нормальной работы шахты № 9, не построены. В результате в последние десятилетия произошло значительное увеличение водопритока в шахту № 9 (до 500 м³/ч), что, в конце концов, привело к аварийной ситуации и досрочному закрытию последней, а также созданной на ее базе солелечебницы.

В настоящее время добыча соли на месторождении прекращена, шахта № 9 затоплена полностью, в шахту № 8 (использовалась как солелечебница) водоприток усилился до 250–300 м³/ч (первоначальный – 100 м³/ч). Вода из шахты № 8 пока откачивается, но наблюдаемый по стволу уровень стабильно растет (примерно 0,1 м/сут). В дальнейшем приток будет только усиливаться, а вероятность затопления шахты № 8 возрастать.

В связи с затоплением горных выработок шахты № 9 изменилась гидродинамическая ситуация в восточной части соляного месторождения, изменились также характер и места развития деформаций земной поверхности. Со стороны затопленных выработок шахты № 9 создан подпор на пути движения подземных вод, поэтому к настоящему времени продолжают формироваться новые пути поступления потоков пресных вод к исследуемой площади, что в результате проявляется в развитии деформации и карстовых процессов на поверхности.

Изучение гидрогеомеханических и гидродинамических процессов на территории Солотвинского месторождения каменной соли выполнялось сотрудниками РАНИМИ (УкрНИМИ НАН Украины с 2007 г. до 2013 г.).

Задачей геомеханического мониторинга являлось – проведение инструментальных наблюдений по профильным линиям грунтовых реперов за деформациями земной поверхности (оседания); на основании полученных данных проанализировать характер произошедших изменений на территории рудника и определить тенденции и возможные направления развития карста.

Геофизический мониторинг проводился методом «естественного электрического поля» (ЕП), который позволял регистрировать изменения электрического поля природного происхождения, обусловленные движением подземных вод.

Для изучения приповерхностной зоны (до 60 м) применялась установка измерения потенциала естественного поля с разномом электродов до 200 м.

Результаты инструментальных наблюдений представлены в виде графиков изменения скорости оседания земной поверхности по профильным линиям грунтовых реперов (рис. 1). На всех графиках видно первоначальное снижение скорости оседания, связанное с затоплением шахты № 9, созданием подпора со стороны затопленных выработок, замедлением интенсивности размыва поверхности соляного купола и залегающих выше пород. Затем наблюдается рост скорости оседания земной поверхности – нарастание интенсивности поступления подземных потоков, формирование новых путей их разгрузки. Помимо роста скорости оседаний, в этот период произошла активизация карстовых процессов на участках за пределами расположения соляных выработок (в плане), образовался уступ амплитудой до 2 м, что привело к закрытию движения по дороге, связывающей два района пгт Солотвино.

Геофизические наблюдения методом ЕП позволили оценить изменение гидродинамической ситуации в восточной части Солотвинского месторождения в начале и после затопления горных выработок шахты № 9.

Результаты наблюдений представлены в виде карты изолиний потенциала ЕП (рис. 2). На карте повышенными значениями отрицательных потенциалов отмечаются основные потоки подземных вод (поток Глод, протекающий в западном направлении и поток юго-западного направления со стороны водораздела горы Магура), а также участки нисходящей фильтрации (начало затопления шахты № 9).

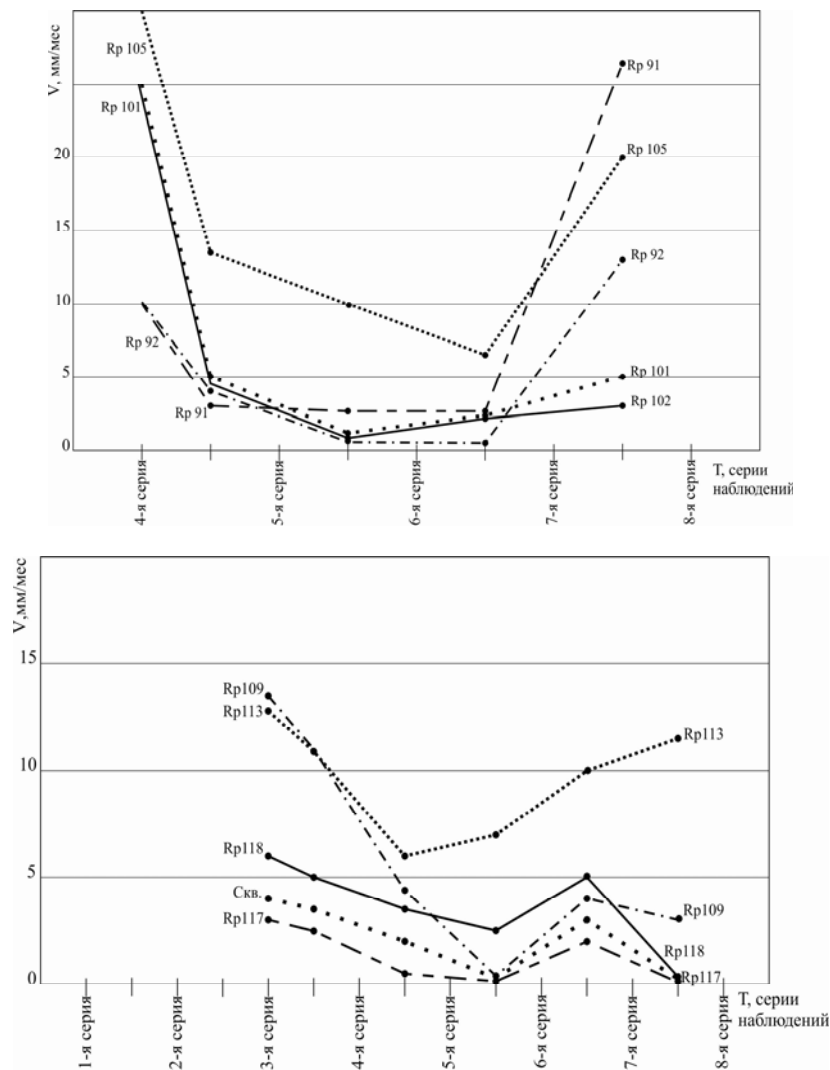


Рис. 1. Графики изменения скорости оседания земной поверхности по отдельным профильным линиям

Наблюдения методом ЕП (рис. 3) представлены в виде карты с указанием направлений движения потоков подземных вод. По сравнению с 2009 годом, кроме основного потока Глод, отмечается появление других

подземных потоков и, в частности, поток в направлении: провал Черный Мочар – восточные камеры шахты № 8. К этому времени горные выработки шахты № 9 уже затоплены, создан подпор на пути движения подземных вод аллювиальных отложений.

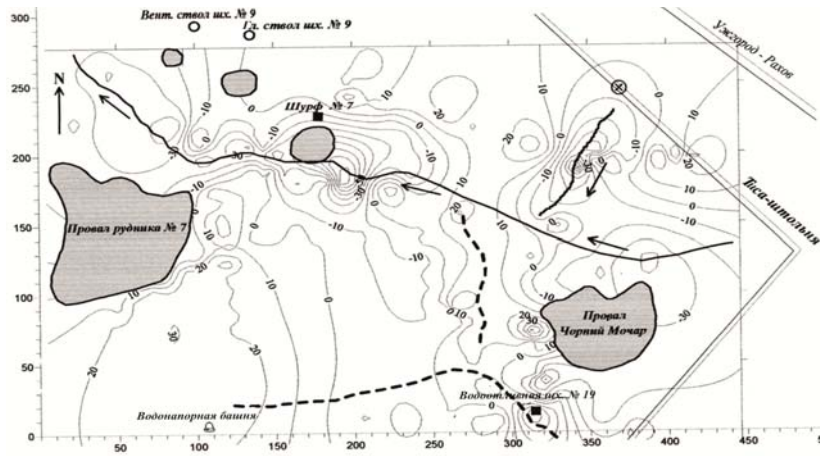


Рис. 2. Результаты геофизических исследований методом ЭП

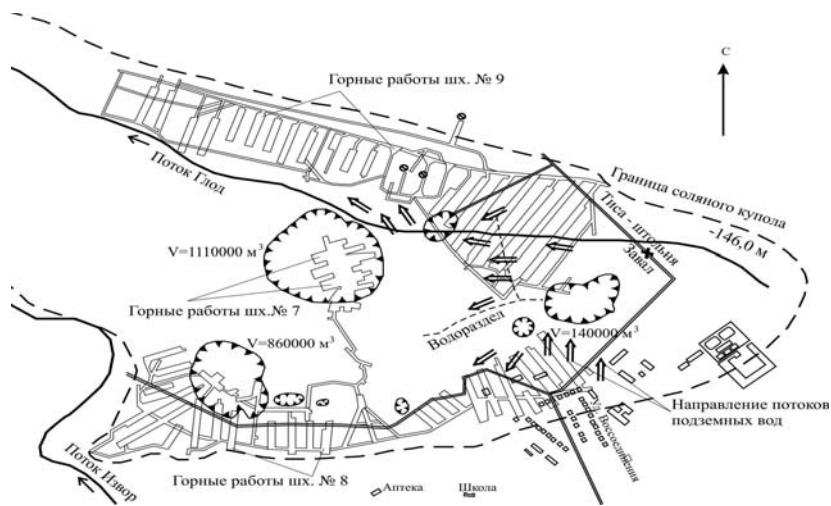


Рис. 3. Карта-схема направлений движения потоков подземных вод Солотвинского месторождения соли

В провале Черный Мочар уровень стабилизировался на отметках от +271,0 м до +272,0 м, вода поступает в восточные камеры шахты № 8, размывая поверхность соляного купола и вышележащие породы, что привело к образованию на поверхности новых карстовых воронок (дачный поселок) и уступа на дороге.

ВЫВОДЫ

1. Результаты проведения комплексных гидрогеомеханических и геофизических исследований, отражают изменения, произошедшие как на поверхности (мониторинг деформаций), так и в приповерхностном слое (изучение движения подземных вод) на территории Солотвинского солерудника и дают возможность прогнозировать развитие ситуации в дальнейшем.

2. Проведенный площадной анализ позволил определить зоны миграции подземных вод в верхней части разреза (до палага).

3. Снижение и прекращение дальнейшего роста карста и оседаний земной поверхности в восточной части Солотвинского солерудника произойдет только после восстановления гидродинамического режима подземных вод, заполнения камер и пустот в соляном массиве водой.

Литература

1. Отчет о доразведке в 1967-1970 гг. Солотвинского месторождения каменной соли в Закарпатской области. Том 1 / Киевский геологоразведочный трест. Закарпатская геологическая экспедиция / Берегово. – 1970. – 200 с.

2. Проведение гидрогеологического и геомеханического мониторинга геологической среды на шахтах Солотвинского солерудника. Выполнение исследований влияния деятельности соляных шахт на окружающую среду: Отчет о НИР (заключ.) / УкрНИМИ; Руководитель Е.И. Питаленко. – 143/3. – Донецк, 2010. – 91 с.

ХАРАКТЕР РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА НАД ДВИЖУЩИМСЯ ОЧИСТНЫМ ЗАБОЕМ

Кулибаба С.Б.

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

На ранних этапах изучения процесса сдвижения горных пород основное внимание уделялось границам его влияния, величинам деформаций земной поверхности и зонам их локализации в мульде сдвижения. При существовавших в то время небольших глубинах разработки угольных месторождений и малых скоростях подвигания лав вопросы динамики сдвижения породной толщи были неактуальны, а критерием

степени влияния горных разработок на охраняемые объекты являлись конечные значения деформаций земной поверхности. Увеличение глубины и скорости разработки угольных пластов вызвало необходимость в расширении области исследований, поскольку для более эффективного применения мер охраны подрабатываемых объектов надежный прогноз временных параметров процесса сдвижения породной толщи становится не менее значимым, чем пространственных.

Проводимые ранее исследования характера процесса сдвижения над движущимся очистным забоем показывают, что в динамической мульде сдвижения граничные углы впереди движущегося забоя круче их окончательных значений [0]. В то же время, установлено [2], что динамические деформации подрабатываемого массива горных пород при определенных условиях превышают конечные значения. Это говорит о том, что над движущимся очистным забоем не успевает сформироваться полноценная мульда сдвижения, что вызвано временным дополнительным разуплотнением горных пород, которое полностью или частично компенсируется после выхода лавы из зоны влияния на рассматриваемый объект, или после ее остановки.

Таким образом, становится очевидным, что на разных стадиях процесса сдвижения скорость его распространения в массиве неодинакова. Следует отметить, что ранее эта скорость была изучена весьма слабо и в теоретических выкладках постулировалась как некоторая усредненная величина, значительно превосходящая скорость подвигания очистного забоя [3].

Эффективным методом комплексного исследования пространственно-временных характеристик процесса сдвижения горного массива над движущимся очистным забоем является анализ результатов натурных экспериментов подработки наблюдательных станций, оборудованных в вертикальных шахтных стволах. Одним из таких экспериментов является подработка вентиляционного ствола № 1 шахты "Глубокая" объединения "Донецкуголь" [2, 4 и др.], проводимая под контролем инструментальных наблюдений, которыми был охвачен весь период процесса сдвижения – от начала до затухания. Подработка осуществлялась в пласте h_6 , расположенном ниже зумпфа ствола на 115 м, в следующих условиях: средняя глубина разработки 541 м, вынимаемая мощность пласта 1,15 м, угол падения 5ϵ , длина подрабатываемой лавы 400 м, управление кровлей – полное обрушение, месячное подвигание очистного забоя в пределах целика – до 20 м.

На рис. 1 сплошной линией показаны графики развития во времени фактических оседаний η трех из 17 реперов, заложенных на разной глубине ствола.

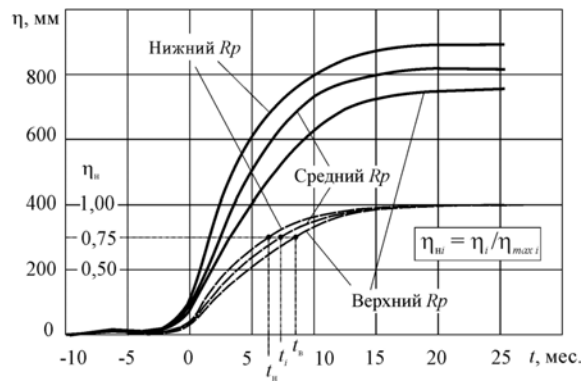


Рис. 1. Графики развития фактических (η) и нормированных (η_n) оседаний реперов ствола во времени: t – период, прошедший после пересечения очистным забоем вертикальной оси ствола ($t_0=0$)

Анализ графиков показывает, что отличие между ними состоит лишь в разной интенсивности развития процесса сдвижения и величинах конечных оседаний пород на разных глубинах, однако очевидно, что верхние участки подрабатываемых горных пород проходят те же стадии развития этого процесса, что и нижние. Следовательно, сопоставление времени достижения одинаковых фаз процесса на разных глубинах дает возможность исследовать временные параметры распространения сдвижения в массиве над разрабатываемым пластом, в частности – скорость распространения сдвижения в толще, под которой понимается скорость передачи однородного возмущающего действия очистного забоя (одноименного импульса) через толщу по вертикальному направлению от пласта к земной поверхности.

Транзитивность, присущая процессу сдвижения [5], предполагает сохранение и передачу, как в пространстве – по всей подрабатываемой породной толще, от разрабатываемого пласта до земной поверхности, – так и во времени, его основных качественных характеристик, в частности, таких, как форма мульды и характер изменения деформаций в процессе сдвижения. Иными словами, каждая точка подрабатываемого горного массива за полный период процесса сдвижения проходит одинаковые стадии его развития – от начальной стадии до затухания. Использование этого свойства позволяет выделять и исследовать отличия в параметрах протекания процесса сдвижения на разном удалении от разрабатываемого пласта и в различных его фазах.

Для корректного анализа пространственно-временных параметров в различных условиях нормируем фактические оседания η_i каждого из

реперов по его максимальному оседанию $\eta_{\max i}$, достигаемому им после затухания процесса сдвижения, приведя их тем самым в однородный сопоставимый вид. На рис. 1 пунктиром показаны графики нормированных оседаний η_n реперов в стволе за период подработки. По ним можно определить момент достижения любым репером того или иного нормированного оседания, а, следовательно, и период, за который оно передалось от одного репера к другому. Так, нижний репер достиг нормированного оседания 0,75 через период t_n после пересечения очистным забоем оси ствола ($t_0 = 0$), верхний – через t_b , а i -й промежуточный репер – через t_i . Точно так же можно определить периоды передачи в массиве других фиксированных нормированных оседаний (0,6; 0,8 и т.д.) от одного репера к другому, а также скорость перемещения одноименных нормированных оседаний по массиву вверх от пласта к земной поверхности на различных стадиях развития процесса сдвижения.

Иными словами, перемещение в пространственно-временном поле любого фиксированного нормированного оседания массива в процессе сдвижения отражает перемещение соответствующего ему возмущающего действия очистного забоя (одноименного импульса). Сопоставляя моменты достижения одноименными импульсами тех или иных точек, расположенных по вертикали на разных удалениях от подрабатываемого пласта, можно определить временные параметры их распространения по массиву.

Для математического описания полученных экспериментально кривых изменения нормированных оседаний реперов была проведена их аппроксимация в рассматриваемом временном интервале. Регрессионный анализ позволил установить функцию, оптимально описывающую данное распределение значений η_n :

$$\eta_n = a_0 + \frac{a_1}{1 + \exp(a_2 t H_n^{a_3} + a_4)} \quad (1)$$

где t – период, прошедший с момента t_0 пересечения забоем подрабатывающей очистной выработки вертикальной оси ствола с наблюдательной станцией, месяц; H_n – удаление точки подрабатываемого массива по вертикали от разрабатываемого пласта, м; $a_0 - a_4$ – эмпирические коэффициенты.

Решая уравнение (1) относительно t получим формулу периода достижения одноименными импульсами сдвижения любой точки массива, расположенной по вертикали на данном удалении от подрабатываемого пласта, прошедшего с момента t_0 :

$$t = \frac{\ln\left(\frac{a_1}{\eta_n - a_0} - 1\right) - a_4}{a_2 H_n^{a_3}}. \quad (2)$$

Исследуем изменение временного градиента G , под которым будем понимать период (в месяцах), за который некоторый одноименный импульс (нормированное оседание) распространится вверх по подрабатываемому горному массиву на 1 м, и который определяется первой производной по расстоянию H_n от периода t , вычисляемого по формуле (2):

$$G = \frac{dt}{dH_n} = \frac{a_3}{a_2 H_n^{a_3+1}} \left[a_4 - \ln \left(\frac{a_1}{\eta_n - a_0} - 1 \right) \right]. \quad (3)$$

На рис. 2 сплошными линиями показаны графики изменения градиента G в зависимости от H_n для различных нормированных оседаний (для наглядности здесь масштаб времени переведен из месяцев в сутки).

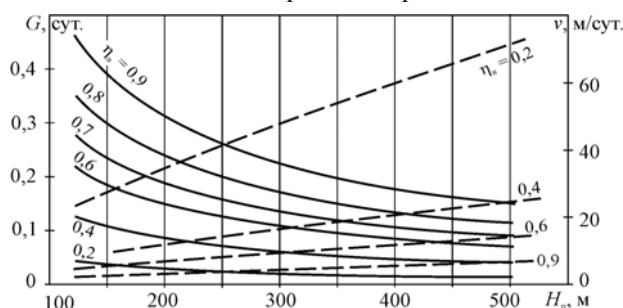


Рис. 2. Графики изменения градиента G и скорости v передачи одноименных импульсов η_n по массиву

Обратим внимание на то, что градиент G является величиной, обратной скорости передачи одноименных импульсов по массиву v , графики которой показаны пунктиром (см. рис. 2). Анализ графиков позволяет заключить, что скорость передачи импульсов по массиву неодинакова, и меняется как для разных значений η_n , так и для разных глубин – при удалении от разрабатываемого пласта вверх скорость v увеличивается, т. е., передача одноименных импульсов в массиве по вертикали происходит с ускорением. Причем для каждого из фиксированных значений η_n это ускорение имеет разные значения – в начале активной стадии сдвижения оно максимально (от 23 до 72 м/сут.), а в затухающей стадии – минимально (от 2 до 7 м/сут.).

Эффект ускорения передачи импульсов по массиву объясняется тем, что благодаря расширяющейся снизу вверх форме области сдвижения над разрабатываемым пластом опорные участки в верхних породных слоях отнесены в неподроботанный массив на значительно большие расстояния, чем в нижних, а, следовательно, зависающие консоли имеют большую длину и обрушаются активной.

ВЫВОДЫ

Сходство в характере протекания процесса сдвижения горных пород во времени дает возможность исследовать временные параметры распространения сдвижения в массиве над движущимся очистным забоем путем сопоставления их характеристик на разных глубинах в одинаковых фазах процесса.

Установлено, что в начальной и затухающей стадиях процесса сдвижения оседание толщ проходит в основном равномерно, а интенсивная стадия характеризуется активным развитием относительных вертикальных деформаций, при котором передача одноименных импульсов сдвижения по вертикальному направлению от разрабатываемого пласта вверх происходит с ускорением.

Определены вид и параметры зависимостей изменения нормированных оседаний в пространственно-временном поле.

Литература

1. Батугин С.А., Бежецкий А.Е. Сдвижение земной поверхности при большой скорости подвигания очистного забоя // Горное давление, сдвижение горных пород и методика маркшейдерских работ. – Л.: ВНИМИ. – 1964. – Вып. 53. – С. 252-265.
2. Кулибаба С. Б., Южанин И.А., Колдунов И.А., Голдин С.В. Выемка предохранительного целика под действующим вертикальным стволом // Уголь Украины. - 1991. - №8. - С. 31-33.
3. Батугин С. А. Сдвижения и деформации земной поверхности и горных пород над движущимся забоем // Труды по вопросам горного давления, сдвижения горных пород и методики маркшейдерских работ: Сб. науч. тр. – Л.:ВНИМИ, 1962. – сб.47. – С. 159 – 199.
4. Кулибаба С. Б. Исследование скорости распространения процесса сдвижения в подрабатываемом массиве горных пород // Вісті Донецького гірничого інституту. - 2004. - № 1. - С. 78 - 82.
5. Кратч Г. Сдвижение горных пород и защита подрабатываемых сооружений. – М.: Недра, 1978. – 494с.

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ПОДАТЛИВЫХ КРЕПЕЙ

Южанин И.А., Дрибан В.А., Хохлов Б.В.

*Республиканский академический научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт горной геологии,
геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ)
Министерство образования и науки ДНР*

Подготавливающие и подготовительные выработки теперь крепятся в основном металлической рамной податливой крепью, поэтому от эффективности ее использования во многом зависят экономика и безопас-

ность шахт. Расчеты параметров крепей производятся по нормативным документам ВНИМИ, РАНИМИ (УкрНИМИ), и ДонУГИ [0-0]. Этим документам присущи следующие недостатки:

- в [0-0] влияние пород на выработку, не зависимо от их удаления принимается одинаковым;
- в документе [0] расчетное сопротивление пород в боках принимается по сопротивлению наиболее слабого слоя, в пластовых выработках это всегда уголь, поэтому сопротивление боков в целом занижается;
- по документам [0, 0] смещения рассчитывают за весь период поддержания выработки, при этом не используются ресурсы крепей усиления. С помощью последней можно облегчить условия работы основной крепи на последних стадиях ее эксплуатации, снизив в целом стоимость основной крепи за счет уменьшения ее несущей способности и плотности установки;
- принятый в документе [0] расчет крепи по 1-2 последним периодам поддержания выработки некорректен в принципе;
- нет единого мнения об установлении расчетного сопротивления крепи.

Авторами разработаны предложения по совершенствованию методов расчета крепи, основные из которых заключаются в следующем.

1. Сопротивление пород кровли, боков и почвы выработки следует определять на расстояниях от ее контура соответственно $2b$, b и $1,5b$ (b – ширина выработки в проходке). Причем влияние пород на выработку убывает по экспоненциальному закону. Расчетное сопротивление пород сжатию в массиве определяют дифференцированно для кровли $R_{cк}$, почвы $R_{cп}$, боков $R_{cб}$ и средневзвешенное $R_{cср}$ по формуле:

$$R_{cк.п.б.ср} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i R_{ci} k_{hi}}{\sum_{i=1}^n m_i k_{hi}} \quad (1)$$

где: n – количество породных слоев, залегающих на длине расчетного интервала; m_i и R_{ci} – соответственно мощность слоев, m и сопротивление их одноосному сжатию, МПа; k_{hi} – коэффициент, учитывающий расположение слоев пород относительно контура выработки, определяемый по [0].

2. Предложен следующий порядок расчета рамной крепи в выработках, поддерживаемых в течение нескольких геомеханических периодов (период определяется положением выработки относительно лавы). Расчет производят последовательно по периодам (этапам), начиная с первого периода. Вначале основную крепь рассчитывают по величинам смещений пород за первый период поддержания выработки, затем за первые два и т.д. По оставшимся смещениям, по которым не рассчитывалась основная крепь, рассчитывают крепь усиления.

Таким образом, для i -го периода поддержания выработки плотность установки основной крепи n_i определится из выражения:

$$n_i = \frac{P_i}{N_s}, \text{ рам/м} \quad (2)$$

а для $(i+1)$ -го периода плотность крепи усиления $n_{y(i+1)}$ определится по формуле:

$$n_{y(i+1)} = \frac{P_{i+1} - (nN_s)i}{N_y}, \text{ ст/м}, \quad (3)$$

где P_i и P_{i+1} – нагрузки на крепь, рассчитанные по величине смещений пород за i и $i+1$ периодов поддержания выработки соответственно, кН; $(nN_s)i$ – сопротивление основной крепи за i период поддержания, кН; N_s и N_y – сопротивление одной рамы и средства усиления крепи, кН.

Плотность установки крепи усиления $n_y \geq 0,5n$.

Допускается плотность установки основной крепи принимать по практическим данным, а усиления проверять по приведенной методике. Таким образом, формируется несколько рассчитанных вариантов крепи. Оптимальный вариант принимают по результатам технико-экономического сравнения рассчитанных вариантов.

На каждом этапе расчета крепи необходимо производить проверку ее параметров по критерию податливости:

$$U_{\text{ПД}} \leq \Delta \quad (4)$$

где $U_{\text{ПД}}$ – требуемая податливость крепи, мм; Δ – конструктивная податливость крепи, мм.

Требуемая податливость определяется по величине расчетных смещений пород на контуре выработки с учетом плотности установки основной крепи и средств усиления в соответствии с положениями [0]. При не выполнении условия (4) принимают крепь (основную или усиления) с более высокими параметрами; повышают плотность; применяют средства управления состоянием и свойствами массива.

В документах [0, 0] расчетное сопротивление рамных крепей принимается равным сопротивлению рам в податливом режиме. При этом в крепях КМП-А3 и КМП-А5 рабочее сопротивление составляет 60-70 % от величины несущей способности крепи. Предлагается в последнем геомеханическом периоде поддержания выработки при расчете рабочего сопротивления использовать часть характеристики работы крепи в жестком режиме, т.е. рабочее сопротивление N_p определять по формуле:

$$N_p = \frac{N_m + N_s(n_s - 1)}{n_s} \quad \text{или} \quad N_p = 0,67(N_m + 0,5N_s), \quad (5)$$

где N_m и N_s – несущая способность крепи в жестком режиме и сопротивление ее в податливом режиме соответственно, кН; n_3 – коэффициент запаса, $n_3 = 1,5$.

Расчетное сопротивление крепи, вычисленное по (5), следует применять только на последнем этапе поддержания подготавливающих и подготовительных выработках, поддерживаемых в течение нескольких геомеханических периодов. Таким образом формула для расчета крепи усиления $n_{ук}$ на последнем этапе поддержания выработки будет иметь вид:

$$n_{ук} = \frac{P_k - nN_p}{N_v}, \quad (6)$$

где P_k – нагрузка на крепь выработки за весь период ее поддержания, кН.

Для оценки предлагаемой методики приведем пример расчета крепи подготовительной выработки, сохраняемой для повторного использования и погашаемой за вторым очистным забоем (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика подготовительной выработки

Наименование параметров		Значение параметров
Глубина расположения H_p , м		1000
Угол падения пород β , градус		10
Ширина в проходке/в свету, м		5,36/4,75
Высота в проходке/в свету, м		3,71/3,44
Площадь сечения в проходке/в свету, м ²		17,5/13,8
Мощность пласта m , м		1,2
Способ проходки		Буровзрывной
Прочность пород на одноосное сжатие, МПа (расчет не приводится)	кровли $R_{ек}$	56,4
	почвы $R_{еп}$	57,1
	боков $R_{еб}$	45,5
	средневзвешенная $R_{с,ср}$	54,5

В таблице 2 приведены геомеханические периоды, в течении которых поддерживается выработка и величины смещений пород на ее контуре в эти периоды. Расчеты выполнены в соответствии с [0].

Расчетные данные и результаты расчета крепи выработки по вышерассмотренной методике приведены в таблице 3.

Выполнены и варианты расчета крепи: первые три – согласно схеме поэтапного расчета крепи, последний вариант соответствует выбору крепи по практическим данным. Основная крепь принята из профиля СВП-33, крепь усиления – стойки с $N_y = 250$ кН.

Таблица 2 – Результаты расчета смещений пород на контуре выработки

№ этапов по табл. 3	Величина смещений пород, со звездочкой – с нарастающим итогом по этапам, мм						
	U_k	U_k^*	U_n	U_n^*	$U_1^{ост}$	$U_{кп}$	$U_{кп}^*$
1 Вне влияния очистных работ	223,8	223,8	206,5	206,5	-	430,3	430,3
2 Временного опорного давления первой лавы	445,5	669,3	411,3	617,8	-	856,8	1287,1
3 Стационарного опорного давления первой лавы	171,4	840,7	928,2	1546,0	1099,6	1099,6	2386,7
4 Временного опорного давления второй лавы	445,5	1286,2	411,3	1957,3	-	856,8	3243,5
Примечание. Обозначения: U_k – смещения кровли; U_n – смещения почвы; $U_{кп}$ – суммарные смещения кровли и почвы; $U_1^{ост}$ – смещения в зоне остаточного (стационарного) опорного давления первой лавы							

Таблица 3 – Результаты расчета крепи выработки

№ периодов	Исходные параметры			Основная крепь			Крепь усиления			$U_{плд}$, мм
	U_k , мм	P_n , кПа	P , кН/м	$N_{s, p}$, кН	n , рам/м	k_{oc}	$P-nN_{s, p}$, кН	n_y , ст/м	k_{yc}	
1. Выбор основной крепи по смещениям за первый период										
1	224	88,4	473,6	310	1,5	0,76	-	-	-	170
2	669	146,2	783,6	□	□	□	318,6	1,27	0,65	331
3	841	160,2	858,7	□	□	□	393,7	1,57	0,62	396
4	1286	192,4	1031,3	440	□	□	371,3	1,49	0,63	616
2. Выбор основной крепи по смещениям за два первых периода										
1-2	669	146,2	783,6	310	2,5	0,51	-	-	-	341
3	841	160,2	858,7	□	□	□	87,3	0,33(1,25)	0,65	279
4	1286	192,4	1031,3	440	□	□	-	-	-	656
3. Выбор основной крепи по смещениям за три первых периода										
1-3	841	160,2	858,7	310	2,8	0,5	-	-	-	420
4	1286	192,4	1031,3	440	3,0	□	-	-	-	643
4. Выбор крепи при $n=2$ рамы/м (практические данные)										
1	224	88,4	473,6	310	2,0	0,61	-	-	-	137
2	669	146,2	783,6	□	□	□	163,6	0,65(1,0)	0,7	286
3	841	160,2	858,7	□	□	□	238,7	0,95(1,0)	□	359
4	1286	192,4	1031,3	440	□	□	151,3	0,61(1,0)	□	549

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы.

1. По критерию требуемой податливости необходимо применять пятизвенную крепь КМП-А5 с дополнительными боковыми стойками длиной по 700 мм (конструктивная податливость $D=600$ мм). В связи с этим необходимо скорректировать проектную высоту выработки (см. табл. 2).

2. По критерию плотности установки рам все четыре варианта имеют право на дальнейший технико-экономический анализ, причем плотность установки рам основной крепи тесно связана с параметрами крепи усиления. При плотности основной крепи $n = 1,5-2,0$ рамы/м требуется применение крепи усиления в трех геомеханических периодах, при $n = 2,5$ рамы/м – в одной геомеханической зоне и при $n = 3,0$ рамы/м усиления крепи не требуется.

3. Необходимо предусмотреть мероприятия по предотвращению пучения пород почвы, либо их плановую подрывку.

4. Оптимальный вариант крепи в выработке определится по результатам технико-экономического сравнения расчетных вариантов.

Применение сформулированных подходов к расчету рамных податливых крепей позволяет:

- более полно использовать несущую способность рамных податливых крепей при обеспечении их достаточной надежности с позиции нагружения;
- выбирать наиболее рациональные параметры крепи выработок (с использованием крепи усиления и других способов управления состоянием и свойствами горного массива), соответствующих горно-геологическим и геомеханическим условиям поддержания выработок, а с выполнением технико-экономических расчетов – и условиями экономичности.

Литература

1. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Утв. Минуглепромом СССР 26.12.84. Изд. 4-е. – Л.: ВНИМИ, 1986. – 222 с.

2. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок. – Утв. Минуглепромом СССР 30.01.91. Изд. 2-е. – Л.: ВНИМИ, 1991. – 125 с.

3. КД 12.01.01. 201-98. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания. – Утв. и введ. Минуглепромом Украины. Донецк, 1998. – 149 с.

4. СОУ 10.1 00185790.011: 2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони. – Чинний від 2008-04-01. – К.: Мінуглепром України. – 113 с.

5. Южанин, И. А. Новые подходы к расчету рамных податливых крепей [Текст] / И. А. Южанин, В. А. Дрибан, Б. В. Хохлов // Труды РАНИМИ: сб. научн. трудов. – Донецк, 2017. – № 3 (18). – С. 85-89.

ОСНОВНЫЕ ЗАРУБЕЖНЫЕ ЭМПИРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА УСИЛИЙ НА ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ РЕЗЦАХ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД

Аверин Е.А.

ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный завод», Тула

В докладе выполнен обзор наиболее существенных зарубежных исследований в области получения простых эмпирических методов расчета усилий на тангенциальных резцах при разрушении горных пород.

Ключевые слова: механическое разрушение, тангенциальный резец, метод расчета, зарубежные исследования

Тангенциальные резцы предназначены для крупного скола и применяются на очистных комбайнах при резании пород не выше средней крепости, так как при резании более крепких пород вследствие возникающих больших динамических усилий комбайн теряет свою устойчивость.

Основными достоинствами тангенциальных резцов являются увеличение глубины резания при снижении удельной энергоемкости [1] и симметричный износ [2], вследствие чего они имеют относительно большой срок службы [3]. Благодаря этому они получили широкое распространение при оснащении проходческо-очистной техники [4].

Чаще всего тангенциальные резцы используются на исполнительных органах горных машин, представляющих собой тела вращения: аксиальные коронки и барабаны. При этом инструмент устанавливается на исполнительном органе таким образом, чтобы иметь возможность свободно проворачиваться вокруг собственной оси (благодаря чему обеспечивается симметричный износ, способствующий повышению срока службы [5]), и атаковать забой под углом 35–55°. При этом углы атаки (резания), близкие к 45°, являются наиболее рациональными, поскольку в таком случае снижается трение (и, как следствие, производство тепла) между инструментом и породой, а также увеличивается концентрация высоких напряжений в породе, что позволяет снизить необходимые для эффективного разрушения усилия [2, 6]. Также важным параметром является угол наклона резца относительно линии резания. Его рациональные значения лежат в диапазоне значений 65–70°, что позволяет снизить вибрации на исполнительном органе и уменьшить энергоемкость разрушения [1].

В отличие от резания горных пород радиальным резцом задачу описания процесса разрушения пород тангенциальным резцом сложно как адекватно решить в двумерной постановке, так и в принципе упростить без существенной потери точности отражения реальности [7]. Поэтому модели резания горных пород, основывающихся на физике процесса до сих пор немного. Наиболее известной и распространенной из них является модель, предложенная Эвансом [8], согласно которой внедрение режущего инструмента (предполагается отсутствие трения между инструментом и породой) приводит к возникновению радиальных сжимающих напряжений в породе. Когда они достигают предела прочности породы на растяжение, происходит скол в виде симметричного V-образного фрагмента. Также предполагается, что нормальное контактное давление между резцом и породой распределено равномерно, вследствие чего практически не учитываются упругие эффекты процесса. Напряжения, возникающие в результате взаимодействия режущего инструмента и породы, определяются исходя из условия равновесия усилий на половине V-образного фрагмента с использованием анализа предельных состояний. При этом предполагается, что полное усилие внедрения эквивалентно нормальному усилию между породой и резцом, что позволило получить следующую зависимость для определения максимального усилия при разрушении породы тангенциальным резцом:

$$F_p = \frac{16 \cdot \pi \cdot \sigma_p^2 \cdot d^2}{\sigma_{сж} \cdot \cos^2 \theta}, \quad (1)$$

где θ – половина угла конусности резца.

Однако выражение (1) не обеспечивает необходимой точности вычислений [1, 9-11]. В работах [9, 11] это объяснялось тем, что модель Эванса не учитывает трение между инструментом и породой.

С целью получения достаточно точных методов расчета для конкретных горно-геологических условий было разработано значительное число эмпирических и полуэмпирических моделей. Например, в таблице приведены эмпирические выражения для определения усилий резания и подачи в заблокированном и полублокированном режиме резания в зависимости от прочностных свойств горной породы.

В таблице F_p – усилие резания, Н; F_n – усилие подачи, Н; $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие, МПа; σ_p – предел прочности породы на растяжение МПа; h – глубина резания, мм.

Также известны [1, 12] эмпирические формулы для определения энергоемкости разрушения (при условии оптимального отношения шага резания к глубине резания t/h) тангенциальными резцами в зависимости от прочностных свойств пород

$$H_w = 0,083 \cdot \sigma_{сж} + 1,424. \quad (2)$$

$$H_w = 1,259 \cdot \sigma_p + 0,142. \quad (3)$$

Таблица – Эмпирические модели определения усилий при резании горных пород тангенциальными резами (адаптированное заимствование из [12])

Блокированное резание	R ²	Полублокированное резание	R ²
$F_p = 9,81 \cdot h \cdot (0,826 \cdot \sigma_{сж} + 21,76)$	0,810	$F_p = 23,016 \cdot h \cdot \sigma_{сж}^{0,785}$	0,808
$F_p = 9,81 \cdot h \cdot (12,625 \cdot \sigma_p + 8,78)$	0,797	$F_p = 164,693 \cdot h \cdot \sigma_p^{0,721}$	0,754
$F_n = 11,93 \cdot h \cdot \sigma_{сж}^{1,014}$	0,843	$F_n = 7,375 \cdot h \cdot \sigma_{сж}^{1,051}$	0,817
$F_n = 154,36h\sigma_p^{0,915}$	0,760	$F_n = 104,8 \cdot h \cdot \sigma_p^{0,947}$	0,735

Для выражений (2) и (3) коэффициент детерминации (R²) составил соответственно 0,76 и 0,743.

Основным достоинством выражений, представленных в таблице и уравнениями (2) и (3), является их простота вследствие минимума входящих параметров. Но применять их стоит с большой осторожностью, поскольку, как и всякие эмпирические зависимости, они способны адекватно отражать процесс разрушения только в условиях, аналогичных тем, в которых были получены.

Литература

1. Bilgin N. и др. Dominant rock properties affecting the performance of conical picks and the comparison of some experimental and theoretical results //International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2006. – Т. 43. – №. 1. – С. 139-156.
2. Khair A.W. Research and Innovations for Continuous Miner’s Cutting Head for Efficient Cutting process of rock/coal //Department of Mining Engineering, West Virginia University, Morgantown, USA 17. 2001.
3. Yilmaz N. G., Yurdakul M., Goktan R. M. Prediction of radial bit cutting force in high-strength rocks using multiple linear regression analysis //International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2007. – Т. 44. – №. 6. – С. 962-970.
4. Dewangan S., Chattopadhyaya S., Hloch S. Wear assessment of conical pick used in coal cutting operation //Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2015. – Т. 48. – №. 5. – С. 2129-2139.
5. Plis M.N., Wingquist C.F., Roepke W.W. Preliminary evaluation of the relationship of bit wear to cutting distance, forces, and dust using selected commercial and experimental coal-and rock-cutting tools. US Department of the Interior, Bureau of Mines, 1988.
6. Khair A. W., Das T., Mishra B. Analysis of cutting bits and cutting drum affecting ground control in coal mines //27th International Conference on Ground Control in Mining. – 2005. – С. 295-304.

7. Bao R. H. и др. Estimating the peak indentation force of the edge chipping of rocks using single point-attack pick //Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2011. – Т. 44. – №. 3. – С. 339-347.
8. Evans I. A theory of the cutting force for point-attack picks //Geotechnical and Geological Engineering. – 1984. – Т. 2. – №. 1. – С. 63-71.
9. Goktan R. M. A suggested improvement on Evans' cutting theory for conical bits //Proceedings of fourth symposium on mine mechanization automation. – 1997. – Т. 1. – С. 57-61.
10. Goktan N. и др. A semi-empirical approach to cutting force prediction for point-attach picks //Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2005. – Т. 105. – №. 4. – С. 257-263.
11. Roxborough F. F., Liu Z. C. Theoretical considerations on pick shape in rock and coal cutting //Proceedings of the Sixth Underground Operator's Conference, Kalgoorlie. – 1995. – С. 189-193.
12. Bilgin N., Copur H., Balci C. Mechanical excavation in mining and civil industries. CRC Press, 2013. – 353 С.

ИНВАРИАНТЫ ПАРАМЕТРОВ РАЗРУШЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД И МАССИВА ПРИ ДЕЙСТВИИ ОБЪЕМНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Норель Б.К., Азаренко В.А.

АО «ННЦ ГП ИГД им. А.А. Скочинского»

В начале аналитического исследования, выполняемого в настоящем сообщении, является применение научных положений общей теории напряженного и деформированного состояния в материале сплошной среды [1]. Затем, при построении и использовании математических моделей инвариантов главных напряжений и главных деформаций [1], выполняются дополнительные включения математических соотношений для описания изменения механического состояния массива и обоснования механической модели энергетического критерия прочности неоднородных горных пород.

Логически целесообразным этапом научного исследования является обоснование параметров напряженного и деформированного состояния сплошной среды (в частности массива горных пород) и установление механических свойств материала при действии объемного напряженного состояния и составление на их основе уравнений получения физических и механических показателей механического состояния деформируемых твердых тел.

Механический процесс перераспределения объемного напряженного состояния протекает в зоне максимальных сжимающих напряжений и в зоне предельных состояний достаточно закономерно, поэтому целесообразно дать пояснение протеканию механических стадий при различных соотношениях между главными напряжениями в основных видах объемных напряженных состояний.

На рисунке 1 представлено распределение объемного напряженного состояния в виде главных напряжений σ_1 , σ_2 , σ_3 и изменение величины параметра Надаи [2], характеризующего различные виды объемных напряженных состояний.

При проведении горных выработок массив горных пород располагается в первой зоне объемного напряженного состояния. Обычно эта зона классифицируется в механике горных пород как зона геостатического сжатия, где формируется объемное напряженное состояние с соотношениями между главными напряжениями вида $\sigma_1 = \sigma_2 \geq \sigma_3$. Согласно теории Надаи этот вид объемного напряженного состояния относится к обобщенному сжатию, так как $\mu_G = +1$. Во второй допредельной зоне главные напряжения постепенно достигают своих максимальных сжимающих значений. При этом максимальное сжимающее напряжение σ_3 достигает своего максимального значения наиболее интенсивно, а минимальное сжимающее напряжение σ_1 возрастает значительно медленнее (рис. 1). Промежуточное главное напряжение σ_2 , принимает среднее значение двух главных напряжений. При значениях трех главных напряжений σ_1 , σ_2 , σ_3 и величине параметра Надаи вычисляется по известной зависимости [2]. Этот вид объемного напряженного состояния относится к обобщенному сдвигу, так как $\mu_G = +0$. Третья зона горных пород массива вблизи горной выработки для достаточно нарушенных горных пород характеризуется физическим состоянием доразрушения, в которой, вследствие влияния выработки, могут сформировываться трещины, похожие по форме существующей выработки впереди забоя. Три главных напряжения теряют свою способность к сопротивлению действующим нагрузкам по всем трем направлениям воздействия. В этой зоне величина максимального сжи-

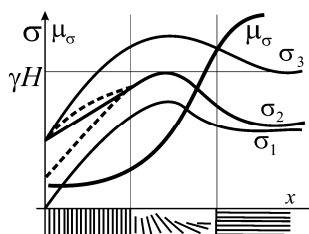


Рис. 1 Характер изменения трех главных напряжений и параметра Надаи в пласте полезного ископаемого в массиве впереди очистного забоя

мающего напряжения уменьшается до величины промежуточного главного напряжения, а величина главного минимального сжимающего напряжения стремится к нулю. В этой зоне нагружения формируется объемное напряженное состояние со следующими соотношениями между главными напряжениями $\sigma_3 = \sigma_2; \sigma_1 \approx 0$. Этот вид объемного напряженного состояния относится к обобщенному растяжению, так как $\mu_G = -1$. В этой зоне реализуется значительная величина максимальной растягивающей деформации ϵ_1 .

Определение главных напряжений объемного напряженного состояния и параметров изменения механического состояния породного массива осуществляется следующим образом [3,4].

Вначале выбираются исходные данные компонентов полного поля напряжений при действии объемного напряженного состояния и компоненты полного поля деформаций при действии объемного деформированного состояния.

Компоненты тензора напряжений состоят из девяти напряжений объемного напряженного состояния, действующего по трем взаимно перпендикулярным осям координат x, y, z , и, кроме того, комбинация касательных напряжений в этом тензоре напряжений является симметричной относительно главной диагонали тензора осевых напряжений.

Написание тензора напряжений для объемного напряженного состояния среды представляется следующим образом:

$$T_G = \begin{bmatrix} \sigma_X & \tau_{XY} & \tau_{XZ} \\ \tau_{YX} & \sigma_Y & \tau_{YZ} \\ \tau_{ZX} & \tau_{ZY} & \sigma_Z \end{bmatrix} \quad (1),$$

где T_G – тензор компонент напряжений объемного напряженного состояния массива горных пород. При этом $\tau_{XY} = \tau_{YX}, \tau_{XZ} = \tau_{ZX}, \tau_{YZ} = \tau_{ZY}$.

Из переменных компонент объемного напряженного состояния, записанного в тензоре (1) для поля напряжений, составляется математическая модель определения компонент главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$. Выбирается шаровой тензор.

Затем составляется система алгебраических уравнений, левая часть которых представляет собой разность между компонентами тензора напряжений объемного напряженного состояния (1) и компонентами шарового тензора (2). Правая часть этой системы уравнений представляется в виде нулевого вектора третьего порядка.

Эта система уравнений служит для определения величин тензора главных напряжений, у которого отличными от нуля являются только

компоненты напряжений по главной диагонали. Раскрывая определитель третьего порядка, составленный для этой системы тензорных уравнений

$$\begin{vmatrix} \sigma_X - \sigma & \tau_{XY} & \tau_{XZ} \\ \tau_{YX} & \sigma_Y - \sigma & \tau_{YZ} \\ \tau_{ZX} & \tau_{ZY} & \sigma_Z - \sigma \end{vmatrix} = 0 \quad (3),$$

получаем уравнение относительно переменной третьей степени искомого напряжения σ . Корни уравнения (3) $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ являются главными напряжениями, не зависят от положения осей координат, поэтому и параметры I_1, I_2, I_3 в форме инвариантов координат равны выражениям

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3, \quad I_2 = \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3, \quad I_3 = \sigma_1\sigma_2\sigma_3, \quad (4).$$

Три взаимно перпендикулярных направления осей координат образуют главные плоскости, на которых располагаются экстремальные значения главных напряжений. Эти напряжения являются нормальными, а компоненты величин касательных напряжений $\tau_{XY} = \tau_{YZ} = \tau_{XZ} = 0$, равны нулю.

При реализации фиксирования деформаций, характеризующих механическое состояние деформируемого твердого тела, определяются заданием трех уравнений состояния, выражающих три инварианта тензора главных напряжений и три инварианта тензора главных деформаций.

Заключение

В статье излагается аналитическая схема определения нового комплекса параметров, определяющих изменение механического состояния породного массива вблизи горных выработок. Включение в полученный комплекс дополнительного параметра Надаи позволяет составить новые математические модели механического состояния массива и энергетического критерия прочности согласно разработкам Мора [5], Надаи [2], с учетом неоднородных свойств горных пород в объемном напряженном состоянии.

Литература

1. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. М.: Высшая школа, 1961, 538 с.
2. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. Т.1, М. Мир, 1969, 648 с.
3. Mohr O., Z. VDI . 1900 , 1524.

ОСОБЕННОСТИ МОДИФИКАЦИЙ СПЕКТРАЛЬНО-АКУСТИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Шадрин А.В.

*Федеральный исследовательский центр угля и углехимии
Сибирского отделения Российской академии наук*

Проблема борьбы с динамическими (ДЯ) и газодинамическими (ГДЯ) явлениями в угольных шахтах возрастает с интенсификацией горных работ и увеличением глубины разработки. Наиболее сложными и опасными из них являются внезапные выбросы угля и газа и горные удары.

Анализ признаков выбросоопасности угольных пластов, зарегистрированных перед этим явлением в призабойном пространстве, а также известных моделей потери устойчивости горного массива при протекании этого явления, свидетельствует о том, что основными факторами, определяющими выбросоопасность, являются напряженное состояние призабойного пространства, внутрислоевое давление свободного газа и прочность угля. Поэтому известные способы прогноза динамических явлений, в том числе автоматизированного прогноза, основаны на контроле одного или нескольких этих факторов.

В последние годы из методов автоматизированного прогноза наибольшее развитие получил тот, который основан на анализе спектрального состава шумов работающего горного оборудования, прошедших через контролируемый участок призабойного пространства горного массива. Данный метод в разные годы в литературных источниках и нормативных документах имел различное название. Исторически первое его название – метод прогноза по амплитудно-частотной характеристике пласта [1]. Данное название не прижилось, по-видимому, потому что слишком длинное.

Последующее его название – акустический [2]. Оно также не прижилось, т.к. акустических методов контроля горного массива очень много и его сущность в названии не просматривается.

В действующих в настоящее время нормативных документах этот метод называется «по параметрам искусственного акустического сигнала» [3]. На наш взгляд данное название также чрезмерно длинное и не отражает сущность метода прогноза. Кроме того, задействованное в технологическом процессе оборудование (комбайн, струг, буровая установка и др.), используемое в данном методе в качестве источника акустических колебаний, зондирующего контролируемый участок горного массива, работает в естественных условиях, и поэтому назвать генерируемые им акустические колебания искусственными представляется ошибочным.

Мы считаем, что поскольку метод реализуется путем анализа спектрального состава акустических колебаний, прошедших через горный массив, ему больше подходит название спектрально-акустический, - оно краткое и полностью отражает сущность метода, заключающегося в следующем. На основании обработки спектров «шумов», записанных примерно на 300 км магнитной ленты при прогнозе выбросоопасности аппаратурой типа ЗУА методом акустической эмиссии, С.В. Мирер со своими сотрудниками установил, что при приближении выработки к выбросоопасной зоне амплитуды высокочастотных составляющих спектра шумов работающего горного оборудования возрастали сильнее, чем амплитуды низкочастотных составляющих. Поэтому их отношение было определено как показатель выбросоопасности.

Одной из проблем в реализации этого метода является выбор рабочих частот, характеризующих низкочастотную и высокочастотную области спектра шумов работающего горного оборудования.

В настоящее время известны два подхода к определению рабочих частот. Первый реализуется, например, аппаратурой АК-1 (или ее модификацией АК-1М) и заключается в разбиении рабочего частотного диапазона (например, 20-1500 Гц) на поддиапазоны низких и высоких частот. Разбиение осуществляется с помощью фильтров нижних и верхних частот.

Так, например, нормативным документом при использовании аппаратуры АК-1 или АК-1М регламентируется провести оценочные разведочные наблюдения для выбора частот среза фильтров высоких частот (ФВЧ) на одно из трех значений 600, 800 или 1000 Гц, и частот среза фильтров низких частот (ФНЧ) на одно из трех значений 160, 200 или 300 Гц [5] (см. рис. 1).

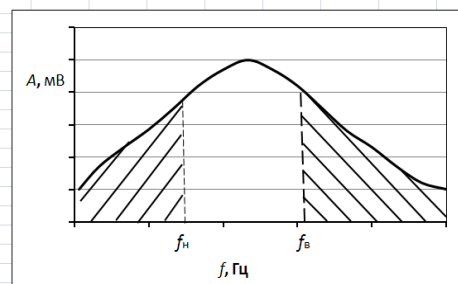


Рис. 1. Выбор низкочастотной и высокочастотной областей спектра акустического сигнала для определения показателя опасности проявления динамического явления аппаратурой АК-1: f_n – частота среза ФНЧ, f_v – частота среза ФВЧ

Недостаток этого подхода состоит в следующем.

1. Не используются спектральные составляющие акустического сигнала, лежащие между частотами среза ФВЧ и ФНЧ. Поэтому если изменение напряженного состояния горного массива при ведении горной выработки приведет к существенному изменению спектра акустического сигнала именно в этой области частот, оно окажется незамеченным.

2. Необходимость проведения специальных работ для выбора частот среза фильтров высоких и низких частот и периодической их корректировки в зависимости от изменения горно-геологических и горно-технических условий.

3. Опыт применения этого подхода показал, что невозможно установить единое значение критической величины показателя выбросоопасности для всех шахт даже одного угольного бассейна. Поэтому критическое значение показателя выбросоопасности необходимо устанавливать экспериментально, однако методики выполнения этой процедуры нет.

Второй подход к выбору рабочих частот реализуется, например, системой акустического контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений (САКСМ) [6]. В соответствии с этим документом рабочий диапазон частот лежит в пределах 20-3500 Гц, а области низких и высоких частот устанавливаются следующим образом. Предполагается, что амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) акустического сигнала в зоне размещения приемника акустических колебаний имеет максимум. Обработка сигнала осуществляется автоматизировано с помощью специально разработанного программного обеспечения. Определяется частота, на которой амплитуда сигнала имеет максимальное значение A_{\max} (см. Рис.2). Левее этой частоты определяют частоты, сигналы на которых имеют соответственно амплитуды, равные $0,5A_{\max}$ и $0,75A_{\max}$. Эти частоты являются граничными низкочастотной области спектра. Аналогично этому правее частоты, соответствующей A_{\max} , определяют частоты, сигналы на которых имеют соответственно амплитуды, равные $0,75A_{\max}$ и $0,5A_{\max}$. Эти частоты являются граничными высокочастотной области спектра.

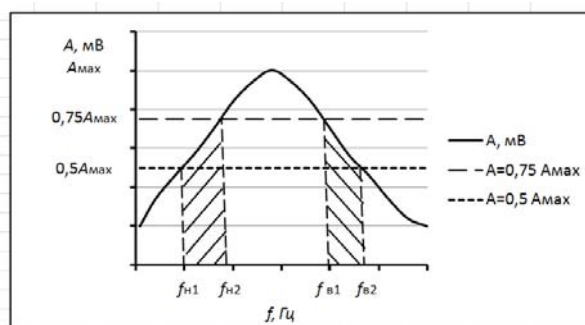


Рис. 2. Выбор низкочастотной и высокочастотной областей спектра акустического сигнала для определения показателя опасности проявления динамического явления системой САКСМ: $(f_{н1} - f_{н2})$ – низкочастотная область, $(f_{в1} - f_{в2})$ – высокочастотная область

Преимущество этого подхода по сравнению с предыдущим состоит в том, что границы высоких и низких частот не являются фиксированными, а автоматически корректируются в зависимости от АЧХ принимаемого сигнала.

Но данный подход также имеет недостатки, которые состоят в следующем.

1. Используется не весь спектр для определения показателя опасности (коэффициента относительных напряжений).

2. Подход предполагает, что форма АЧХ сигнала имеет явно выраженный максимум. Однако на практике регистрируются, в том числе, сигналы с убывающей формой АЧХ при изменении частоты от минимальной к максимальной в области рабочих частот. Для таких случаев алгоритм расчета предполагает принудительное искажение спектра сигнала, что влияет на показатель опасности.

3. Так же как и для предыдущего подхода к выбору рабочих частот нет методики для определения критического значения показателя выбросоопасности.

Существенным недостатком описанных модификаций спектрально-акустического метода прогноза является то, что он контролирует преимущественно напряженное состояние горного массива, практически никак не реагируя на изменения внутрипластового давления газа [7]. По этой причине ряд исследователей совершенно справедливо называют показатель опасности в форме отношения амплитуд высокочастотной и низкочастотной областей спектра сигнала коэффициентом относительных напряжений [8]. В связи с этим при использовании этого метода для прогноза выбросоопасности с учетом других факторов выбросоопасности идут по одному из двух путей.

По первому пути для того, чтобы скомпенсировать отсутствие учета давления газа и прочности перемятых угольных пачек в пласте, в качестве критического выбирают такое максимальное значение отношения амплитуд высокочастотной и низкочастотной частей спектра акустических колебаний $K_{кр}$, которое несколько ниже самого малого значения, из когда-либо замеренных перед внезапным выбросом угля и газа. Так, например, при использовании аппаратуры АК-1 нормативным документом регламентировалось устанавливать $K_{кр} = 3$ [9]. Нечувствительность данного способа прогноза к газовому фактору выбросоопасности и наличию перемятых (с низкой прочностью) пачек угля определяют завышенный «запас надежности» этого способа прогноза и, как следствие, недостаточную точность (достоверность) и экономическую эффективность.

Согласно второму пути разрабатывают способы и реализующие их многофункциональные системы, в которых критическое значение показателя выбросоопасности при прогнозе спектрально-акустическим методом корректируют путем учета газового фактора и прочности угля [10].

Таким образом, спектрально-акустический метод прогноза выбросоопасности и других типов динамических явлений используется как самостоятельно, так и в составе многофункциональных систем. Однако для повышения достоверности прогноза необходимо разработать методику для определения критического значения показателя выбросоопасности.

Литература

1. Мирер С.В., Хмара О.И., Масленников Е.В. О контроле выбросоопасности забоев по спектральным характеристикам акустических сигналов // Вопросы предотвращения внезапных выбросов. Научн. сообщ. ИГД им. А.А. Скочинского. – 1987. – С. 52-61.
2. Король В.И. Акустический способ прогноза газодинамических явлений в угольных шахтах / В.И. Король, А.В. Скобенко. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2013. – 181 с.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.08.2016 г. №339. – 129 с.
4. А.С. СССР №1222853. Способ акустического прогноза выбросоопасности угольных пластов и устройство для его осуществления / С.В. Мирер и др. Опубл. – 07.04.86, Бюл. №13.
5. Руководство по выполнению спектрально-акустического контроля (прогноза) выбросоопасности на шахтах Кузбасса. Утверждено Кузнецким управлением Ростехнадзора России 23.04.2002 г. // Кемерово, 2002. – 10 с.
6. Руководство по применению системы акустического контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений (САКСМ).- М.: МНТЛ РИВАС. 2016. – 49 с.
7. Shadrin A.V. Geophysical criterion of pre-outburst crack propagation in coal beds // *Journal of Mining Science*, 2016, Volume 52, Issue 4, pp 670–682.
8. Копылов К.Н. Автоматизированная система контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений / К.Н. Копылов, О.В. Смирнов, А.И. Кулик, А.И. Пальцев // Безопасность труда в промышленности, 2015. №8. С. 32-37.
9. Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах (Сборник документов) / Колл. авт. – М.: Государственное предприятие НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000. – С. 165-168.
10. Шадрин А.В. Требования к подсистеме контроля внезапных выбросов угля и газа многофункциональной системы безопасности угольных предприятий / А.В. Шадрин, Ю.А. Бирева // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. статей / Сиб. гос. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2015. – С.105-110.

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ
ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ СОВМЕСТНО
С ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ**

Добрынин А.А.

«ПироВзрыв»

Абдулгаджиев А.М.

ООО ПКФ «Стимул»

Тагиров М.М.

Агентство по транспорту и дорожному хозяйству Республики Дагестан

Абдурахманов Г.М.

*Институт экологии и устойчивого развития
Дагестанского государственного университета*

Промышленные испытания жидких взрывчатых веществ (ЖВВ) «Анилиты» по ТУ 7276-002-95310915-2016, которые изготавливаются непосредственно на местах применения из невзрывчатых компонентов, проведены в Республике Дагестан на участке реконструкции автодороги «Цуриб-Арчиб» в 2016 г.

Испытания проводились специалистами ООО ПКФ «Стимул», организации, имеющей право производства взрывчатых материалов промышленного назначения и их применения согласно лицензии Ростехнадзора.

При ведении буровзрывных работ (БВР) за основу были приняты параметры Типового проекта производства БВР - «Проект производства буровзрывных работ № 08-95310915-15 ППБВР «Производство БВР по рыхлению скальных пород скважинными и шпуровыми зарядами при реконструкции автодороги «Цуриб-Арчиб», участок «Мостовой переход на 21 км», Чародинский район, Республика Дагестан, г. Махачкала, 2015 г. Проектные параметры были рассчитаны для зарядов аммонита № 6 ЖВ, поэтому, и в связи с тем, что взрывчатые характеристики ЖВВ «Анилиты» выше чем у аммонита № 6 ЖВ, что также подтвердили и проведённые испытания, их пришлось корректировать, а именно, увеличивать расстояния между заряжаемыми выработками и снижать массу зарядов.

В течение всего периода испытаний не было случаев отказов, неполных взрывов и выгораний ЖВВ «Анилиты». Заряды формировали в пластиковых, трубчатых оболочках диаметром 12-90 мм с толщиной стенки 1-3 мм. Для изготовления детонирующих шнуров (ДШ) также использовали ЖВВ, которые заливали в гибкие пластиковые трубки диаметром 6-8 мм с толщиной стенки около 1 мм.

Заряды ЖВВ использовали для ручного заряжания сухих и обводнённых скважин диаметром 76 и 105 мм, глубиной (длиной) от 1 до 21 м и шпуров диаметром 10, 43 и 74 мм, глубиной (длиной) от 0,3 до 4,8 м,

пробуренных в скальных грунтах - прочных, плотных по ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация»; средняя плотность в естественном залегании 2700 кг/м³.

Шпуровые заряды диаметром 10 мм испытывали при разрушении негабарита и валунов, с целью изучения возможности применения в перспективе подобных зарядов, с минимально возможными параметрами на специальных взрывных работах - для разрушения железобетонных и металлических конструкций в сложных, стеснённых условиях, например, внутри зданий и сооружений, в т.ч. в непосредственной близости от работающего оборудования [1].

В результате проведённых испытаний установлено, что заряды ЖВВ «Анилиты» безотказно детонируют от «Безопасного средства электрического инициирования» по ТУ 3414-003-95310915-2016, располагаемого внутри ЖВВ, а также от стандартного ДШ, заводского изготовления, размещаемого снаружи зарядов вплотную к их оболочке.

Взрывные работы проводили с целью создания профильной выработки под основание (полку) автодороги с врезкой, углублением в скалу. Для создания ровных откосов автодороги на её отдельных участках применялся метод контурного взрывания с использованием скважинных зарядов, формируемых в восстающих, наклонных и горизонтальных скважинах, при этом была отработана технология, при которой применялись заряды с переменными диаметрами, располагаемыми в одной зарядной выработке. Данной технологии было уделено много внимания, т.к. от качества контурного взрывания в значительной степени зависят сроки безопасной эксплуатации как объектов строительства, так и горного производства, поэтому во многих компаниях мира данному вопросу уделяется серьёзное внимание [2, 3].

В процессе испытаний проводились взрывы с суммарной массой ЖВВ от 200 до 400 кг за один взрыв, при этом количество одновременно взрываемых скважинных зарядов достигало 50 шт. Время нахождения зарядов в скважинах составляло от 1 до 24 часов.

В ходе испытаний было установлено, что качество взрывной отбойки горных пород с помощью зарядов ЖВВ «Анилиты» по техническим показателям превосходит те же показатели при использовании промышленного ВВ аммонита № 6ЖВ, которое вначале производства БВР применяли на данном производственном объекте. Высокая работоспособность ЖВВ позволила существенно снизить объём буровых работ за счёт увеличения на 15-20 % расстояний между скважинами и шпурами, в связи с чем соответственно, снизился удельный расход ВВ по сравнению с аммонитом № 6 ЖВ, при этом выход «негабарита» значительно снизился, ориентировочно на 15 %.

Для реализации технологии изготовления и применения ЖВВ «Анилиты» была разработана следующая нормативно-техническая докумен-

тация: ТУ 7276-002-95310915-2016 ВЕЩЕСТВА ВЗРЫВЧАТЫЕ ЖИДКИЕ «АНИЛИТЫ», Регламент технологического процесса изготовления веществ взрывчатых жидких «АНИЛИТОВ» (ТУ 7276-002-95310915-2016) РТП 001-95310915-2016» и ТУ 3414-003-95310915-2016 «Безопасное средство электрического инициирования», которые были подкорректированы по результатам приёмочных испытаний.

Научной основой для разработки ЖВВ «Анилиты» стали результаты исследовательских работ, представленные в трудах научно-исследовательского института «ЦНИИподземмаш» [4], а также в патентах Российской Федерации: № 2416781 «Способ формирования заряда ВВ», № 2464254 «Способ формирования жидкого взрывчатого вещества», № 2471144 «Безопасное устройство для электрического инициирования жидких взрывчатых веществ» и № 2596212 «Способ формирования заряда взрывчатого вещества».

Как показали испытания использование «Безопасного устройства для электрического инициирования жидких взрывчатых веществ» пока, что не позволяет реализовать технологию взрывных работ с обеспечением заданных замедлений между взрывами отдельных зарядов, когда требуется действительно много замедлений, поэтому вопрос об использовании средств инициирования (СИ) заводского производства в технологии с ЖВВ остаётся актуальным. Для взрывных работ на объектах реконструкции и строительства, а также при работах эпизодического и передвижного характера, обычно, достаточно ограниченного количества СИ, которые организация могла бы хранить в сейфах. Однако согласно п. 462 «Правил безопасности при взрывных работах» [5] сейфовое хранение ВМ традиционно допускается только в научно-исследовательских институтах, лабораториях и учебных заведениях. На наш взгляд, данное положение, переписываемое с предыдущих правил, без всяких на то обоснований, явно тормозит возможность развития новых взрывных технологий, которые могут оказаться весьма гибкими, мобильными и востребованными на современном этапе развития российской промышленности, т.к. многие предприятия научились самостоятельно изготавливать не плохие ВВ без нужды хранения их на складах ВМ.

Возвращаясь к испытаниям, следует отметить, что возможно, впервые в России, во время промышленных испытаний нового ВВ, непосредственно на объекте испытаний проводились экологические исследования, направленные на изучение влияния БВР на окружающую природную среду. Вопросы экологии в последнее время активно поднимаются во всём мире и в России, где, согласно Указу Президента Российской Федерации [6], 2017 год планировалось провести как год экологии.

Оценку экологической обстановки в районе ведения взрывных работ как в процессе их проведения, так и после проводила лаборатория эко-

логического мониторинга Института экологии и устойчивого развития Государственного университета Республики Дагестан.

Анализ грунтов проводился: на системе капиллярного электрофореза «Капель-105М» - на содержание нитратов и флюориметрическим методом, на флюориметре «Флюорат 02-3М» - на содержание нефтепродуктов.

В результате проведённых исследований установлено, что во время ведения взрывных работ и после их завершения природный фон оставался в пределах нормы: содержание нитратов до взрыва 15-31 мг/кг, после взрыва – 66-74 мг/кг; содержание нефтепродуктов до взрыва 275-300 мг/кг, после взрыва – 305-423 мг/кг. При этом экологами отмечено, что значительное повышение нефтепродуктов в почве вызвано, скорее всего, работой на объекте бульдозеров и экскаваторов, а также многолетней эксплуатацией реконструируемого участка автодороги.

К сожалению, аналогичные экологические исследования влияния продуктов взрывов различных ВВ на окружающую среду на горных предприятиях страны сегодня практически не проводятся, а стоило бы, причём не только во время испытаний новых ВВ. Это актуально там, где при проведении взрывных работ нередко наблюдаются огромные выбросы токсичных продуктов взрыва, для того, чтобы, затем приняв эффективные меры защититься от нерадивых, неграмотных, невежественных «специалистов», которые ради прибыли своих компаний, видимо, готовы угробить окружающую среду. Следует помнить, что, в первую очередь, всем нам нужен чистый воздух, чистая вода и почва, а всё остальное это ещё вопрос. И если кто-то не владеет современными, экологически чистыми, технологиями, то их следует серьёзно наказывать, лишать лицензий, закрывать, потому что никакие страховые компании не компенсируют ущерб, наносимый ими окружающей среде, т.е. среде в которой мы с Вами живём.

В отличие от других современных промышленных смесевых ВВ в жидких взрывчатых растворах, которыми являются и ЖВВ «Анилиты», наиболее близкий контакт между окислителем и горючим. Контакт в истинных растворах, может быть на уровне молекул, атомов, ионов, поэтому вряд ли в ближайшие десятилетия промышленность сможет получить на вооружение мощные смесевые ВВ с более экологически чистыми продуктами взрыва, возможно, в том числе поэтому учёные Китая и других стран стали уделять больше внимания исследованиям ВВ данного класса [7-9].

На основании анализа результатов приёмочных испытаний Ростехнадзором 17 января 2017 г. выдано разрешение на применение на земной поверхности ЖВВ «Анилиты» по ТУ 7276-002-95310915-2016. Данные ЖВВ могут эффективно применяться при производстве взрывных работ для разрушения скальных горных пород, железобетонных и металлических конструкций, отходов металлургических производств и практически любых объектов из самых прочных материалов.

Литература

- 1 Добрынин А.А. Опыт применения безопасного инициатора жидких ВВ на взрывных работах внутри действующих ГЭС. Международная конференция «Ударные волны в конденсированных средах». Тезисы к докладам. Новгород, 2010. - с. 121-124.
- 2 Wenbo Lu, Ming Chen, Xiang Geng, Daqiang Shu, Chuangbing Zhou A study of excavation sequence and contour blasting method for underground powerhouses of hydropower stations // Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 29, May 2012, Pages 31–39.
- 3 Pradeep K. Singh, M. P. Roy, Amalendu Sinha. Controlled Blasting for Safe and Efficient Mining Operations at Rampura Agucha Mine in India / 8th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction. ĩ China, 2014. P. 137–151.
- 4 Бендерский Л.Ф., Аджемян В.Я., Пономарёв В.А. Исследование параметров детонации жидких взрывчатых смесей, применяемых во взрыво-генераторных установках. В сб. трудов Механизация горнопроходческих работ, выпуск 12, М.: ЦНИИПОДЗЕМАШ, 1976, с. 104-111.
- 5 Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах». Утверждены приказом Ростехнадзора от 16.12.2013 г. № 605. Зарегистрированы Минюстом России 01.04.2014 г., регистр. № 31796.
- 6 Указ Президента Российской Федерации от 05.01.2016 г. № 7 «О проведении в Российской Федерации Года экологии»
7. Jiping Liu, Liquid Explosives. College of Materials Science and Engineering Beijing Institute of Technology, Beijing, China. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015, - 344 p.
8. Araos M. Patent WO2013013272 Explosive composition, 2013
9. Bruce Cochrane. Tech Spec // Explosives Engineering. THE JOURNAL OF THE INSTITUTE OF EXPLOSIVE S ENGINEERS, December, 2014. — P. 28–29.

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Одинцев В.Н.

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

Негативное техногенное воздействие на недра при разработке месторождений связано с разнообразными процессами: геомеханическими, гидрогеологическими, геодинамическими и т.п. Однако нередко негативные последствия обусловлены взаимодействием процессов, например, таким взаимодействием объясняются прорывы подземных вод в горные выработки.

В России накоплен большой опыт отдельного и совместного решения геомеханических и гидрогеологических проблем при разработке полезных ископаемых. Вклад в решение этих проблем внесли и сотрудники ИПКОН РАН акад.К.Н.Трубецкой, М.А.Иофис, И.В.Милетенко, Н.А.Милетенко, И.А.Мальцева и др. [1-6].

Вместе с тем, несмотря на выполнение требований по безопасности горного производства, аварии гидрогеомеханической природы иногда случаются и приводят к гибели горнорабочих. Анализ крупных аварий показывает, что они большей частью связаны не с «человеческим» фактором, а со сложной природой явлений, с взаимодействием природных и техногенных факторов, которые не могли быть учтены на основе разработанных рекомендаций по безопасности работ. Случаи таких аварий определяются как аномальные. Для их объяснения необходимы дополнительные исследования на стыке наук. Поэтому наряду с исследованиями в рамках отдельных научных дисциплин, как это обычно имеет место в работах по рассматриваемой тематике, необходимо развивать междисциплинарные исследования, включающие геомеханику и гидрогеологию, а также геодинамику, инженерную геологию, структурную геологию, разрушение горных пород и другие науки [7].

Разработка основ междисциплинарных исследований в горных науках является новым элементом и требует новых идей и соответствующего аппарата исследований. Современные тенденции развития исследований на стыке наук показывают, что средством получения новых знаний может быть компьютерное моделирование. С помощью моделирования, путем вариации параметров модели, можно установить необходимые зависимости главных параметров модели от исходных данных и выявить возможные тенденции развития геопроцессов. Соотнося полученные результаты с натурными данными, методом «пересчета» можно уточнить интервалы значений входных параметров и сделать более адекватные количественные оценки.

Широкое использование компьютерного моделирования в исследованиях геопроцессов должно сопровождаться совершенствованием методологии моделирования. Одна из новаций может быть связана с введением новых критериальных соотношений, для чего надо уточнить понятие геопроцесса.

Процесс в широком смысле слова определяется как последовательная смена состояний. Геомеханический процесс, очевидно, следует трактовать как последовательную смену связанных геомеханических состояний массива пород. Этот процесс, вообще говоря, является новым объектом исследования в горной геомеханике. Хотя термин «техногенный геомеханический процесс» используется давно, математически он не описан.

Действительно, в традиционных геомеханических исследованиях рассматривается, как правило, какое-либо характерное состояние массива. В отдельных случаях рассматриваются несколько состояний или даже некоторая совокупность состояний, каждое из которых описывается параметрами состояния. Широко используется, например, понятие «напряженно-деформированное состояние массива», которое связано с расчетом техногенных напряжений и деформаций, часто с использованием того или иного критерия состояния, например, критерия Кулона-Мора.

Если же рассматривать процесс, как смену состояний, то необходимо ввести в рассмотрение дополнительные параметры и соответствующие критериальные соотношения, которые характеризуют именно изменения. Эти параметры логично назвать параметрами изменения, а критериальные соотношения – критериями изменений.

Одним из таких параметров является геометрический параметр, определяющий преимущественное направление развития геопроцесса. Выбор направления развития далеко не очевиден. Например, направление развития разрушения может определяться либо направлением минимальной прочности, либо направлением максимального напряжения, либо направлением максимальных деформаций и т.п.. Этот вопрос требует анализа физической природы геопроцесса, граничных условий, особенностей внешней нагрузки. На основе выбранного критерия изменения определяется вектор развития геопроцесса.

Другой геомеханический параметр изменения может отражать кинематические условия для смещений. В этом случае критериальное соотношение для деформаций определяется условиями стеснения массива. Например, сдвижение крупномасштабного структурного блока относительно «мягкой» породы может быть ограничено соседними жесткими блоками.

Параметром изменения может быть энергетический параметр, который отражает специфику энергетических изменений в геопроцессе. С помощью этого параметра и соответствующего критерия можно определить – идет ли процесс с выделением внутренней энергии или с поглощением энергии (диссипацией). Энергетический критерий изменений определяет возможность перехода геопроцесса в динамическую фазу, что важно для прогноза внезапных динамических явлений, в частности горных ударов.

Примером междисциплинарного исследования геомеханических и гидрогеологических процессов с учетом сделанных выше замечаний может быть анализ условий прорыва воды в подземную выработку на шахте Юнь-Яга (Воркутауголь), ныне закрытой из-за нерентабельности добычи.

При отработке пласта n_{11} произошел прорыв воды из провала в погашенные выработки: вентиляционный штрек, далее в лаву и конвейерный штрек [8]. Мощность пласта составляла 1,9 м, угол падения 10^0 (рис.1). Непосредственная кровля представлена алевролитом мощностью 3м, прочностью 40МПа; основная кровля – слой песчаника мощностью примерно 14м, прочностью 70МПа. В зоне выветривания породы ослаблены процессами окисления и отдельными трещинами, которые характеризуют как "морозобойные". К затоплению провала водой привел повышенный весенний уровень паводковых вод.

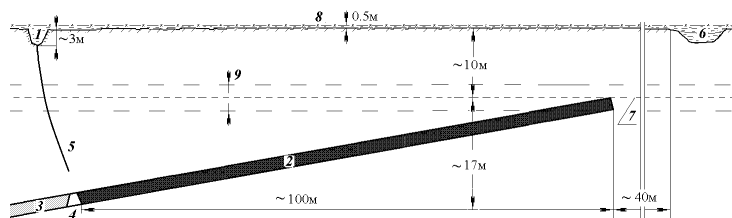


Рис.1. Схема прорыва воды на шахте "Юнь-Яга" (пласт n_{11}):
1 – провал; 2 – целик; 3 – отработанный пласт; 4 – вентиляционный штрек; 5 – трещина; 6 – река; 7 – выход пласта и коренных пород под наносы; 8 – уровень паводка на момент события; 9 – талики

Было проведено моделирование геомеханической и гидрогеологической ситуации с использованием подхода, описанного в [4,5]. В основе этого подхода лежит положение о том, что образование магистральной водопроводящей трещины связано с суммарным действием горного давления и гидростатического давления воды, т.е. трещина фактически является следствием естественного гидроразрыва пород.

В расчетах провал представлял собой углубление на земной поверхности в виде части эллипсоида глубиной около 3м. Исследовались различные ситуации с начальными трещинами, начинающимися из провала. При развитии трещины учитывались два фактора: напряженное состояние массива и давление воды в трещине, которое с глубиной изменяется по закону гидростатики. Расчеты развития трещины проводились последовательными шагами с использованием МКЭ. На рис. 2,а показаны некоторые результаты расчетов напряжений – изолинии главного напряжения, которое является растягивающим и вызывает разрыв пород.

Анализ состояния массива пород в окрестности трещины и штрека показал, что трещина может достигнуть кровли штрека, но может и застопориться в развитии из-за локального сжатия породы. Если в первом случае сразу возможен динамический прорыв воды в выработку, то во втором случае возможна активная фильтрация воды.

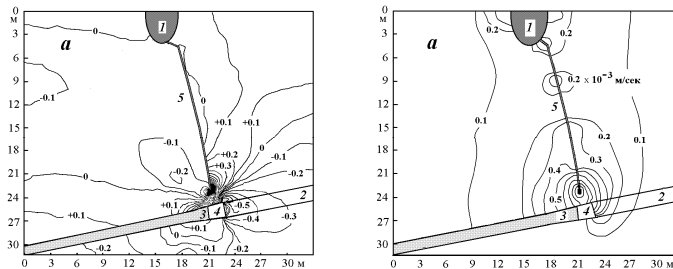


Рис. 2. Изолинии главного растягивающего напряжения (а) (МПа) и скоростей фильтрационного потока воды в выработку из трещины гидроразрыва при длине трещины 24м: 1 – провал; 2 – пласт; 3 – отработанный пласт; 4 – вентиляционный штрек; 5 – трещина

Для анализа особенностей фильтрационного потока в штрек решалась задача гидрогеологии, в которой совокупно рассматривалась фильтрация воды непосредственно из провала и из растущей трещины естественного гидроразрыва. В расчетах использовались данные о коэффициенте фильтрации алевролита, который составляет примерно 0,001м/сек.

Из расчетов следует, что если длина трещины меньше 20м, то фильтрационный поток воды из трещины в массив чрезвычайно мал. Ситуация изменяется, когда трещина подходит к выработке. На рис.2,б показана ситуация, когда длина трещины составляет около 24м. Как видно из рисунка, поток воды сильно локализован у кончика трещины. Оценка показала, что водоприток через свободную (незакрепленную) поверхность площадью 15м² может составлять примерно 50 м³/час. При таком интенсивном водопритоке следует ожидать размыва алевролита в кровле выработки и его частичного обрушения с последующем открытием магистральной трещины и прорывом воды в выработку. Эта случай и произошел на практике.

Проведенное моделирование показало справедливость ранее сделанного вывода о том, что причиной прорыва воды в штрек стало развитие трещины из провала в направлении штрека. Однако, нами установлено, что водопроточная трещина не является морозобойной (как считалось в экспертном заключении о причинах прорыва воды), а представляет собой трещину гидроразрыва пород в области низких техногенных напряжений

Таким образом, междисциплинарное исследование, включающее геомеханику, теорию фильтрации, геодинамику и структурную геологию, позволило более глубоко понять причину затопления выработки. Важно подчеркнуть, что развитие трещины – это процесс, результат

которого зависит от всех промежуточных состояний трещины. Расчет траектории трещины стал возможен только посредством малых последовательных приращений. На каждом расчетном шаге использовались соответствующие критериальные соотношения для приращений длины трещины. Следует отметить, что полученная в расчетах траектория трещины (рис.2) отличается от гипотетической кривой, показанной на рис.1.

Изучение механизма прорыва воды из провала в выработку создает благоприятную основу для разработки адекватных рекомендаций по прогнозу подобных событий в будущем. В основе этих рекомендаций определяющими могут быть два фактора: 1) опережающее компьютерное моделирование на стыке геомеханики и гидрогеологии; 2) инструментальный мониторинг сдвижения пород, поскольку, как показало моделирование, развитие магистральной водопрводящей трещины изменяет процесс сдвижения пород. Своевременное междисциплинарное моделирование позволило бы спрогнозировать опасную ситуацию и предотвратить прорыв воды в выработку.

Литература

1. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рьльникова М.В, Радченко Д.Н. и др. Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых. – М.:ИПКОН РАН, 2012, 206 с.
2. Трубецкой К.Н., Иофис М.А., Милетенко И.В., Милетенко Н.А. и др. Проблемы комплексного гидрогеологического и геомеханического техногенного воздействия на геосреду. В сбор. «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды» - Екатеринбург: Изд ИГД УрО РАН, 2012, с. 23-28.
3. Иофис М.А., Мальцева И.А. Природа и механизм образования водопрводящих трещин в массиве горных пород // ГИАБ. – 2002. – №4. – С.33-34.
4. Одинцев В.Н., Милетенко Н.А. Прорыв воды в горные выработки как следствие самопроизвольного гидроразрыва массива пород//ФТПРПИ.– 2015.– № 3.– С.3-16.
5. Милетенко Н.А., Одинцев В.Н. Моделирование прорыва воды из наземного резервуара в подземную горную выработку // Маркшейдерский вестник. – 2016. – № 4. – С. 40-44.
6. Одинцев В.Н., Милетенко Н.А. Влияние геодинамических условий на взаимодействие техногенных геомеханических и гидрогеологических процессов при разработке месторождений твердых полезных ископаемых // ГИАБ.–2015. – № S1. – С. 247-259.
7. Одинцев В.Н. Междисциплинарные исследования в горных науках при ведущей роли геомеханики // ГИАБ. – 2016. – NS1. – С.195-214.
8. Милетенко Н.А. К вопросу о прорывах воды в подземные горные выработки // ГИАБ. – 2007. – №6. – С.107-111.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

Воронов Г.А.

*ПАО «Газпром» ООО «Газпром геотехнологии»,
Российский университет дружбы народов*

Сурип С.Д.

ПАО «Газпром» ООО «Газпром геотехнологии»

Маркшейдерская служба ООО «Газпром геотехнологии» укомплектована спутниковым оборудованием с поддержкой глобальных навигационных систем ГЛОНАСС и GPS. Известны случаи загробления сигнала GPS во время военных конфликтов в Югославии, Ираке, Афганистане, Осетии, Ливии, а также в воздушном пространстве Украины и над акваторией Черного моря [1]. При этом погрешность определения координат достигала 2 км, азимута - 6°. Так в 2014 г. Росавиация зафиксировала случаи сбоя или отказа бортовых навигационных систем GPS гражданских самолётов российских авиакомпаний, при полёте над территорией воздушного пространства Украины и над акваторией Черного моря. В январе 2016 г. из-за неверных действий служащего ВВС США при замене спутника GPS произошла рассинхронизация времени величиной $13,7 \cdot 10^{-6}$ с [2]. По причине чего на следующие 12 часов в Северной Америке наземные электронные сети и системы связи вышли из строя. Российские ВВС применяют для навигации только систему ГЛОНАСС [3]. В связи с этими фактами, нашей стране пришлось ускорить сроки ввода на полный уровень развития системы ГЛОНАСС и провозгласить курс на импортозамещение, в том числе использования отечественных технологий, аппаратного и программного обеспечений.

Влияние потенциального загробления GPS и полный «переход» на ГЛОНАСС для решения маркшейдерских задач представляется отрицательным, но полностью не изученным. Таким образом, сравнение результатов обработки спутниковых наблюдений с использованием различных глобальных навигационных систем в маркшейдерско-геодезическом мониторинге представляется актуальной темой исследований.

Целью исследований являлся анализ результатов обработки спутниковых наблюдений с использованием глобальных навигационных систем и оценка возможных последствий в случае невозможности использования сигнала GPS.

Для достижения цели исследований следует решить следующие задачи:

- получить разрешения неоднозначности векторов;
- сравнить полученные значения фиксированного решения при различных сочетаниях ГНСС;
- оценить возможности камеральной обработки спутниковых наблюдений при отсутствии спутников GPS;
- определить основные мероприятия при проведении постобработки без данных GPS.

Схема и параметры сети исследуемых спутниковых наблюдений представлены на рисунке 1.

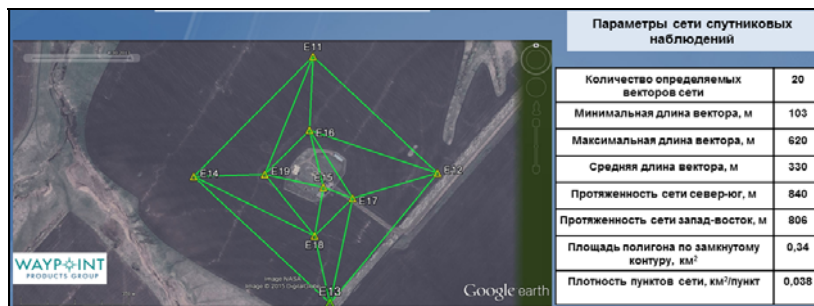


Рис. 1. Схема и параметры сети спутниковых наблюдений

В качестве аппаратного обеспечения для проведения спутниковых наблюдений было использовано 4 ГНСС приёмника Novatel DL-V3 (Канада), работавших в статическом режиме.

Камеральная обработка осуществлялась в прилагаемых к используемым приёмникам программных комплексах Spectrum Survey и Graf-Net (Канада).

Количество фиксируемых космических аппаратов (КА) по данным обработки в программе Spectrum Survey указано на рисунке 2.



Рис. 2. Количество космических аппаратов по данным Spectrum Survey

Как видно из рисунка 2 наименьшее количество КА для режима GPS+ГЛОНАСС составило 11, для ГЛОНАСС – 4, для GPS – 5, что соответствует минимальным требованиям для производства измерений в статическом режиме [4].

Значения горизонтального HDOP и позиционного PDOP факторов точности в режимах GPS+ГЛОНАСС и GPS по данным GrafNet указаны на рисунке 3. Следует отметить, что и по этому критерию, HDOP и PDOP находятся в допуске, особенно в режиме GPS+ГЛОНАСС, что может быть объяснено увеличением числа наблюдаемых спутников.

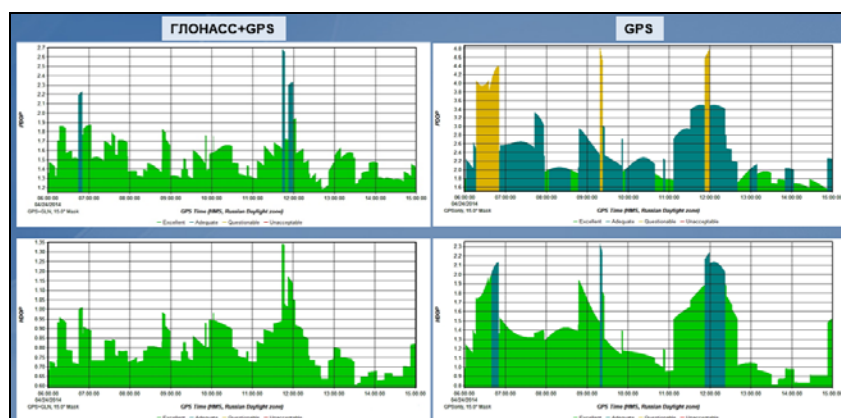


Рис. 3. Значения HDOP и PDOP по данным GrafNet

Невязки спутников в режимах GPS+ГЛОНАСС по данным Spectrum Survey изображены на рисунке 4.

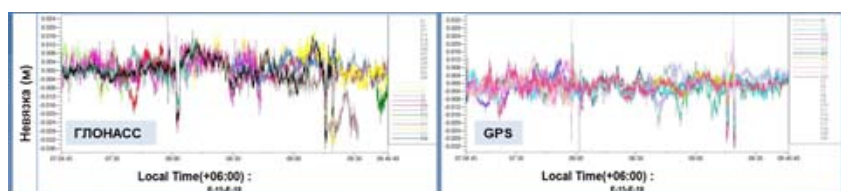


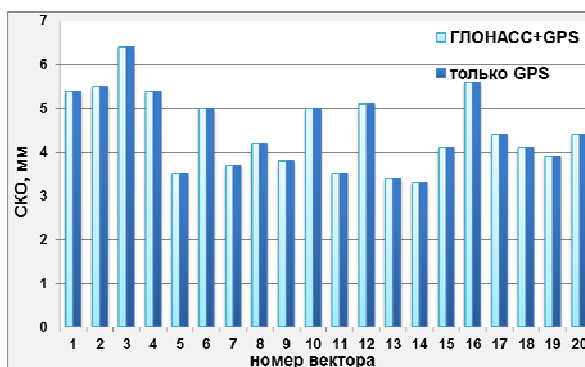
Рис. 4. Невязки спутников по данным Spectrum Survey

Из анализа рисунка 4 можно сделать вывод о том, что невязки спутников GPS и ГЛОНАСС близки и не превышают первых дециметров, что соответствует результатам, полученным авторами [5, 6].

Постобработка спутниковых наблюдений в программах GrafNet и Spectrum Survey проводилась с использованием точных эфемерид спутников и вычисляемых параметров ионосферы. Для уменьшения влияния атмосферной рефракции и многопутности маска возвышения спутников была принята равной 15° . Максимальная среднеквадратическая погрешность определения векторов ограничивалась паспортной точностью используемого оборудования и вычислялась как $0,005 \text{ м} + 1 \cdot 10^{-6} D$, где D – длина наблюдаемого вектора, м.

Результаты камеральной обработки спутниковых наблюдений в программном обеспечении GrafNet представлены на рисунке 5.

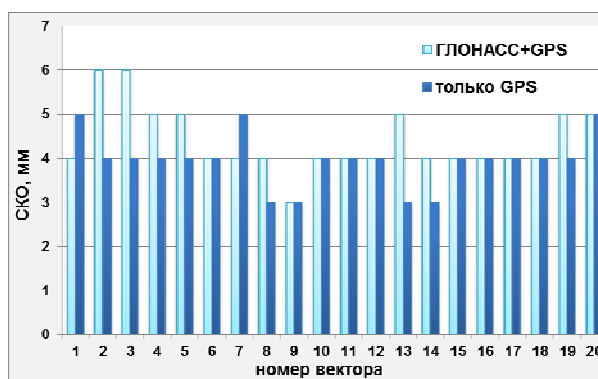
Рис. 5. Результаты камеральной обработки спутниковых наблюдений по данным GrafNet



По результатам камеральной обработки спутниковых наблюдений в ПО GrafNet отмечена невозможность получения решения только по спутникам ГЛОНАСС. Решения в режимах только GPS и GPS+ГЛОНАСС совпадают, что может быть объяснено тем, что данное программное обеспечение отбрасывает решения в режиме GPS+ГЛОНАСС при наличии разрешения неоднозначности векторов в режиме GPS.

Результаты постобработки спутниковых наблюдений в программе Spectrum Survey представлены на рисунке 6.

Рис. 6. Результаты постобработки спутниковых наблюдений по данным Spectrum Survey



Анализируя полученные результаты можно отметить невозможность получения решения только по спутникам ГЛОНАСС, так же как и в программе GrafNet, в половине случаев результаты решения в режимах GPS и GPS+ГЛОНАСС совпадают, в 40% случаях точнее решение в режиме GPS, в оставшихся 10% случаях результаты решения в режиме GPS+ГЛОНАСС точнее.

По итогам проведения камеральной обработки спутниковых наблюдений можно сформулировать следующие выводы:

- используемое для постобработки спутниковых наблюдений программное обеспечение не позволяет проводить обработку векторов по данным только ГЛОНАСС наблюдений;
- средние квадратические погрешности определения векторов в режиме GPS+ГЛОНАСС для программы Spectrum Survey в 1,13 раза больше средних квадратических погрешностей определения векторов в режиме GPS;
- при возможном загроблении режима GPS для обработки спутниковых наблюдений следует ориентироваться на программное обеспечение, позволяющее проводить диверсифицированную обработку сеансов наблюдений с использованием спутников группировок ГЛОНАСС, Бейдоу, Galileo.

Литература

1. <http://tass.ru/ekonomika/1155443>
2. Charles Curry. SVN 23 – what happened. URL: <http://www.gps.gov/cgsic/meetings/2016/curry.pdf>
3. <http://vestnik-glonass.ru/news/intro/rossiyskie-voennye-predpochitayut-glonass>
4. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. М. ЦНИИГАиК., 2002. – 124 с.
5. Veytsel A. V. Using multi-system receivers for accuracy positioning. Presented at the Sixth Meeting of the International Committee on Global Navigation Satellite Systems (ICG), Tokyo, Japan, September 4–9, 2011.
6. Takac, F., Cole, A., Carrera, M., Alves, P., Wübbena, G., Sleewaegen, J.-M., Simsky, A., De Wilde, W. A proposed industry solution to realize universal GLONASS observation interoperability for precise positioning. Presented at ION GNSS 2012, Nashville, TN, September 17–21, 2012.

РАЗРАБОТКА ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОДРАБОТАННОГО УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА

Анциферов А.В. Иванов Л.А. Туманов В.В.

*Республиканский академический научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт горной геологии,
геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела
Министерства образования и науки ДНР*

Подработанный углепородный массив является очагом опасных горно-геологических явлений, возникающих при выемке угля, с другой стороны он представляет собой резервуар метана, образующейся после отработки пласта. Подработанный массив существенно отличается фи-

зическими свойствами от нетронутого массива. Учитывая исходящую опасность и перспективу попутной добычи метана, а также существенное изменение физических свойств, исследование подработанного массива при помощи разведочной геофизики является актуальным.

Наиболее прогрессивным является геолого-геофизический подход к изучению массива горных пород с использованием метода становления тока в ближней зоне (ЗСБ). Указанный подход позволяет учесть мешающие геологические факторы и выделить влияние подработки на удельное электрическое сопротивление (УЭС) углепородного массива. Применение метода ЗСБ позволяет изучить массив горных пород с земной поверхности до глубины отрабатываемого угольного пласта.

Реализация указанного подхода предполагает создание геоэлектрической модели, адекватно отражающей изменение параметра УЭС подработанного массива горных пород, что является целью работы.

Методика исследования включает следующие операции: учет влияния на УЭС горных пород мешающих геологических факторов; укрупнение слоев до литолого-стратиграфических пачек; определение УЭС пачек методом ЗСБ; оценку изменения состояния подработанного углепородного массива по параметру УЭС пачек.

Мешающими факторами, подлежащими учету при выявлении влияния подработки на УЭС пород, являются катагенез, тип породы, температура и минерализация пластовых вод. Влияние данных факторов учитывалось по ранее установленным петрофизическим закономерностям, обусловленным первичной и вторичной группами геологических факторов [1].

Для использования метода ЗСБ послойный разрез, построенный по данным ГИС, укрупнялся до пачек мощностью в несколько десятков метров. За пачку принималась группа слоев с преобладающим содержанием основного типа породы, УЭС которой отличается от вмещающих пачек на величину не менее двукратной погрешности определения УЭС, а мощность составляет не менее разрешающей способности метода ЗСБ [2].

УЭС пачек подработанного массива определялось в среде HORIZON на основе подбора геоэлектрических параметров к априорному геоэлектрическому разрезу неподработанного массива при фиксированных значениях мощности слоев [3].

Изменение состояния подработанного массива оценивалось по величине коэффициента $K_{УЭС}$:

$$K_{УЭС} = \frac{УЭС_{п.м}}{УЭС_{нп.м}}, \quad (1)$$

где $УЭС_{п.м}$ – УЭС пачек подработанного массива; $УЭС_{нп.м}$ – УЭС пачек неподработанного массива.

Априорный геоэлектрический разрез построен в результате преобразования петроэлектрического разреза участка работ и использования пачек, выделенных по их литологическому составу.

Закономерное изменение УЭС однотипных пород, представленное на петроэлектрическом разрезе, обусловлено катагенезом, температурой и минерализацией пластовых вод (рис. 1). Катагенез на данном разрезе увеличивается сверху вниз от V(Д1) до VII (Г1) стадии. Минерализация пластовых вод изменяется волнообразно и составляет на глубине 20, 200 и 800 м соответственно 5, 1 и 12 г/л. Установлено, что следствием указанного изменения катагенеза, минерализации пластовых вод и температуры является закономерное увеличение параметра УЭС вниз по разрезу с образованием локального минимума на глубине 700 м.

Обоснованное изменение УЭС однотипных пород и их объективное группирование в пачки обеспечили построение априорного геоэлектрического разреза адекватного реальному геологическому объекту. Используя данный разрез и результаты зондирования методом ЗСБ, построен экспериментальный геоэлектрический разрез по профилю, пересекающему границу отработанного и неотработанного угольного пласта (см. рис. 1).

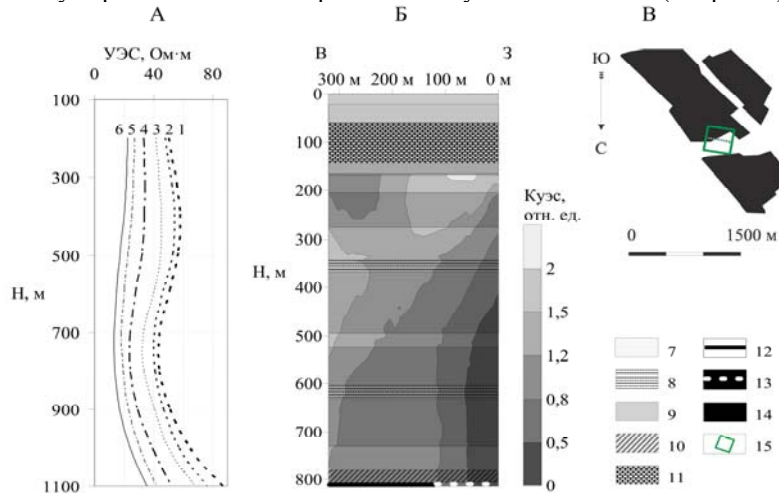


Рис. 1. Априорный петроэлектрический разрез неподработанного массива горных пород (А), экспериментальный геоэлектрический разрез подработанного массива (Б) и расположение участка электромагнитного зондирования (В) на поле шахты «Южно-Донбасская 3»
УЭС – удельное электрическое сопротивление пород; $K_{УЭС}$ – отношение УЭС подработанных пород к неподработанным; 1 – песчаник крупнозернистый; 2 – песчаник среднезернистый; 3 – песчаник мелкозернистый; 4 – алевролит; 5 – аргиллит алевритовый; 6 – аргиллит; 7 – песчаная пачка; 8 – алевритовая пачка; 9 – глинистая пачка; 10 пачка смешанная песчано-алевроито-глинистая; 11 – пачка мергельная; 12 – неотработанный угольный пласт; 13 – отработанный угольный пласт; 14 – отработанное пространство; 15 – участок электромагнитного зондирования.

Экспериментально установлено, что от отработанного пласта и выше 500 м образуется область пониженных значений УЭС, окруженная областью повышенных значений УЭС. В этой области коэффициент $K_{УЭС}$ закономерно уменьшается от 1 до 0,15 в двух направлениях: вниз по разрезу и от периферии к центру. Уменьшение УЭС обусловлено возникновением техногенной трещиноватости в водонасыщенных породах. Происхождение области повышенных значений УЭС связано с формированием газонасыщенного состояния горных пород.

На рис. 2 показаны две обобщенные геоэлектрические модели подработанного угленосного массива, соответственно для водонасыщенных и газонасыщенных пород. Для построения моделей использованы геомеханические закономерности зонального изменения трещиноватости [4], зависимость УЭС пород от трещинной пористости и водонасыщенности [5], петрофизические закономерности угленосных формаций [1] и представленные выше закономерности изменения УЭС подработанного угленосного массива.

На моделях выделяются две области: область влияния подработки на геофизический параметр и область фонового (природного) изменения геофизического параметра. В области влияния подработки на УЭС располагается зона прогиба без нарушения сплошности пород и зона прогиба с нарушением сплошности пород. По причине небольшой мощности (менее разрешающей способности геофизического метода) зона опорного давления и зона обрушения не выделяются.

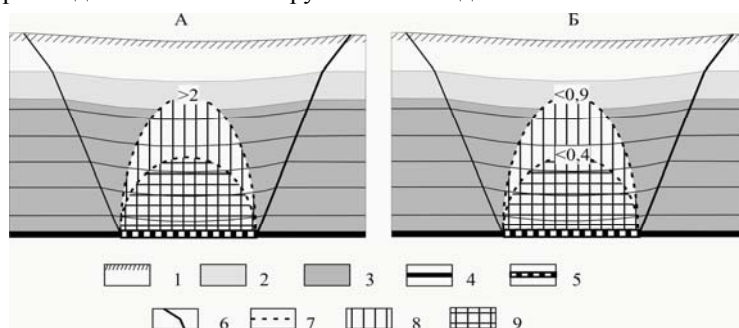


Рисунок 2 – Геоэлектрическая модель подработанного массива газонасыщенных (А) и водонасыщенных (Б) горных пород
1 – покровные отложения; 2 – выветрелые породы карбона; 3 – коренные породы карбона; 4 – неотработанный угольный пласт; 5 – отработанный угольный пласт; 6 – линия, соединяющая границы мульды сдвижения и горной выработки; 7 – изолинии коэффициента изменения удельного электрического сопротивления ($K_{УЭС}$); 8, 9 – область влияния подработки на УЭС; 8 – зона прогиба без нарушения сплошности пород; 9 – зона прогиба с нарушением сплошности пород

В модели водонасыщенного массива поровое пространство всех типов пород полностью занято водой. В модели газонасыщенного массива насыщены водой лишь глинистые породы, тогда как поровое пространство обломочных пород характеризуется заполнением водой на 60-70 % и газом на 30-40%.

Коэффициент $K_{УЭС}$ приводится для верхних границ зон прогиба. По данному коэффициенту выделяется область влияния подработки водонасыщенных ($K_{УЭС}$ менее 0,9) и газонасыщенных ($K_{УЭС}$ более 2) пород. В случае водонасыщенных пород дополнительно выделяется граница зон прогиба без нарушения и с нарушением сплошности горных пород ($K_{УЭС}$ менее 0,4).

Таким образом, в результате обобщения пространственных закономерностей изменения УЭС литолого-стратиграфических пачек, а также связи УЭС с трещиноватостью и водонасыщенностью пород построена геоэлектрическая модель подработанного углепородного массива.

В качестве геоэлектрического параметра в модели использован коэффициент, равный отношению УЭС подработанного массива к УЭС неподработанного массива при равных условиях характера залегания пород, литологического состава пачек, степени катагенеза пород, минерализации и температуры пластовых вод.

В модели газонасыщенного массива горных пород выделяется область влияния подработки на УЭС, тогда как в модели водонасыщенного массива данная область подразделяется еще на две зоны, соответственно, без нарушения и с нарушением сплошности пород.

Разработанная геоэлектрическая модель может использоваться при изучении подработанного массива методами электроразведки для прогноза опасных горно-геологических явлений и оценки свойств техногенных коллекторов угольного метана.

Литература

1. Гречухин В.В. Петрофизика угленосных формаций. – М.: Недра, 1990. – 472 с.
2. Иванов Л.А. Расчленение угленосного карбона Донбасса на пачки по принципу однозначности петрофизических зависимостей для геофизической оценки качества коллекторов метана. – *Тектоніка і стратиграфія*, 2015.- Вип. 42.- С. 101-105.
3. Станция электроразведочная “Импульс-Д”. Руководство интерпретатора. ИКГП416461.002Д2. – Новосибирск: ООО “Сибгеотех”, 2004. – 36 с.
4. Иофис М.А., Шмелев А.И. Инженерная геомеханика при подземных разработках. – М.: Недра, 1985. – 248 с.
5. Итенберг С.С. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. – М.: Недра, 1987. – 375 с.

ОЦЕНКА ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ НАЛЕГАЮЩЕЙ ТОЛЩИ ПОРОД ПРИ ОТРАБОТКЕ РУДНОГО ТЕЛА №5 ОКТЯБРЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Наумова К.С.

Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И.Носова

Октябрьское рудное поле и одноименное медно-колчеданное месторождение находятся на восточном склоне Южного Урала. В административном отношении они расположены на территории Хайбуллинского района Республики Башкортостан.

Силами маркшейдерской службы Октябрьского подземного рудника произведена оценка процесса сдвижения налегающей толщи пород при отработке рудного тела №5 Октябрьского месторождения на основе обработки следующей представленной документации:

- разрезов вкрест простирания;
- продольного разреза;
- геологической карты;

а также руководствуясь нормативной документацией.

Разрезы рудного тела представлены на рисунке 1.

Согласно «Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений», на форму проявления процесса сдвижения земной поверхности влияют следующие факторы:

- структурные особенности массива горных пород (слоистое или неслоистое строение пород, трещиноватость, тектонические нарушения);
- форма и размеры выработанного пространства, глубина разработки;
- углы падения рудных тел;
- системы разработки и способы управления горным давлением;
- крепость вмещающих пород.

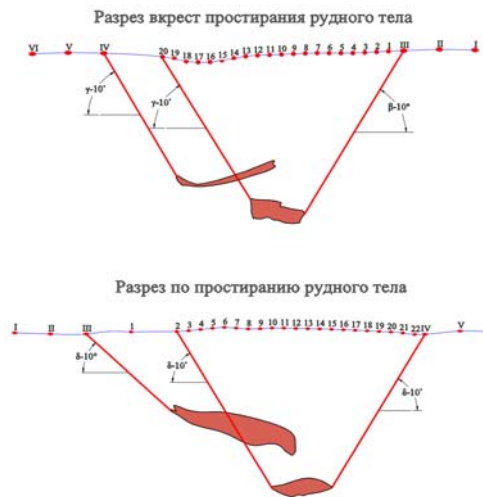


Рис. 1. Разрезы рудного тела

Рудное тело № 5 основное по запасам рудное тело II участка расположено непосредственно под южной частью рудного тела № 1 в горизонте 220 – 300 м руды медные, медно-цинковые и серные, преимущественно сплошные, высокосернистые, залегают в виде компактной изометричной линзы, выклинивающейся к югу. Массив надрудных и рудовмещающих пород рассечен серией крутопадающих зон дробления и рассланцевания, по подошве «бахромой» многочисленных выклинок забалансовых руд.

Вмещающие породы представлены порфиритами липаритодацитового, дацитового, андезитодацитового, андезитобазальтового и диабазового состава, туфами различного состава, метасоматически измененными породами серицит-хлорит – кварцевого и серицит – кварцевого состава. На участке залегания рудного тела № 5 отмечаются тектонические нарушения, зоны рассланцевания и дробления.

Горно – геологические параметры рудного тела:

- мощность рудного тела от 1 до 35 м,
- средняя мощность 22,2 м.
- угол падения 12°.
- азимут простирания 300°,
- азимут падения 30°.

Углы сдвижения:

Так как углы сдвижения неизвестны, их величину определяем в соответствии с данными приведенными в таблице 1 для средневзвешенного значения коэффициента крепости пород имеющийся инструкции.

$$f_{\text{cp}} = \frac{f_1 \cdot m_1 + f_2 \cdot m_2 + f_3 \cdot m_3 + \dots + f_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n}, \quad (1)$$

где f – коэффициент крепости налегающей толщи пород слоя; m – мощность слоя, м.

Учитывая то что, налегающие породы представлены метасоматитами серицито – хлорито – кварцевого состава, дацитовыми порфиритами и туфами смешанного состава с коэффициентами крепости 8,3 – 17,3.

Средневзвешенное по мощности слоев значение коэффициента крепости пород над серединой рудной залежи:

$$f_{\text{cp}} = \frac{(7,5 \cdot 41) + (12,2 \cdot 63,4) + (10,1 \cdot 27,5) + (10,3 \cdot 7,5) + (10,1 \cdot 8,7) + (12,2 \cdot 95) + (8,3 \cdot 8,2) + (17,3 \cdot 7,5)}{41 + 63,4 + 27,5 + 7,5 + 8,7 + 95 + 8,2 + 7,5} = 11,1$$

Углы сдвижения для средневзвешенного значения коэффициента крепости пород приведены в таблице 1.

Рис. 2. Определение мощностей пород

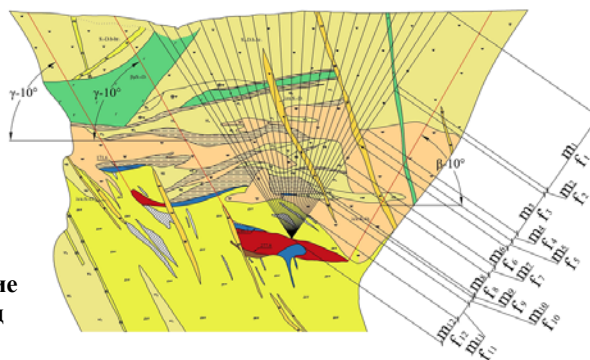


Таблица 1 – Углы сдвижения для средневзвешенного значения коэффициента крепости пород

Тип и строение породы	Группа пород (коэффициент крепости пород f_{cp})	Подгруппа	Угол падения рудных тел α , градус	Угол сдвижения, градус			
				δ	β	γ	β_1
I, слоистое	1 (< 5)	1	0 – 45	55	45	55	–
		2	46 – 75	55	40	–	40
		3	76 – 90	55	45	–	40
	2 (5 ± 8)	1	0 – 45	60	50	60	–
		2	46 – 60	60	40	60	–
		3	61 – 75	60	40	–	50
		4	76 – 90	60	45	–	50
	3 (> 8)	1	0 – 45	65	50	65	–
		2	46 – 60	65	45	65	–
		3	61 – 75	65	45	–	50
		4	76 – 90	65	50	–	50
	II, неслоистое	4 (≥ 8)	1	0 – 30	70	70	70
2			31 – 50	70	65	65	–
3			51 – 75	70	65	–	α
4			76 – 90	70	65	–	65

С учетом углов падения рудного тела, коэффициента крепости покрывающих пород $f \geq 8$, согласно «Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений», для неслоистого строения вмещающих пород, угла падения рудного тела 12° , углы сдвижения принимаются равными $\delta=70^\circ$, $\beta=80^\circ$, $\gamma=70^\circ$.

Расчет устойчивости земной поверхности:

Вероятность появления провалов на земной поверхности можно определить по формуле А. Г. Акимова:

$$H' \leq H_p = K \cdot \frac{42 \cdot M_3 \cdot L'}{7 \cdot M_3 + 5 \cdot L'} \quad (2)$$

где H' – мощность коренных пород, равная $H-h$; h – мощность наносов и выветрелых пород, принимаемая не менее 20 м при $H > 20$ м; H – глубина до верхней границы залежи; H_p – расчетная предельная глубина до верхней границы залежи; L' – горизонтальная проекция рудной залежи на разрезе вкрест простирания; K – коэффициент, учитывающий крепость вмещающих пород. Для f более 9, $K=0,8$; M_3 – средняя эффективная мощность рудного тела.

Поскольку на разрезах видно, что рудное тело № 1 практически расположено над рудным телом № 5, то следует учитывать это, путем увеличения средней мощности рудного тела № 5.

$$m_{cp5} = M_3 = m_5 + \frac{m_1}{2} \cdot 0,4 = 22,2 + \frac{25}{2} \cdot 0,4 = 27,2 \quad (3)$$

Подставив в формулу (2) входящие величины получим:

$$H_p = 0,8 \cdot \frac{42 \cdot 27,2 \cdot 120}{7 \cdot 27,2 + 5 \cdot 120} = 138,7 \quad m < H'$$

что означает отсутствие провалов на земной поверхности.

Возможность обрушения земной поверхности проверена еще одним способом с выполнением условий, изложенные в «Правилах охраны сооружений от вредного влияния подземных горных работ при разработке меднорудных месторождений Урала».

Первым условием является определенное соотношение вынимаемой мощности и глубины залегания, при котором происходит заполнение выработанного пространства обрушившимися породами за счет их разрыхления. Таким образом при соотношении:

$$\frac{H'}{m_B} \geq 6 \quad (4)$$

обрушение горных пород от разработки обособленной слепой залежи не должны дойти до земной поверхности.

где H' – средняя глубина горных работ; m_B – вертикальная мощность разрабатываемой слепой залежи.

Подставив значения получим:

$$\frac{260}{27,2} = 8,4 \geq 6$$

В данном случае условие соблюдается.

Вторым условием является соотношение размеров выработанного пространства в плоскости пласта и глубины залегания верхнего контура слепой залежи:

$$\frac{H'}{l} = \frac{260}{120} = 2,2 \geq 1,5, \quad (5)$$

где l – глубина залегания верхнего контура слепой залежи.

Из данного условия видно что, обрушение горных пород от разработки не должно дойти до земной поверхности.

Таким образом, зона обрушения при отработке рудного тела № 5 системой разработки без закладки выработанного пространства из двух способов определения не дойдет до земной поверхности.

Отсутствие провалов на земной поверхности, однако, не означает, что будут отсутствовать критические (опасные для наземных сооружений и объектов) деформации.

Условие при выполнении которого земная поверхность не претерпит деформации, больших критических:

$$H \geq H_p = K \cdot \frac{300 \cdot M_{\Sigma} \cdot L'}{L' + 74 \cdot M_{\Sigma}}, \quad (6)$$

где H – глубина до верхней границы залежи; H_p – расчетная предельная глубина до верхней границы залежи, начиная с которой земная поверхность не претерпит критических деформаций; L' – горизонтальная проекция рудной залежи на разрезе вкрест простирания; K – коэффициент, учитывающий крепость вмещающих пород. Для f более 9, $K=0,8$; M_{Σ} – средняя эффективная мощность рудного тела.

Подставив в формулу значения получим:

$$H_p = 0,8 \cdot \frac{300 \cdot 27,2 \cdot 120}{120 + 74 \cdot 27,2} = 367,3 \text{ м} \square H,$$

то есть условие не выполняется, и земная поверхность претерпит опасные деформации.

Литература

1. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений/ М – во цв. мет. СССР. Горное управление: Разраб. ВНИМИ, ВНИПИГорцветмет. – М.: Недра, 1988. – 112 с.;
2. Правила охраны сооружений от вредного влияния подземных горных работ при разработке меднорудных месторождений Урала, утверждено зам. министра цветной металлургии СССР Н.Н.Чепеленко 28.04.77 г. – 45 с.

ТРАДИЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕМНОГО И ВНЕЗЕМНОГО ВЕЩЕСТВА

Никитин С.М.¹, Скрипник А.Я.²

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН¹*

*Институт геохимии и аналитической химии
им. В.А.Вернадского (ГЕОХИ РАН)²*

Истоки всестороннего комплексного подхода в исследованиях свойств горных пород физическими методами были заложены 50 лет назад в Лаборатории физических и физико-химических свойств горных пород и полезных ископаемых, образованной 14 апреля 1967г в составе Сектора физико-технических горных проблем Ордена Ленина Института физики Земли им О.Ю.Шмидта (СФТГП ИФЗ АН СССР) [1]. Лабораторию, входившую в отдел Физики горных пород, под руководством член-корр. АН СССР В.В.Ржевского, возглавил заслуженный деятель науки и техники РСФСР, профессор, докт.техн.наук М.М. Протодьяконов (младший).

В период 1968-73гг становления лаборатории была сделана первая попытка комплексной систематизации знаний о физических свойствах горных пород. Начиная с электронного строения породообразующих минералов и заканчивая физическими свойствами крупных масс горных пород проводились работы по сбору материалов и подготовке к изданию первого в своем роде «Справочника (кадастра) физических свойств горных пород», актуальность которого не потеряна до сих пор [2,3].

Ровно 40 лет назад 15 сентября 1977г Сектор горных проблем получил статус самостоятельного института при Отделении геологии, геофизики и геохимии АН СССР, ныне ФГБУН ИПКОН РАН, в котором, традиционные комплексные исследования физико-механических свойств горных пород и руд различных месторождений России и ближнего зарубежья были продолжены.

С помощью передвижной автолаборатории были проведены определения основных показателей прочности, деформации и электропроводности магнетитовых руд на Лебединском месторождении Курской магнитной аномалии (КМА) [4]. По результатам полевых работ на месторождениях строительного камня в Армении были изучены взаимосвязи между показателями базовых физико-механических (прочность, плотность, упругость, электропроводность) и физико-технических свойств (крепость по М.М. Протодьяконову(старшему), абразивность,

взрываемость, буримость, разрушаемость при сбрасывании) вулканических туфов, мраморов, базальтов и др. Доказана возможность идентификации закономерностей изменчивости и анизотропии основных показателей свойств горных пород при измерении по ряду образцов, распределенных в шахтном поле, и ряду образцов, изготовленных из одного штуфа [4].

На ряде оловорудных и полиметаллических месторождений Дальнего Востока (Кавалеровский и Дальнегорский рудные районы) впервые было выполнено картирование горных выработок с оценкой изменчивости физико-технических свойств оловянных руд и вмещающих пород в плане и разрезе Дубровского и Юбилейного месторождений. Полученные данные позволили уточнить тектоническую позицию скрытых разломов и проследить их влияние на устойчивость горных выработок месторождений, локализованных в элементах кольцевых структур в тектонике Кавалеровского рудного района Приморья.

Параллельно с участием ряда организаций, таких как ВНИМИ, МГИ, ИГД им. А.А.Скочинского и др. велась работа по совершенствованию государственных стандартов на методы физических испытаний. После проведения сопоставительных испытаний, позволивших уточнить метрологические характеристики предложенных разными авторами новых методов, была утверждена, а затем и принята обновленная редакция ГОСТ 21153.0-7.75-84 «Породы горные, методы физических испытаний». Поверенные этим гостом данные, полученные для ряда месторождений полезных ископаемых СССР, прошли аттестацию во ВНИЦ ГСССД и были утверждены в качестве «Стандартных справочных данных» [6].

Период 1977 -1989гг. можно считать временем зарождения в рамках механики горных пород нового научного направления - *петромеханики*, связывающей результаты комплексных исследований физико-механических свойств горных пород и руд с элементами структуры их поврежденности и вещественного состава. Основу подхода составило *перспективное прогнозирование* развития территорий на основе *синоптического анализа данных комплексного картирования* с выбором объектов перспективных для инженерной деятельности.

На основе *принципа геолого-морфологической конформности* – утверждающего соответствие формы неоднородности горных массивов её геологическому содержанию, была сформулирована *концепция горно-технического конструирования*, предполагающая построение экономически эффективной и безопасной системы разработки рудных залежей с учетом элементов компетентной. (т.е. устойчивой и полезной в данной выбранной конструкции) структуры рудничного поля.

Использование петромеханики здесь предполагает оценку устойчивости массивов горных пород согласно критериям прочности, устанавливаемым по данным систематизированных на основе петрогенетической классификации комплексных определений параметров руд и вмещающих горных пород с учетом закономерностей тектонического развития и рудообразования, определяющих геологическую позицию месторождения.

Это стало особенно очевидно в связи с разработками систем прогноза и контроля горного давления, которые развивались благодаря инициативам проф. докт. техн. наук С.В. Кузнецова. Благодаря ему в ИПКОН РАН были продолжены разработки сейсмоакустических методов контроля процессов разработки полезных ископаемых, т.е. в рамках ещё одного, ставшего также традиционным направления, развиваемого в ИПКОН РАН и по настоящее время.

Так при вскрытии нового глубокого горизонта рудной залежи на месторождении Таштагол стало очевидно, что очагом микросейсмической активности является скрытый разлом, заложенный в момент внедрения диоритовой дайки, четко повторяющий её контуры и расположенный от неё на расстоянии 1,5 – 2,0 м.

В период 1990-2005 гг комплексные исследования физико-механических свойств горных пород были продолжены на медноколчеданных месторождениях Южного Урала.

Начиная с 2008 г, сначала в ИПКОН РАН, Никитин С.М., а затем совместно с учеными Института геохимии и аналитической химии им. В.А. Вернадского РАН, А.Я. Скрипник, Е.Н. Слюта, Института Геологии Кольского научного центра РАН, Ф.Ф. Горбачевич, Горного института Уральского Отделения РАН, В.А. Асанов, И.Л. Паньков и др. ведутся систематические исследования внеземного вещества [7,8,9,11].

Основу исследований составили методики комплексных исследований физико-механических свойств горных пород на образцах из одной пробы, получившие применение в силу ограниченности материала космических тел. Объектом исследований явились фрагменты каменных метеоритов: хондрит Царев, Россия, хондриты SAU-001 и Ghubara, Оман. Главной целью исследований явилась оценка возможности реконструкции процессов образования и эволюции внеземного вещества по петромеханическим данным, включающим результаты определения деформационных и прочностных показателей, акустические данные по скоростям упругих волн, оптические и электронно-микроскопические наблюдения структур разрушения и др.

Получены первые данные по прочности и деформируемости образцов 25x25x50 мм при одноосном и боковом сжатии, определены параметры анизотропии прочности, соответствующие форме фрагментов с характерной для абляции в атмосфере Земли поверхности метеороидов. Иерар-

хия прочности, установленная при испытаниях образцов полуправильной формы при одноосном сжатии, позволяет надеяться на возможность реконструкции ряда ударных событий, которым подвергались родительские тела метеоритов в открытом космосе. При испытаниях на сжатие образцов правильной формы в стесненных условиях получен эффект взрывного разрушения хондрита при деформациях за пределом статической прочности, устойчивость которого во всем диапазоне боковой нагрузки, 5-35 МПа, позволяет ввести новый параметр – динамический предел прочности, указывающий уровень нагрузок, начиная с которого начинается самоподдерживающееся разрушение. Суперхрупкий механизм разрушения подтверждается микроструктурными наблюдениями глубокого вскрытия материала метеорита магистральными трещинами [10].

Опыт исследований говорит, что *итоном комплексных исследований земного вещества* в горном деле является реализация принципов *перспективного прогнозирования*, в основе которых лежит возможность *экстраполяции на будущее событий*, общие черты которых уже известны и *возможно их прямое наблюдение* в современных условиях.

В отличие от земных горных пород для *внеземного вещества* необходима разработка принципов *ретроспективного прогнозирования*, в котором реконструкция истории образования космических тел строится на основе последствий космических коллизий, сохранившихся в веществе и прямо не наблюдаемых в настоящее время.

Согласно принципам государственной политики, сейчас считается перспективным развертывание средств выведения и осуществления пилотируемых полетов в космическом пространстве, направленных на освоение планет Солнечной системы. Соответственно необходимо и решение задач, направленных на получение научных данных о космосе, Земле, Луне и других небесных телах для развития фундаментальной науки, использования внеземных ресурсов, выявления угроз космического происхождения.

В этом свете просматриваются перспективы развития и роль горных наук, возможности которых в этой сфере принимают принципиально другие формы как фундаментального, так и прикладного характера.

Для поддержания жизнеобеспечения космонавтов и развития инфраструктуры пунктов базирования на планетах из числа полезных ископаемых первое место отводится таким элементам, как вода, азот, кислород. Их источниками по большей части являются твердые горные породы. В дальнейшем потребуются и стройматериалы и добыча традиционного сырья. Известная практика эксплуатации передвижных механизмов – роверов, планетоходов требует знания физико-технических свойств внеземного вещества, таких как абразивность, крепость, буримость и т.д.

И в этом смысле комплексное освоение недр внеземных объектов становится объектом интеграции горняков и обогатителей, а исследования внеземного вещества перенаправляются из области изучения процессов развития Солнечной системы и образования планет в область комплексного освоения недр, где ИПКОН РАН по праву занимает лидирующее положение.

В настоящее время, *петромеханика* является *самостоятельным научным направлением* в ряду таких горных и геологических наук как *петрофизика, экспериментальная минералогия, физика высоких давлений, петрология* и представляется надежным инструментом решения задач *в исследованиях физико-технических свойств внеземного вещества для обоснования параметров процессов комплексного освоения недр космических тел роботизированными средствами.*

Литература

1. Трубецкой К.Н. Центр проблем освоения недр Земли. / Вестник Российской Академии Наук. Том 67. №12. М.1997г. с.1113-1116.
2. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. /Под ред. Н.В.Мельникова, В.В.Ржевского, М.М.Протодяконова. М., «Недра», 1975. 279 с.
3. Ильницкая Е.И. Свойства горных пород и методы их определения. // Е.И.Ильницкая. Р.И.Тедер, Е.С.Ватолин, М.Ф.Кунтыш. – М.: «Недра», 1969. – 392с.
4. Тедер Р.И. Комплексные исследования физических свойств горных пород в условиях Лебединского месторождения КМА. // Р.И.Тедер, С.М.Никитин, О.И.Квашнина. / «Эффективные направления развития открытых разработок». Труды ИПКОН АН СССР,- М.1982г.
5. Тедер Р.И. Вариация и корреляция физических показателей, полученных на образцах из одного штуфа горной породы. /Проблемы совершенствования технологии разработки твердых полезных ископаемых. №VII, Труды СФТГП ИФЗ АН СССР. –М., 1976. – с.118-149.
6. Тедер Р.И. Горные породы ряда разрабатываемых месторождений твердых полезных ископаемых СССР. Физические свойства. Таблицы стандартных справочных данных. //Р.И.Тедер, Л.Г.Медведев, С.М.Никитин / -М. Изд-во стандартов, 1986.- 30 с.
7. Slyuta E.N. Physical and mechanical properties of Sayh al Uhaymir 001 and Ghubara meteorites. /E.N.Slyuta, S.M.Nikitin, A.V.Korochantsev, C.A.Lorents. [http://Lunar and Planetary Science Conference \(2009\) 1051.pdf](http://Lunar and Planetary Science Conference (2009) 1051.pdf).
8. Никитин С.М. Оценка неоднородности каменных метеоритов на основе распределения прочности образцов. / С.М.Никитин, А.С.Якушов. //»Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле» материалы 14 конференции. – М.: 2013. – С. 198-201.
9. Никитин С.М. Оценка прочности хондритов L5 на основании неоднородности масштабных эффектов. / С.М.Никитин.// Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. – М. : ИПКОН РАН, 2014. – С. 112-114.

10. Тарасов Б.Г. Суперхрупкость горных пород при высоких всесторонних напряжениях. // Вестник инженерной школы. ДВФУ. 2012. №1(10). Науки о Земле, с. 57-89.

11. Nikitin S.M. Super-brittle and dynamical strength of the Tsarev stone meteorite. /S.M. Nikitin, A.Ya. Skripnik, V.A.Asanov, I.L.Panykov //Institute of Experimental Mineralogy,/// Problems of Planetology, Cosmochemistry and Meteoritica.// Experiment in Geosciences» – М. 2017 (V 23, N 1), p. 42-45.

МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Мынгжасаров Б., Муратбеков Б.

Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби

В статье рассмотрена работа по мониторингу деформационных процессов при строительстве порта и портовых сооружений в Азовском море. Рассматриваются комплексные подходы для получения высокоточных результатов измерения и обработки результатов измерения в различных ПО.

Ключевые слова: инженерно-геодезические работы, шпунтовые сваи, тахеометр, GNSS, статический метод измерения, мониторинг, деформации, портовые сооружения.

Объект исследования: Причалный комплекс для разгрузки и погрузки различных типов грузов на Азовском море, РФ.

Методы исследования: Мониторинг деформации портовых сооружений будет строиться на основе инженерно- геодезических методов, путем совмещения разного спектра методик, технологии и контрольно измерительных приборов, от классического тахеометрического хода до современного GNSS оборудования.

Результаты: Геодезический мониторинг позволяет фиксировать деформации — даже самые незначительные (не говоря уже о серьезных, вызванных, например, стихийными бедствиями). Но главное это то, что организация и проведение работ по постоянному наблюдению за деформационными процессами на гидротехнических сооружениях способствует своевременному установлению предельно допустимых величин деформаций, предупреждению возникающих рисков и принятию необходимых мер по их предотвращению.

Мониторинг деформационных процессов гидротехнических сооружений (плотин, дамб, каналов, водосбросных и насосных станций, шлюзов, портов и т. п.) — это комплекс постоянных наблюдений за состоянием данных объектов в целях обеспечения условий их безопасной эксплуатации.

Существенная деформация (отклонение от проектных данных) происходит на стадии строительства, так как на основании сооружения начинают воздействовать конструируемые элементы. Геодезический мониторинг позволяет фиксировать деформации — даже самые незначительные (не говоря уже о серьёзных, вызванных, например, стихийными бедствиями).

Эти изменения связаны со старением конструкций, с адаптацией элементов сооружений к нагрузкам, накоплением остаточных деформаций, современными тектоническими процессами и пр. Любой конструкции присущи и так называемые «собственные колебания», обычно незаметные для невооружённого глаза. Частота собственных колебаний зависит от конструктивных особенностей элементов сооружения, используемых материалов и целого ряда иных факторов.

Представленные здесь работы по мониторингу деформации шпунтовых свай при строительстве порта на Азовском море. После завершения забивки шпунтовых свай на отметке 100.00м, внутренняя сторона причалов засыпается песком с последующей трамбовкой, и далее два противоположных причала укрепляются анкерными тросами на отметке 96.5м, далее все также засыпается песком с последующей трамбовкой до отметки 98.50м, далее идет процесс забивания бетонных свай между причалами (расстояние между сваями 2.0м) для основания конструкции портовых сооружений, вес которых может превышать несколько сотен тонн — все это приводит к деформации шпунтовых свай (причалов), так как, и так утрамбованную массу земли укрепляют бетонными сваями. В итоге произошли смещения шпунтов по плану и по высоте.

Для определения величин отклонения, была разработана программа выполнения геодезического мониторинга планово-высотного положения шпунтовой стены. Далее по программе, по контуру причалов, в местах не подверженных деформациям были вынесены репера для долгосрочного использования в качестве опорных пунктов для наблюдения деформации на причалах. Так как репера предполагались использовать в течении всего срока строительства и эксплуатации сооружения, были забиты бетонные сваи размером 0.4*0.4*12м. Координаты опорных пунктов высчитали методом Статических наблюдений, используя высокоточное GNSS оборудование. При выполнении статических измерений главными факторами, влияющими на качество работы были погодные условия, правильное расположение спутников и правильная геометрия точек. С помощью стороннего ПО можно правильно подобрать эти условия. Используя полученные данные, отвязываясь от пунктов ГГС были сделаны статические измерения. Далее по программе, полученные репера методом статики были

уравнены между собой с помощью высокоточных однокосекундных тахеометров. В итоге получили 11 уравненных между собой реперов вокруг территории.

Далее по программе, выбирались области на причалах подлежащих наблюдению. Для получения объективных данных о деформации сооружения были выбраны области на шпунтах для наблюдения: 100.00м; 96.50м; 92.50м. На уровне отметки 96.50м были инсталлированы светоотражательные марки для высокоточных геодезических наблюдений.



Рис. 1. Исследуемая причальная стена

Теперь о самом мониторинге. Наблюдения производились высокоточным однокосекундным тахеометром. Для привязки были использованы три репера для максимально возможного качества ориентирования, затем брался контрольный репер уже при съемке. Здесь немаловажный фактор имеет угол ориентирования прибора и прием окружающей температуры прибором. Так точность достигала до 0.01мм.

Наибольшие сдвиги наблюдались на связабивных участках, и поэтому выбирались группы шпунтов находящиеся рядом с этими участками. Для вывода результатов мониторинга была использована ПО Microsoft Excel, так как позволяет автоматизировать вывод результатов, можно один раз настроить шаблон документа и дальше только вносить полевые данные.

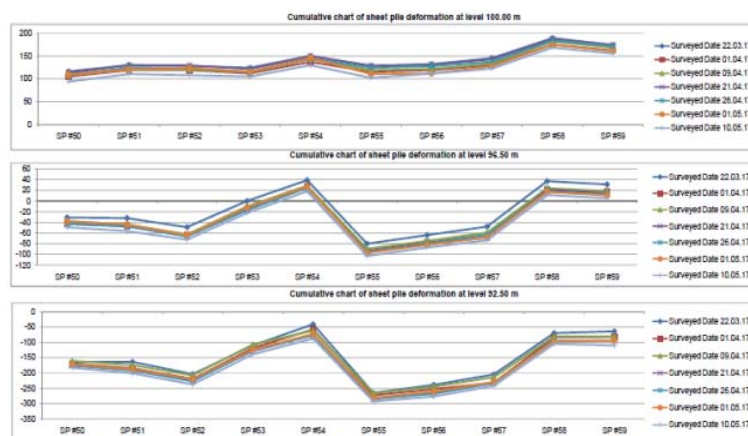


Рис. 2. Диаграмма результатов мониторинга

По результатам наблюдения можно утверждать что, верхние и нижние области измерения «выдуло» на наружную часть из-за давления грунта и укрепляющих бетонных свай, а область по середине, которая укреплялась анкерными тягами с противоположной стороны, наоборот, сдвинулась внутрь. За весь период наблюдения такие результаты повторялись.

Посредством обобщения измерений выявляются зоны, характеризующиеся теми или иными значениями деформаций, а также делаются выводы по состоянию тела плотины в целом. Полученные данные используются для выработки рекомендаций по текущему обслуживанию плотины, подготовки прогнозов о возможности возникновения аварийных ситуаций и принятия своевременных мер по их предотвращению.

Литература

1. ГОСТ 24846-81. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений.

1. Пособие к МГСН.2.07-01. Обследование и мониторинг при строительстве и реконструкции зданий и подземных сооружений. — М.: Москомархитектура, 2005;

1. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. — НИИОСПС им. Н. М. Герсеванова, Госстрой СССР, 1975;

1. ГКИНП (ГНТА) — 03-010-03. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. — М.: ЦНИИГАиК, 2004.

МАРКШЕЙДЕРИЯ И ГЕОДЕЗИЯ КАК ВЕДУЩАЯ ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ОТРАСЛЬ В РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНО- ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ СТРАНЫ ПО ПРОГРАММЕ «НҰРЛЫ ЖОЛ» КАЗАХСТАНА

Шағырбаев З.Ұ.

Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби

Эта статья рассматривает роль маркшейдерии и геодезии в современном проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог и сооружений при них. Рассматриваются комплексные подходы применения различных методов и техник выполнения различного рода инженерно-геодезических работ, вспомогательные контрольно-измерительные и программные комплексы.

Ключевые слова: инженерно-геодезические работы, проектно-изыскательские процессы, автомобильные дороги, транспортная инфраструктура РК, программа «Нұрлы Жол».

Объект исследования: Транспортно-логистическая инфраструктура РК, автомобильная дорога Талдыкорган – Усть-Каменогорск.

Методы исследования: Исследование строится на топографо-геодезических методах построения топокарты местности, путем совмещения разного спектра методик, технологий и контрольно-измерительных аппаратов, от классических тахеометрического и нивелирного ходов, до современного GPS-оборудования и современных БПЛА.

Результаты: Находясь на стыке Европы и Азии, Казахстан обладает значительным транзитным потенциалом, предоставляя азиатским странам географически безальтернативную наземную транспортную связь с Россией и Европой. Соседство с государствами, имеющими огромные рынки сбыта, делает развитие отечественной транспортной системы перспективным.

Достойным ответом страны на текущие глобальные вызовы мировой экономики стала Новая экономическая политика «Нұрлы жол», стержень которой – План инфраструктурного развития.

Касаясь развития транспортно-логистической инфраструктуры, Президент Нурсултан Назарбаев отметил, что оно будет осуществляться в рамках формирования макрорегионов по принципу хабов. Прежде всего будут реализованы основные автодорожные проекты. Это Западный Китай – Западная Европа, Астана – Алматы, Астана – Усть-Каменогорск, Астана – Актобе – Атырау, Алматы – Усть-Каменогорск, Караганда – Жезказган – Кызылорда, Атырау – Астрахань.

Протяженность автомобильных дорог республиканского значения по Алматинской области составляет 2 529 километров. Большинство из них было построено в 60-80 годах прошлого столетия, нормативные требования по ряду главных значений (пропускная способность, нагрузка на ось, категория автодороги и пр.) которых не актуальны на сегодняшний день. В связи с этим возникает необходимость реконструкции старых автомобильных дорог, либо проектирование и строительство новых.

Инженерно-геодезические работы являются чрезвычайно важной и неотъемлемой частью комплекса работ по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог и сооружений на них. Эти работы во многом определяют как стоимость и качество строительства, так и условия последующей эксплуатации инженерных объектов.

Работы проводились при изысканиях для строительства автомобильной дороги Талдыкорган – Усть-Каменогорск. В качестве основного инструмента использовались GPS-приемники наряду с дешифрированием космических снимков. Для определения недоступных расстояний высоты провисов линий электропередач были применены электронные теодолиты.

Обработка результатов съемки проводилась в программе автоматизированного проектирования IndorCad. Эта программа применима не только для обработки результатов топосъемки, но и для дальнейшего составления проектных чертежей ведомостей, продольных профилей.

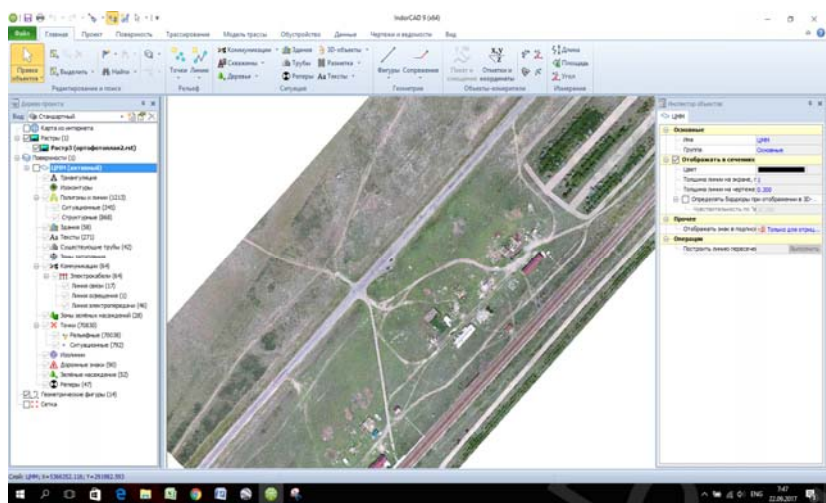


Рис. 1. Ортофотоплан территории изысканий

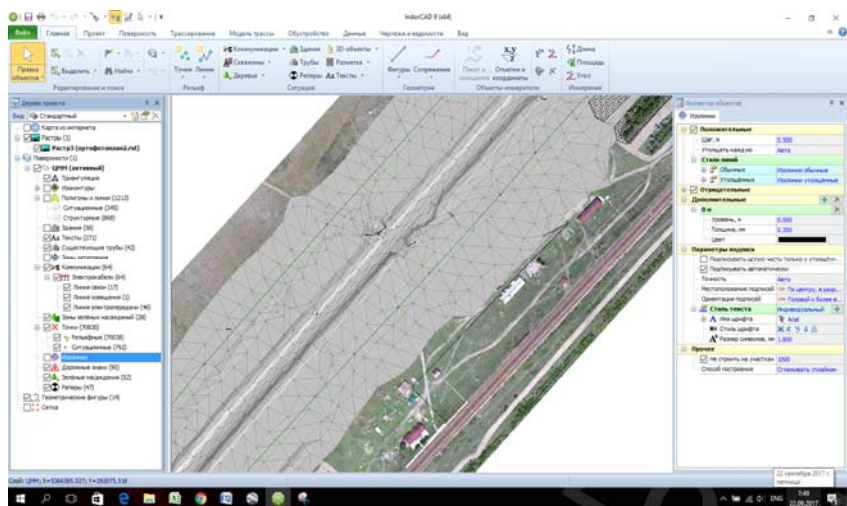


Рис. 2. TIN-поверхность на основе рельефно-ситуационных точек

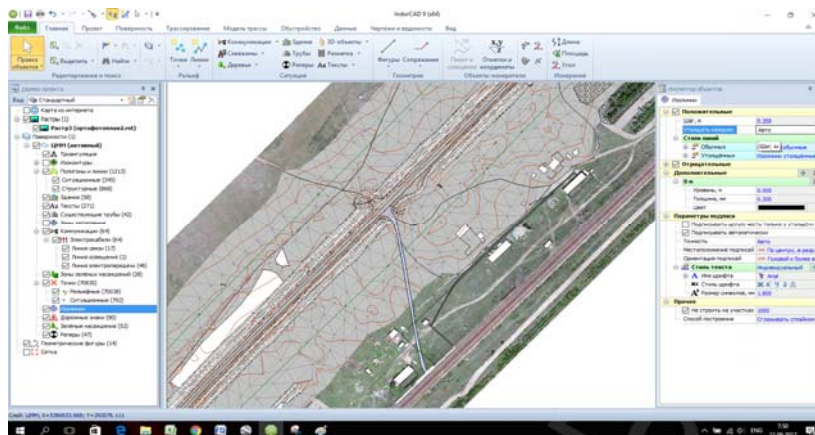


Рис. 3. Формирование ЦММ с откосами и ситуацией

На современном этапе развития научно-технического прогресса происходят фундаментальные изменения технологии и методов проектно-изыскательских работ и строительства инженерных объектов, что находит отражение в изменении состава и методов производства инженерно-геодезических работ, а также в качественном изменении парка используемого геодезического оборудования. Так инженерно-изыскательских работах широкое применение находят Системы Глобальной Спутниковой Навигации (Global Navigation Satellite System – GNSS), высокоточные оптические контрольно-измерительные приборы (электронные тахеометры, электронные теодолиты, электронные нивелиры, лазерные светодальномеры), трехмерные лазерные сканирующие системы, аэрофотосъемочные беспилотные летательные аппараты; в проектно-изыскательских и строительных процессах все более широкое применение находят системы автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированные системы управления строительством (АСУС), географические информационные системы (ГИС) и т. д.

Литература

1. СНиП РК 1.02-18-2004 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. – Астана: Изд-во 2004.
2. СНиП РК 1.03-26-2004 Геодезические работы в строительстве. – Астана: Изд-во 2005.
3. Федотов Г.А. Инженерная геодезия. Учебник./ Федотов Г.А. – Москва: Высшая школа, 2004.
4. Калымов, А., Байгуринов, Ж., Абенова, С., Доброта, Л. Новые магистрали – главный инфраструктурный каркас страны / Калымов, А. // Казахстанская Правда. – 2015. – 2 июля.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Кушыбек С.К.

Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби

Введение. Использование оперативной глобальной космической информации позволяет успешно осуществлять географические исследования особо охраняемых природных территорий (ООПТ), выявлять, оценивать и исследовать происходящие в них изменения. Современные спутниковые системы имеют высокое пространственное разрешение и создают определенные перспективы на улучшение распознавания и классификации объектов, и предназначены для исследований природных экосистем на больших по площади территориях[1].

Поэтому использование аэро и космических снимков (данных дистанционного зондирования Земли – ДДЗ) является необходимым условием проведения регулярных наблюдений за современным состоянием экосистем. Сравнение их с результатами съемок, выполненных в прошлые десятилетия, позволяет точно зафиксировать произошедшие изменения.

Неоднократно было показано, что использование оперативной глобальной космической информации позволяет успешно осуществлять обработки как быстро протекающих (пожары, наводнения и т. п.), так и протекающих достаточно медленно процессов (зарастание вырубок и гарей, пересыхание водоемов и т. п.), охватывающих большие территории. Географические исследования локального уровня, в первую очередь на особо охраняемых природных территориях (ООПТ), где они имеют целью выявление и оценку происходящих изменений, также опираются на ДДЗ.

Успех использования разновременных, разнотипных, с разной степенью детальности съемочных данных, а также всех доступных картографических материалов, зависит от привлечения современных геоинформационных технологий. Целесообразно создавать геоинформационные системы локального уровня, которые могут объединить подробные тематические и общегеографические данные, материалы аэро и космических съемок разных лет, результаты стационарных наблюдений на тестовых площадках и другие дополнительные данные, имеющиеся на изучаемом участке ООПТ.

Объект исследования. Методы дистанционного зондирования Земли из космоса сегодня активно применяются для решения задач геологии, для поиска и эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

Применение методов дистанционного зондирования позволяет на порядки уменьшить стоимость геологоразведочных работ, проводя комплексное исследование обширных территорий, зачастую недоступных по тем или иным причинам для традиционных методов геологоразведки.

Методы исследования. Среди основных направлений использования методов ДДЗ в геологии можно выделить следующие: структурный и мета-структурный анализ поверхности Земли; анализ локальных и глобальных геоинформационных аномалий; геологическое изучение площадей и составление геологических карт; геоэкологический мониторинг экзогенных геологических процессов: гравитационных (склоновых); карстово-суффозионных и их техногенных аналогов; эрозионно-абразионных; криогенных; прогнозирование полезных ископаемых: региональная стадия – оценка прогнозных ресурсов полезных ископаемых нефтегазоносных и рудных провинций, рудоносных зон и областей; детальная (поисковая) стадия – зональный прогноз с выявлением нефтегазоносных и рудных зон, рудных районов и узлов; локальная (разведочная) стадия прогноза – разведка месторождений, оценка запасов; контроль за использованием лицензионных участков; анализ и картография рельефа; литология; геоботаника; инфраструктура окружающей среды; планетарная картография.

Интенсивно развивающиеся методы цифрового картографирования на основе данных дистанционного зондирования Земли являются наиболее перспективными в решении данной проблемы. Преимуществом космического мониторинга является возможность получения как архивных данных значительной давности, так оперативных современных снимков. Для изучения динамики природных ландшафтов использовались снимки съёмочной системы Landsat 8 TM. Тематическая цифровая обработка ДДЗ осуществлялась с помощью специализированной компьютерной программы ENVI. Её преимущество возможности предварительной и тематической обработки в одном пакете и возможности быстрого перехода от результатов обработки ДДЗ к выполнению операций средствами геоинформационных технологий.

Все разнообразие приемов и способов дешифрирования сводится к двум основным методам: визуальному и автоматизированному (компьютерному). Под визуальным дешифрированием понимается процесс, выполняемый исполнителем, независимо от того, в каком виде представлен снимок: в виде фотоотпечатков или изображения на экране компьютера. В противоположность этому автоматизированное (компьютерное) дешифрирование – это программная обработка снимков на компьютере. Существовавшее некоторое время тому назад представление о том, что автоматизированное дешифрирование полностью заме-

нит визуальное, оказалось неверным. Более того, по мере широкого использования снимков со сверхвысоким пространственным разрешением, роль визуального дешифрирования возрастает. Это объясняется тем, что способности человека анализировать изображение пока существенно превосходят возможности вычислительной техники. Одно из основных преимуществ визуального метода дешифрирования перед автоматизированным заключается в легкости получения пространственной информации. Дешифровщик без труда определяет форму, относительные размеры объектов и особенности их распределения. Другое несомненное преимущество визуального способа – одновременное использование всей совокупности дешифровочных признаков, в особенности косвенных. На современном этапе развития компьютерных технологий такая задача пока еще не решена. Также недостижимы для компьютера логическое мышление и интуиция, которыми обладает человек и которые позволяют ему извлекать из снимка информацию не только об объектах и их свойствах, но и о процессах и явлениях. К преимуществам компьютерного метода дешифрирования можно отнести возможность преобразования яркостей цифровых снимков для улучшения их восприятия, а также разнообразные математические операции, классификацию по заданным признакам. Несомненны преимущества этого метода при обработке многозональных снимков и особенно при сопоставлении одновременных съемочных и картографических материалов с целью изучения изменений объектов. Что касается объективности получаемых результатов, то нужно иметь в виду следующее. При компьютерной обработке данных дистанционного зондирования анализ изображения осуществляется по формальным признакам, поэтому получаемые результаты лишены субъективизма. Однако представление о том, что они полностью объективны, не в полной мере соответствует действительности.

Цифровые аэрокосмические снимки могут быть представлены в различных форматах растровых изображений, например: TIFF (Tagged Image Format), HDF (Hierarchical Data Format), форматах специализированных пакетов обработки изображений. Следует учитывать, что в этих и некоторых других форматах снимки хранятся без потери информации, но существуют форматы для сжатого представления, при переводе в которое часть информации теряется (JPEG, GIF, PNG и др.). Компьютерная обработка материалов дистанционного зондирования включает геометрические и яркостные преобразования и классификацию. Большинство *яркостных преобразований* направлено на улучшение качества изображения для визуального дешифрирования на экране, но иногда путем преобразований можно получить нужный окончательный результат. Среди наиболее часто применяемых преобразований – повышение контрастности снимка для его наилучшего отображения, выполняемое

путем изменения гистограммы значений яркости; фильтрация, квантование снимка по яркости, синтезирование цветных изображений, слияние (синергизм) снимков с разным пространственным разрешением, создание индексных изображений. *Квантование* – способ яркостных преобразований одиночного снимка, заключающийся в группировке уровней яркости в несколько относительно крупных ступеней. В результате такого преобразования получают новое изображение, на котором мелкие детали, как бы «зачумляющие» изображение, исчезают, постепенное изменение яркости заменяется четкой границей и закономерности распределения яркостей на снимке становятся более отчетливо выраженными. Весь интервал яркостей (например, значений вегетационного индекса) может быть разделен на равные ступени. Но в большинстве случаев лучшего эффекта можно достигнуть, если границы новых ступеней выбирает дешифровщик, пользуясь при этом гистограммой или измеряя на снимке интервалы яркостей для каждого из интересующих его объектов. Квантование чаще используют в случаях неопределенных границ, постепенных переходов. Яркостные преобразования многозонального снимка преследуют две основные цели: сжать информацию, т. е. получить одно изображение вместо нескольких, или улучшить визуальное восприятие снимка. *Синтез цветного изображения* – простой и наиболее широко применяемый вид преобразования, при котором изображению в каждом из съемочных каналов присваивается свой цвет. Наиболее часто для синтеза используются зоны 0,5–0,6; 0,6–0,7 и 0,8–1,1 мкм или аналогичные им, которым присваивают соответственно синий, зеленый и красный цвета. Этот вариант синтеза называют стандартным. Растительность на изображении имеет красный тона, что объясняется ее высокой яркостью в ближней инфракрасной зоне спектра. Если изменить комбинацию съемочных каналов и цветов и присвоить инфра-красной зоне зеленый цвет, можно получить цветопередачу, близкую натуральной. Синтезировать можно не только зональные снимки, составляющие многозональный, но также разновременные снимки и изображения, полученные в результате более сложных преобразований. Для улучшения пространственного разрешения цветного изображения выполняется операция, называемая улучшением пространственного разрешения. Это другой вариант создания одного изображения из трех – одного с высоким разрешением (обычно это снимок в панхроматическом канале, но может быть и снимок другой съемочной системы, например радиолокационный), и двух зональных снимков, например в инфракрасном и красном каналах. *Математические операции с матрицами значений яркости* пикселей двух цифровых снимков (сложение, умножение и др.) также относятся к простейшим преобразованиям. Наиболее часто вычисляется отношение значений

яркости двух зональных изображений при работе с многозональными снимками и вычитание – при анализе двух одновременных. Широко распространено *определение индексов*, т. е. преобразование изображений, основанных на различиях яркости природных объектов в двух или нескольких частях спектра. Наибольшее количество индексов относится к дешифрированию зеленой, вегетирующей растительности, отделении ее изображения от других объектов, в первую очередь от почвенного покрова и водной поверхности. Вегетационные индексы основаны на отношениях значений яркости в спектральных зонах, наиболее информативных для характеристики растительности – красной и ближней инфракрасной. Наиболее часто используют нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI (Normalised Difference Vegetation Index), рассчитываемый по формуле

$$NDVI = (БИК - К) / (БИК + К),$$

где К – значение яркости в красной зоне, а БИК – в ближней инфракрасной. Значения индекса изменяются в пределах от -1 до +1. Для растительности характерны положительные значения NDVI, и чем больше ее фитомасса, тем они выше. На значения индекса влияют также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, в меньшей степени экспозиция и угол наклона поверхности.

Надежность информации, извлеченной из съемочных материалов, в наибольшей степени зависит от нескольких факторов, основные из которых – свойства изучаемых объектов и квалификация исполнителя. Достоверность распознавания на снимке природных объектов в решающей степени обусловлена их спектральными свойствами, выраженностью границ, степенью изменчивости, а также наличием устойчивых взаимосвязей с другими объектами. Существенными факторами надежности результатов являются также качество (свойства) снимков и техническое обеспечение работы (компьютеры и программы), что в решающей степени зависит от финансирования.

Литература

1. Применение геоинформационных систем и данных дистанционного зондирования для мониторинга особо охраняемых природных территорий Беларуси [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kosmoaerogeology.by/2009-12-12-01-36-16/content/96-2009-12-28-14-36-50>.
2. Лабутина, И. А. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ. методическое пособие // И. А. Лабутина, Е. А. Балдина. – М.: WWF России, 2011. – С. 69-69.
3. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований: учеб. для студентов вузов. М.: Академия, 2004. 306 с.

4. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: учеб. пособие для студентов вузов. –М.: Аспект Пресс, 2004. 184 с.

5. Лурье И.К., Косиков А.Г. Теория и практика цифровой обработки изображений: учеб. пособие. М.: Научный мир, 2003. 168 с.

6. Тутубалина О.В. Компьютерный практикум по курсу «Космические методы исследования почв»: учеб. пособие / под ред. В.И.Кравцовой. М.: Географический факультет МГУ, 2009. 112 с.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ СМЕСЕВЫХ ВВ ДЛЯ РЫХЛЕНИЯ УГЛЯ

Ж. Жамьян, Старшинов А.В., Куприянов И.Ю.

Монголо-российская совместная компания «МОНМАГ», Монголия

В Монголии в центральном регионе расположены и разрабатываются месторождения бурых углей, обладающих повышенной склонностью к самовозгоранию после рыхления. В определенных условиях возникает необходимость подготовки пластов угля к выемке с использованием взрыва. В течение многолетних наблюдений установлено, что при взрывном рыхлении угля вероятность его возгорания резко возрастает. Этот факт определяется сокращением периода индукции 1- 2 месяца, характерного для рыхления механическим способом, до нескольких суток после рыхления взрывным способом, особенно при использовании грубодисперсных смесевых ВВ типа «гранулит» и даже гранулозола.

Комплекс аналитических и экспериментальных исследований, выполненных в компании «МОНМАГ», показал что отрицательный эффект от взрывного рыхления углей с применением смесевых ВВ на основе аммиачной селитры (АС) и жидких нефтепродуктов, в частности, дизельного топлива (ДТ) может быть уменьшен при выполнении ряда условий при выборе компонентов, изготовлении смесей АСДТ и их последующей переработке, включая зарядание скважин.

Основу качества смесей АСДТ определяет разновидность АС и её фактическое состояние в момент использования. Известно, что наиболее рациональными для этих целей является АС в виде пористых гранул (ПАС). Так же известно, что свойства ПАС и взрывчатые характеристики смесей АСДТ (ПАСДТ) определяются структурой частиц-гранул, которая зависит от способа получения этих частиц. В последние годы на рынке Монголии стали доступны разновидности ПАС, изготавливаемые по наиболее распространенной в мировой практике технологии приллирования «влажного» плава и охлаждения прилл с сушкой со ступенчатым изменением температуры. Такая ПАС выпускается на ряде азотных заводов в Китае, и в России (гг, Новомосковск и Ангарск).

Выявленные и экспериментально подтвержденные эффекты, оказывающие влияние на качество, эффективность и безопасность применения смесевых ВВ типа АСДТ в условиях Монголии:

- при хранении АС любых марок и разновидностей в климатических условиях Монголии с существенными перепадами температур по сезонам года, а также в течение суток, и высоким уровнем солнечной радиации в результате модификационных превращений происходит деградация гранул с образованием мелких фракций с неравномерным распределением по массиву АС;

- наиболее существенное влияние на возможность и безопасность применения смесевых ВВ типа «гранулит» для рыхления массивов углей оказывает однородность распределения и смешивания компонентов, особенно, проявление эффекта флегматизации при образовании сплошного слоя горючего компонента на поверхности, а также во внутренних полостях частиц-гранул АС.

Выявленные особенности поведения АС и смесей типа АСДТ определяют выбор технологических приемов для их подготовки и изготовления:

- АС (ПАС) перед использованием для изготовления смесей АСДТ должна подвергаться рыхлению, сепарации от неизмельчаемых («крупных») включений и усреднению по гранулометрическому составу;
- при назначении ВВ для рыхления массивов углей наиболее рациональным является изготовление смесей в аппаратах периодического действия с подачей компонентов в заданной последовательности и регулированием интенсивности (длительности) перемешивания;
- для устранения эффекта флегматизации по внешней поверхности частиц-гранул АС в составе смесей типа АСДТ целесообразно использование дисперсных добавок с высокой поглотительной способностью по отношению к ДТ;
- для устранения эффекта флегматизации гранул избытком ДТ во внутренней полости ПАС с высоким (12 -14%) маслопоглощением часть гранул целесообразно разрушить путем раздавливания до размера долей гранулы с сохранением пористой структуры образующихся частиц;
- одним из рациональных приемов обеспечения качества смесевых ВВ для рыхления углей является использование АС (ПАС), а также готовых смесей АСДТ, подвергнутых хранению в течение времени с естественными изменениями температур в области фазовых переходов в кристаллической структуре нитрата аммония (около минус 17 или плюс 32°C).

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПУСТОТЕЛЫХ ЦЕЛИКОВ

Ковалёв Д.О.

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

В настоящее время, в связи с увеличением роста глубины разработки становится актуальной задача сокращения потерь полезного ископаемого в предохранительных целиках.

Вследствии роста глубины разработки, размеры предохранительных целиков увеличиваются до такой степени, что эксплуатация месторождения осложняется и потери полезного ископаемого резко возрастают.

Например, общеизвестно, что размеры потерь угля в околоствольных целиках увеличиваются пропорционально глубине разработки [1].

В связи с вышеизложенной проблемой, необходимо пересмотреть методику оставления предохранительных целиков в качестве надежного и экономически эффективного способа охраны горных выработок.

На основании вышеизложенного, можно сделать заключение, что особую актуальность приобретает задача извлечения полезного ископаемого, находящегося в предохранительных целиках, а в связи с этим – составление и изучение геомеханического представления о напряженно-деформируемом состоянии целика и массива горных пород окружающих его, закономерностях сдвижения горных пород вокруг очистной выработки и целика. Результаты исследований должны лечь в основу создания нового комплекса мер по охране горных выработок с помощью предохранительных целиков и извлечения полезного ископаемого из них.

В данной работе, рассматривается возможность введения нового способа управления горным давлением и охраны горных выработок с помощью пустотелых целиков.

Нововведение направленно на сокращение потерь полезного ископаемого в предохранительных целиках при минимальном, или допустимом снижении прочности и несущей способности целика.

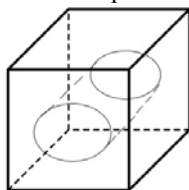


Рис 1. Модель пустотелого целика с горизонтально ориентированным отверстием

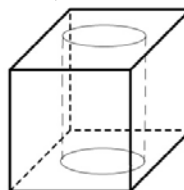


Рис 2. Модель пустотелого целика с вертикально ориентированным отверстием

В наиболее простом решении данной проблемы предполагается вынимать центральную часть целика в горизонтальном или вертикальном направлении.

Было проведено физическое моделирование на образцах из строительного гипса. Испытания проводились на гидравлическом прессе Instron Satec 300DX. Образцы испытывались на предел прочности на одноосное сжатие по вертикальной оси. Образцы состояли из строительного гипса и были двух видов – сплошные и с трубчатым отверстием по центру.

Параметры образцов:

$$a=100 \text{ мм}; b=100 \text{ мм}; h=120 \text{ мм}; d=55 \text{ мм}.$$

В результате испытаний была установлена зависимость предела прочности образцов на сжатие и отношение площади отверстия в образце к общей площади, на которую приходилась нагрузка. При этом происходит разрушение и выпучивание породы по бокам образца, и уплотнением ее в середине, вокруг отверстия. В связи с изменчивостью факторов, влияющих на несущую способность целика, и сложностью определения воздействующей на него нагрузки является разработка экспресс-метода оценки состояния целика [2].

Таблица 1 – Предел прочности образцов

№ Образца	Максимум напряжение при сжатии, (Мпа)	
	Сплошной	С отверстием
1	5,43	5,61
2	5,62	4,64
3	5,94	5,68
4	6,68	4,85
5	6,71	3,63
6	7,08	3,1
7	7,12	3,91
8	6,59	3,1
9	6,19	4,67
10	5,86	4,96
11	6,25	3,88
12	6,95	5,7
13	5,51	4,93
14	5,4	4,81

Данный эксперимент показывает, что прочность образца с вертикальным трубчатым отверстием по центру, с диаметром 55 мм, понижается на 32,7%. Если в данном эксперименте условно принять прочность сплошного образца с коэффициентом запаса равным 2, то прочность пустотелого образца будет равна 1,4. В данных условиях извлекаемость полезного ископаемого теоретически увеличится на 23%.

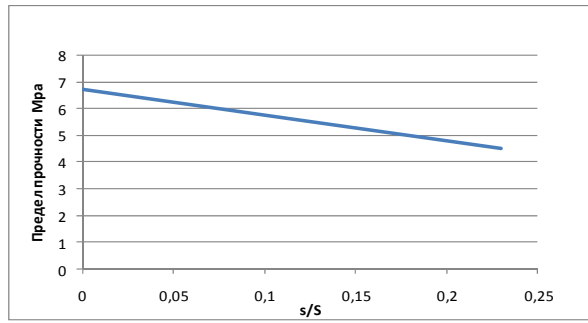


Рис. 3. Зависимость предела прочности от отношения площади отверстия к общей площади образца

В будущих исследованиях по вопросу несущей способности целика необходимо уделить большое внимание ряду факторов влияющих на напряженно-деформированное состояние целика:

1. Вещественный состав целика.
2. Строение целика.
3. Проявлением реологических свойств.
4. Изменением влажности.
5. Зависимости прочности целика от отношения его высоты к ширине



Рис. 4. Пример разрушенного образца

Литература

1. О потерях угля в предохранительных целиках угольных шахт. С.Г. Страданченко – «Неделя горняка – 2001», Семинар №10.
2. Характеристика изменений длительной прочности ленточного целика, образующегося при добыче руды из пологих калийных пластов. В.Г. Артемов – «Известия вузов. Горный журнал», №1, 2013, стр. 49.
3. Певзнер М.Е., Иофис М.А., Попов В.Н. Геомеханика: учебник для вузов. – 2-е изд., – МГГУ, 2008. – 438 с.:ил.
4. Казикаев Д.М., Козырев А.А., Каспарьян Э.В., Иофис М.А. Управление геомеханическими процессами при разработке месторождений полезных ископаемых: Учебное пособие. – М.: Издательство «Горная книга», 2016. – 490с.: ил.
5. Козел А.М. Геомеханические вопросы проектирования и поддержания шахтных стволов. Книга 2. Часть 1. – СПб.: «Недра», 2010. – 288 с.
6. Г.Н. Кузнецов. Моделирование проявлений горного давления. «Недра» – 1968 – Ленинград.

ЖАРОСТОЙКИЙ БЕТОН И КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ (СИЛИКАТ-НАТРИЕВОЕ) НА ОСНОВЕ ХРОМИТОВОЙ РУДЫ

Жугинисов М.Т., Сартаев Д.Т., Бек А.А.

НАО «КазННТУ им.К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан).

Введение. В статье приводятся результаты исследований по получению и исследованию свойств силикат-натриевого композиционного вяжущего (СНКВ) и жаростойкого бетона на основе хромитовой руды. После твердения СНКВ имели следующие свойства: $R_{сж} = 20-24$ МПа, огнеупорность 1300-1400 °С. В процессе термической обработки в интервале температур 500 – 1300 °С в составе вяжущего дополнительно формируется форстерит. При разработке состава жаростойкого бетона в качестве заполнителя использовалась хромитовая руда. В результате проведенных экспериментов получен жаростойкий бетон со следующими свойствами: $R_{сж} = 13,0-16,0$ МПа, огнеупорность 1400-1500 °С. Остаточная прочность после обжига при температуре 800 °С в течении 4-х часов составляет 70%, что по предельно допустимой температуре применения соответствует классу И14, температура применения которого составляет 1400 °С.

Основное содержание. Большинство технологических процессов в металлургии, энергетике, промышленности строительных материалов и других отраслях народного хозяйства протекают в тепловых агрегатах при повышенных температурах. Определяющим фактором стабильной работы тепловых агрегатов в таких условиях является наличие жаростойкой футеровки. Широкое применение для футеровки тепловых агрегатов и оборудования находят жаростойкие бетоны на жидком и растворимом стекле [1-3]. Жаростойкий бетон на силикат-натриевом композиционном вяжущем (СНКВ) способен выдерживать эксплуатационные условия печей для получения керамических изделий, извести и других материалов с температурой обжига от 1000 до 1300 °С и более.

Улучшение качества и развития производства новых видов жаростойких бетонов путем совершенствования технологии и эффективного использования сырьевых ресурсов является основным направлением технического прогресса в этой области.

Технология жаростойкого бетона заключается в получении композиционного вяжущего путем совместного помола силикат-глыбы с такими огнеупорными материалами как шамот, мел, корунд, динас, кварцит и др. В этой технологии особенно важен выбор вида заполнителя, в качестве которого выбирают те же огнеупорные материалы. Основным фактором являлся характер химической реакции между силикатом натрия и огнеупорным компонентом при температуре плавления 800 °С и

выше с образованием жаростойких соединений. В этом направлении известны работы Горлова Ю.П., Тотурбиева Б.Д., Бурова В.Ю., Чеченова В.А., Мантурова З.А., Парамазовой Ф.Ш. и др.

Использование хромитовой руды для получения жаростойких бетонов показано в исследовании [4]. В указанной работе хромитовая руда применяется в качестве крупного и мелкого заполнителя в виде фракций 1,25-2,5 и 2,5-5, сумма которых составляет 44 %. Остальные компоненты бетона: бой хромито-периклазовых огнеупоров и силикат-глыба.

В наших исследованиях преследовалась цель получить жаростойкий бетон только на основе хромитовой руды и силикат-глыбы.

В качестве основного сырьевого материала применялась хромитовая руда Кемпирсайского месторождения Актюбинской области. Насыпная плотность хромитовой руды 2035 кг/м³, огнеупорность 1750°C. Поэтому представляет собой потенциальное сырье для получения силикат-натриевого композиционного вяжущего (СНКВ) и жаростойкого бетона. Минералогический состав хромитовой руды представлен **хромшпинелитом** (Fe(Cr, Al)₂O₃) и **серпентином** (змеевик) (3MgO·2SiO₂·2H₂O).

В качестве вяжущего материала применялась силикат-глыба с силикатным модулем 2,7-3,0. Химическая формула силиката натрия Na₂O x nSiO₂. Силикат-глыбу получают сплавлением шихты из кварцевого песка и карбоната щелочи при температуре 1400 °C с последующим охлаждением до стеклообразного состояния и представляет собой кусковой или гранулированный материал.

Методы исследования структуры и фазовых превращений. Для изучения фазового состава, структуры и процессов кристаллизации изделий, используется методы рентгенофазового и дифференциально-термического и метод петрографического анализов.

Рентгенофазовый анализ (РФА) проводился на дифрактометре ДРОН-3 с SiKa – излучением. Чувствительность методов составляет от 1% до 2%. РФА подвергали порошки-образцы, прошедшие через сито 100 отв/мм. Идентификация рентгенограмм осуществлялась по справочным данным [5].

Дифференциально-термический анализ (ДТА) проводился на приборе «Deridalogaf» 1000 – 1500 и С системы Паулик и Эрден (Венгрия) при скорости изменения температуры 7,5 и 10 град/мин.

Огнеупорность СНКВ и жаростойкого бетона определяли по методике [6].

Физико-механические свойства СНКВ и жаростойкого бетона определяли по методике [7].

Приготовление СНКВ осуществлялось совместным помолом хромитовой руды с силикат-глыбой в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности 2500-3000 см²/г. Насыпная плотность вяжущего

после помола в течении 4 часов: СГХР-1 – 1220 кг/м³, СГХР-2 – 1200 кг/м³, СГХР-3 – 1170 кг/м³. Твердение СНКВ осуществлялось сушкой образцов в интервале температур 100-200 °С. В таблице 1 приведены составы и свойства композиционного вяжущего, полученного совместным помолом силикат-глыбы и хромитовой руды. Содержание хромитовой руды в составе вяжущего составляло 80-90%.

Выводы. В результате проведенных исследований:

1. Разработаны составы и режимы твердения СНКВ на основе хромитовой руды Кемпирсайского месторождения.

2. Исследованы физико-механические и огнеупорность СНКВ. Прочность при сжатии полученных вяжущих составляет 20-24 МПа, прочность при изгибе 1,5-3,8 МПа. Огнеупорность вяжущих находится в пределах 1300-1400 °С.

3. Установлено, что при термической обработке СНКВ при температуре 700 °С и выше в нем формируется дополнительно форстерит. Сочетание в составе вяжущего хромшпинелида и форстерита повышает его огнеупорность.

4. Выполнен подбор состава жаростойкого бетона. В качестве заполнителя использовалась хромитовая руда размерами зерен 2,5-0,315 мм. Полученный бетон обладает следующими свойствами: прочность при сжатии $R_{сж} = 13,0-16,0$, огнеупорность – 1400-1500 °С.

5. Установлена возможность получения силикат-натриевого композиционного вяжущего и жаростойкого бетона на основе хромитовой руды, который можно использовать при строительстве и футеровке тепловых агрегатов с рабочей температурой до 1400 °С.

Литература

1. Тарасова А.П. Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе. М.: Стройиздат, 1982. – 133 с.
2. Кононов В.П. Прочностные и деформативные свойства шлакощелочных высокопрочных бетонов на основе высокомодульного жидкого стекла. Автореф. канд. техн. наук: 12.04.90. Киев: КИСИ, 1990. 19 с.
3. Патент РФ № 2382008. Состав и способ изготовления безобжигового карбид кремниевого жаростойкого бетона. Опубликовано: 20.02.2010.
4. Бондарев А.А. Жаростойкий бетон с применением хромитовой руды. Автореф. канд. тех. наук. М.: МИСИ, 1992. – 18 с.
5. Михеев И.А. Рентгенографический определитель минералов. Москва, 1957, 860 с.
6. ГОСТ 4069-69. Изделия и материалы огнеупорные. Метод определения огнеупорности. Государственный комитет СССР по стандартам. Москва.
7. ГОСТ 20910-90 «Жаростойкие бетоны». Технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов. 2002 г.

ИЗУЧЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Г.М., Солтабаева С.Т.

*Казахский национальный исследовательский технический университет (КазНТИУ) имени К.И.Сатпаева
г. Алматы, Республика Казахстан*

Важнейшей геомеханической характеристикой породного массива является его естественное напряженное состояние. Анализируя литературу, посвященную проблемам механики скальных пород, не трудно заметить, что во многих случаях наблюдается определенная разобщенность между представлениями о геомеханической структуре реального породного массива и о его напряженном состоянии. Очевидно, для определенного круга задач, когда масштабы факторов неоднородности существенно меньше масштабов изучаемого массива конкретного месторождения или масштабов горных выработок, взаимодействующих с элементами этого массива, можно принять модель сплошного однородного тела. Поэтому рассматриваемый нами породный массив детально исследован, но полученные результаты являются составной частью исследований по изучению геомеханических процессов и следует рассматривать их не как окончательные, а итог определенного этапа работ.

На начальном этапе постановки работ по изучению напряженного состояния массивов пород Акбакайского месторождения нами был изучен керновый материал геологоразведочных скважин. В расчетные формулы для вычисления напряжений по результатам измеренных деформаций входят модуль упругости и коэффициент Пуассона. Величины модуля упругости E и коэффициента Пуассона определяются в лабораторных условиях по образцам, взятым в точках замеров [1].

Общий порядок определения напряжений методом заключается в следующем. В исследуемом участке массива задаются две или три скважины. Направление скважин ориентируется по направлениям главных напряжений в массиве. Эти направления определяются предварительным изучением геомеханической ситуации на месторождении путем привлечения тектонических методов и визуальной оценки характера и условий разрушения и деформирования пород вокруг выработок. Целесообразно начинать измерительные работы о вертикальной скважины, ориентированной вдоль главного нормального напряжения $\sigma_z(\sigma_3)$. Результаты обработки полученных данных позволят уточнить направления главных горизонтальных напряжений: $\sigma_x(\sigma_1)$ и $\sigma_y(\sigma_2)$.

Важным моментом при определении напряжений по результатам измерений деформаций при торцевом варианте метода разгрузки является способ перехода от измеренных деформаций к напряжениям.

Фактические напряжения определяли методом разгрузки на 5-ти горизонтах рудника «Амбакай»: на дне карьера -60 м и на горизонтах 120 м, 180 м, 240 м, 300 м. Глубина скважин в пределах 5,5-7,0 м и производились по три измерения с каждой скважины. Измерение напряжений было выполнено на 12 участках рудника. На каждом участке измерения производились в трех направлениях. Только на одном руднике для определения напряжений в массиве горных пород нами методом разгрузки было реализовано 36 замеров. В таблице приведены обобщенные результаты измерения естественных напряжений кварцитах Амбакайского месторождения [2].

Таблица 1 – Результаты измерения естественных напряжений кварцитах

Место измерения, горизонт	Глубина от дневной поверхности, Н, м	Средние значения напряжений, МПа			Сумма горизонтальных напряжений ($\sigma_x + \sigma_y$), МПа
		σ_x	σ_y	$\sigma_z = \gamma H$	
Карьер	60	5,2	3,3	2,2	8,5
	60	5,0	3,2	2,0	8,2
2	120	7,8	4,4	3,3	12,2
	120	6,3	5,7	3,5	12,0
3	180	9,1	6,6	5,4	15,7
	180	10,5	5,1	5,2	15,6
4	240	12,1	7,1	6,7	19,2
	240	14,0	5,1	7,2	19,1
	240	13,7	5,3	6,8	19,0
5	300	12,2	10,4	8,6	22,6
	300	14,0	9,0	8,2	23,0
	300	13,8	8,8	8,5	22,6

Примечание: σ_z – среднее значение напряжения, действующего в вертикальном направлении; σ_x – среднее значение нормального напряжения, действующего в меридиональном направлении; σ_y – среднее значение нормального напряжения, действующего в широтном направлении.

Анализируя таблицу и полученные по другим рудникам результаты определения естественных напряжений, нельзя не заметить следующих особенностей распределения горизонтальных напряжений в породных массивах.

Во-первых, горизонтальные напряжения по своим значениям превосходят вертикальные, во-вторых, на равных глубинах от дневной поверхности в крепких породах горизонтальные напряжения имеют более высокие значения, чем относительно слабых, в-третьих, вертикальные напряжения в среднем близки к значению γH независимо от прочности горной породы.

Таким образом, все виды напряжений с глубиной меняются, особенно сумма значений горизонтальных напряжений ($\sigma_x + \sigma_y$) меняется по определенной закономерности и, это хорошо видно из рисунка 1.

Согласно рисунку, связь между напряжением и глубиной считать прямолинейной, то корреляционная связь определяется по следующей формуле

$$\sigma_x + \sigma_y = 5 + 2,14 \gamma H, \text{ МПа} \quad (1)$$

где γ -объемный вес породы $2,8 \cdot 10^{-2}$ МПа/м; H – глубина от дневной поверхности, м; коэффициент корреляции связи равен $r = 0,92$.

Естественно было стремление сравнить полученные нами результаты по напряжениям с результатами аналогичных работ других исследователей. По литературным материалам нам удалось собрать данные по рудникам, расположенным в пределах горно-складчатых структур. Анализ собранных данных по напряжением в массивах горных пород в различных регионах был увязан с типом их тектонической структурой. Например, приведенные на рисунке 1 данные по рудникам Каратау (Казахстан) Терексай и Хайдархан Кыргызской республики тесно согласуются с данными, полученными на руднике месторождения Акбакай [3].

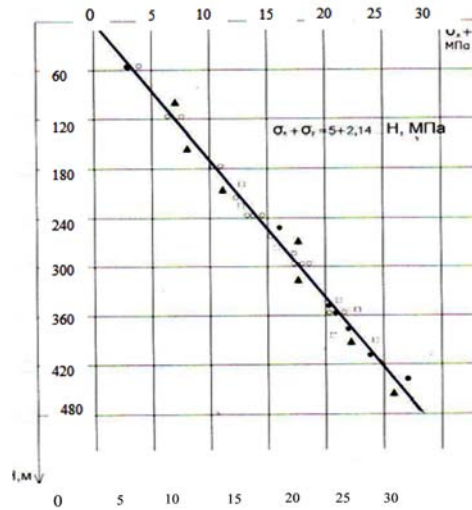


Рис.1. Изменение суммы горизонтальных напряжений ($\sigma_x + \sigma_y$) с глубиной

По итогам изучения напряженно-деформированного состояния породного массива месторождения Акбакай можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что значения горизонтальных напряжений превышают вертикальных 1,2-1,5 раза.
2. Получена корреляционная зависимость горизонтальных напряжений от глубины и эта зависимость выражается формулой (6).
3. Полученные результаты сравнивались с результатами аналогичных работ других авторов, и они позволяют сделать вывод о достаточной высокой надежности полученных уравнений регрессии (коэффициент корреляции $r = 0,92$; его надежность $\mu = 16$).

4. Установлено, что независимо от местонахождения на равных глубинах в породах, близких по прочности, имеют место практически равные значения горизонтальных напряжений. Такое условие может соблюдаться лишь в том случае, если напряженно-деформированное состояние породного массива соответствует полному развитию процесса сдвига и проявлению горного давления, где уровень сохранившихся горизонтальных напряжений зависит от прочностных свойств массива и глубины от дневной поверхности. Следовательно, для оценки состояния массива, в дальнейшем необходимо обратить внимание на изучение и учет влияния изменчивости свойств и структурных особенностей пород с глубиной.

Литература:

1. Нурпеисова М.Б. Геомеханика рудных месторождений Казахстана.- Алматы: КазНТУ, 2012. – 324 с.
2. Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Г.М., Солтабаева С.С. Экологическая и промышленная безопасность освоения недр. – Алматы: КазНТУ, 2016. – 485 С.
3. Нурпеисова М.Б., Менаяков К.Т. Кыргызбаева Г.М. Оценка геомеханического состояния массива горных пород при открыто-подземной раз-работке месторождения // Труды междуна.п.конф. «Наука и образование- ведущий фактор стратегии «Казахстан-2030»- Караганда, 2010. – С.90-94.

ЗЕМНЫХ ШИРОТ КОСМИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ

Умирбаева А.Б., Жантуева Ш.А., Орманбекова А.

*Казахский национальный исследовательский технический университет (КазНТУ) имени К.И. Сатпаева.
г. Алматы, Республика Казахстан*

С обретением нашей страной независимости возникла проблема подготовки кадров по новым для казахстанских вузов специальностям. Геодезисты со специализацией по направлениям «прикладная геодезия», «аэрофотогеодезия», «астрономогеодезия», «космическая геодезия» и в области картографии (инженеры) готовились в СССР в основном двумя специализированными вузами: Московским институтом инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (ныне Московский государственный университет геодезии и картографии) и Новосибирским институтом инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (ныне Сибирская государственная геодезическая академия). Казахские вузы ограничивались лишь преподаванием геодезических дисциплин.

В связи с глобальной информатизацией общества особую роль ныне играет геоинформатика. Географические информационные системы (ГИС) востребованы во всех сферах деятельности человека и, прежде всего, в системе государственного управления. Именно стремительное развитие ГИС-технологий является причиной резкого роста спроса на гео-пространственные сведения, составляющие основу банков данных информационных систем. Геодезия и картография обеспечивают географическую основу

ГИС в виде координат объектов местности и цифровой картографической продукции, в том числе в виде продуктов так называемой «неокартографии», основой которой служат аэрокосмические снимки.

Учитывая новые социальные реалии, в КазННТУ была организована подготовка специалистов по новым для Казахстана специальностям в области геодезии и картографии, землеустройства, кадастра. Сейчас кафедра готовит бакалавров, магистров и докторантов PhD по геодезическим специальностям и маркшейдерскому делу.

Коллектив кафедры отличается высоким профессиональным уровнем, имеющий большой опыт педагогической, научной и производственной работы и передающие его молодым преподавателям, идущим на смену. Высокая ответственность и заинтересованное отношение к своему делу характерны для ассоциированных профессоров и молодых преподавателей кафедры.

Учебные лаборатории оснащены современными маркшейдерско-геодезическими и фотограмметрическими приборами. Современные приборы швейцарского производства: электронные тахеометры, цифровые нивелиры, GNSS-приемники, базовая станция и переносные роверы, лазерный 3D сканер, беспилотный летательный аппарат (беспилотник) и лазерные рулетки (рис.1).



Рис.1- Современное материально-техническое оснащение и компьютерный класс кафедры

Кафедра МДиГ располагает десятью учебными лабораториями. В Алматы на крупных производственных предприятиях открыто четыре ее филиала. Учебные лаборатории планомерно оснащаются программно-аппаратными комплексами компьютерных технологий обработки и представления пространственных данных, цифровыми и электронными геодезическими приборами, приборами глобальных навигационных спутниковых систем. Так, были приобретены лазерный сканер, роботизированный электронный тахеометр, цифровой нивелир, спутниковая навигационная система GPS. При кафедре работает лаборатория ГИС-технологий.

На кафедре создана учебная научно-исследовательская лаборатория «Инновационные технологии сбора и обработки геопространственных данных по геодезии и маркшейдерии», созданной компанией «Leica Geosystems»(Рис.2).



Рис. 2- «Научно-исследовательская лаборатория»:
а- открытие лаборатории; б- занятие с магистрантами в лаборатории

Востребованность гео- пространственных данных на мировом рынке, связанная с всеобщей информатизацией, привела к революционным технологическим преобразованиям в геодезии и картографии. Прежде всего, это глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), космические системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), современные цифровые съемочные системы воздушного базирования, в том числе лазерные, ГИС-технологии, программные продукты по обработке материалов ДЗЗ и изготовлению картографической продукции в цифровом виде.

Резкое расширение спектра применения гео- пространственных данных привело к активному внедрению геодезических и картографических методов во многие научные дисциплины о земле. Заметным стало использование терминологии, позаимствованной из англоязычной литературы или являющейся искаженным аналогом понятий классической геодезии, картографии, фотограмметрии.

Многообразие космических систем ДЗЗ, видов и режимов съемки, в том числе воздушного базирования, форматы представления данных стали главной причиной появления на рынке большого числа программно-аппаратных комплексов по обработке и представлению данных ДЗЗ.

Обучение студентов КазНТУ по специальности «Геодезия и картография» профессионально ориентирована именно на топографическое картографирование. КазНТУ становится главным вузом страны по подготовке специалистов для решения государственных задач в области геодезии и картографии. В Казахстане остро ощущается дефицит специалистов, освоивших цифровые технологии производства топографических карт.

Кафедра имеет тесные научные, научно-методические связи с ведущими техническими вузами и научными центрами стран ближнего и дальнего зарубежья. Преподаватели кафедры принимают активное участие в международных конференциях, симпозиумах, конгрессах.

Зарубежные ученые –маркшейдеры и геодезисты приезжают в КазНТУ для чтения лекций по технологии маркшейдерско-геодезического производства и геомеханических исследований. В течении трех лет побывали ученые России, из Швейцарии, из Германии, из Китая, из Швеции.

Можно с полной уверенностью утверждать, что кафедра развивалась и достигла определенного благополучия, прежде всего, опираясь на научно-исследовательскую работу, являющуюся одним из важных приоритетов деятельности кафедры. Коллектив кафедры видит перспективы развития, прежде всего, в тесных связях с производством, выполнении серьезных исследовательских, проектных и изыскательских работ. Имеющаяся материально-техническая база позволяет оптимально решать актуальные задачи, стоящие перед маркшейдерско-геодезической наукой и производством.

На кафедре сложилась весьма работоспособная группа специалистов, сформировались научные направления, представляющие собой приоритетное направление в системе наук о Земле и соответствующие реальным рыночным запросам ГК РК. За 2015-2017 годы по проекту «Разработка полезных ископаемых в ослабленных зонах с сопровождением геомониторинга на основе инновационных топогеодезических и аэрокосмических технологий» (руководитель, проф. Ж.Д. Байгурин) разработана расширенная геоинформационная модель геомеханических рисков, осуществляющая комплексный анализ результатов топографо-геодезических измерений.

Университет уделяется повышенное внимание промышленной безопасности на рудниках. Свидетельством этому является проводимое под руководством профессора М.Б. Нурпеисовой исследование по

проекту «Снижение техногенных катастроф путем разработки инновационных методов управления». Так, только в 2015-2016 гг. PhD докторантами кафедры получены четыре инновационных патентов РК и поданы еще 2 заявки на изобретение.

Инфраструктура КазНИТУ позволяет провести защиту интеллектуальной собственности ППС, магистрантов и докторантов путем патентования новых технических решений и публикации результатов исследований в признанных международных журналах. Труды ведущих преподавателей и докторантов уже опубликованы в цитируемых журналах базы Scopus и Thomson Reuters.

Главным показателем работы кафедры является то, что выпускники кафедры составляют основу маркшейдерских служб горных предприятий Казахстана, являясь их руководителями и ответственными специалистами. Многие из них работают генеральными и техническими директорами, главными маркшейдерами организаций горного профиля Казахстана, в том числе метрополитена г.Алматы. А выпускники кафедры по специальности геодезия и картография пополняют ряды руководителей и специалистов геодезических служб, органов управления земельными ресурсами различных уровней.

И.Ньютон сказал: «Если я видел дальше других, то потому, что стоял на плечах гигантов». И мы уверены, что молодые ученые нынешнего тысячелетия будут стоять на плечах гигантов XX века, таких как: Сатпаев К.И., Ержанов Ж.С., Байконуров О.А., Машанов А.Ж., Рыжов П.А., Попов В.Н. и многие другие.

ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ НАИБОЛЕЕ ХАРАКТЕРНЫХ АВАРИЙ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕДР

Иофис М.А., Есина Е.Н.

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

В связи с интенсивным освоением запасов полезных ископаемых в благоприятных условиях все чаще приходится вовлекать в разработку месторождения, опасные по гидро-, газо- и геодинамическим явлениям [1]. Соответственно возрастает число аварий, в том числе с тяжелыми последствиями. Так, только на трех шахтах Кузбасса («Ульяновская», «Юбилейная» и «Распадская») в течение короткого времени погибло более двухсот человек.

Анализ произошедших техногенных катастроф показывает, что природа и механизм многих аварий очень близки, и поэтому методы борьбы с ними должны быть схожими [2, 3].

Для этого необходимо дополнительно проанализировать произошедшие аварии и составить их классификацию (табл. 1). В качестве основного классификационного признака целесообразно принять природу аварии. С ней связаны также ее последствия. Рассмотренные аварии условно можно разделить по форме проявления на четыре класса: гидродинамические, газодинамические, геодинамические, а также совмещенные. Наиболее часто возникают аварии при освоении месторождений, опасных по гидро-, газо- и геодинамическим явлениям.

К гидродинамическим явлениям относятся, прежде всего, прорывы воды в горные выработки, влекущие затопление шахт и рудников, образование провалов на земной поверхности, травмирование и гибель людей. К газодинамическим явлениям относятся внезапные выбросы угля, породы и газа, взрывы метана и особенно пылегазовой смеси. К геодинамическим явлениям относят обычно горные удары, стреляния, толчки, неуправляемое обрушение зависающей кровли выработок. Наиболее опасны перечисленные явления, когда они возникают одновременно. Так, геодинамическое явление – разрушение целиков при камерно-столбовой системе разработки, ведет к образованию в толще пород сквозных водопроводящих трещин и затоплению рудников, то есть к гидродинамическому явлению.

Обычно совмещение явлений происходит при комбинированной (открыто-подземной) разработке месторождений, особенно, когда подземные работы ведутся под затопленным карьером. В рассматриваемых условиях разделительный целик между открытыми и подземными горными выработками нередко оказывается недостаточным, так как в отличие от стандартных условий на него почти одновременно действуют такие разрушительные факторы, как взрывные работы, деформации горных пород, напор воды, растворение вмещающих пород и т.д.

К характерным газо-геодинамическим явлениям следует отнести аварию на шахте «Распадская» в Кузбассе, где произошло неуправляемое обрушение зависшей кровли пласта (геодинамическое явление), выхлоп и взрыв газа, скопившегося под зависшими породами (газодинамическое явление).

Таким образом, анализ причин и оценка последствий наиболее характерных аварий, произошедших на месторождениях, опасных по гидро-, газо- и геодинамическим явлениям, позволяет учитывать накопленный опыт при принятии технических решений, а также своевременно предпринимать необходимые профилактические и защитные мероприятия для предотвращения подобных аварий, либо максимально снизить их вредные последствия.

Таблица 1 – Классификация наиболее характерных аварий, произошедших на месторождениях, опасных по гидро-, газо- и геодинамическим явлениям

Класс	Вид аварии	Последствия	Причины	Комментарии
1. Геодинамические явления	1.1. Прорыв воды в шахту из затопленных горных выработок	Затопление шахты «Западная Кашитальная» и гибель людей	Подработка затопленных выработок без организации соответствующего мониторинга	Горные работы в зоне влияния на затопленные выработки должны вестись под контролем мониторинга, с учетом ожидаемых и допустимых деформаций
	1.2. Прорыв воды в горные выработки из водоносных горизонтов	Затопление рудника БКРУ-1 и образование на земной поверхности провала	Образование сквозных водопроводящих трещин в водозащитной толще	Необходимо уточнить методику расчета высоты зоны водопроводящих трещин на калийных месторождениях
	1.3. Прорыв воды в горные выработки из водного объекта на земной поверхности	Затопление шахты «Герювская Западная» и гибель людей	Работы велись выше горизонта безопасной глубины. В плане ликвидации аварий выход людей из затопляемого участка намечался без учета гипсометрии пласта, из-за чего люди попали в водяные ловушки	Подработка водных объектов должна проводиться по специальным проектам, содержащим обоснованное предписание по выводу людей из опасных участков с учетом профиля выработок, по которым должны двинаться люди при затоплении выработок
	1.4. Прорыв воды в шахту из затопленного карьера	Затопление алмазодобывающего рудника «Мир» в Якутии	Оставление целика между затопленным карьером и подкарьерными запасами недостаточных размеров	Подкарьерные запасы следовало отработать при работающем незатопленном карьере. При этом в процессе отработки подкарьерных запасов необходимо создавать над подземными горными работами искусственный целик из твердеющей закладки кучлообразной формы, под защитой которого вести подземные горные работы

Класс	Вид аварии	Последствия	Причины	Комментарии
2. Газодинамические явления	2.1. Внезапные выбросы угля, породы и газа	Образование пологостей в массиве пород, запыление дробленым материалом, разрушение горных выработок, нарушение их проветривания и травмирование шахтеров	Резкое, недостаточно контролируемое и управляемое напряжение массива горных пород	Освоение месторождений полезных ископаемых, опасных по газодинамическим явлениям, следует вести по специальным проектам, предусматривающим прогноз и контроль изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород и меры управления этим состоянием
	2.2. Взрывы метана	Отравление шахтной атмосферы, нарушение режима проветривания, разрушение горных выработок, травмирование и гибель людей	Недостаточно эффективные региональные и локальные методы дегазации угольных пластов, образование дисбаланса между выделяющимся при опережающей отработке запитных пластов объемом метана и удаляемым из газонасыщенных пластов	Повышение эффективности дегазации метанообильных пластов путем применения искусственной дегазации скважинами, буримыми в места скопления газа, выделяющегося из пластов при их наработке
	2.3. Взрывы пылегазовой смеси	Крупномасштабное разрушение горных выработок, гибель людей и прекращение эксплуатации шахт «Юбилейная» в Кузбассе и им. А.Ф.Засядько в Донбассе	Одновременное выделение большого количества пыли и газа из метанообильных пластов в связи с применением высокопроизводительной добычной и проходческой техники и в связи с резким увеличением темпов подвигания горных работ	Нельзя допускать одновременного скопления газа и пыли в местах их образования, для чего следует разделить потоки газа и пыли с помощью специальных трубопроводов, при этом отсос метана должен проводиться отдельно через трубопровод, подвешенный у кровли выработок

Класс	Вид аварии	Последствия	Причины	Комментарии
3. Геодинамические явления	3.1. Горный удар в виде хрупкого разрушения высокопрочных пород или полезного ископаемого	Разрушения горных выработок и расположенных в них машин и механизмов, травмирование людей на рудниках апатит-нефелиновых Хибинских месторождений	Отставание противоударных мероприятий от темпов развития геодинамических процессов на рудниках	Активизировать и усовершенствовать работу на сейсмостанциях
	3.2. Спонтанное обрушение зависшей кровли выработанного пространства при камерно-столбовой системе разработки	Разрушение Никитского гипсового рудника, гибель людей	Недопустимое деформирование междукammerных целиков	Необходимо было своевременно укрепить междукammerные целики, как это было сделано в аналогичных условиях на руднике «Артемсоли»
4. Совмещенные геодинамические явления	Горный удар и взрывы пылегазовой смеси	Катастрофические разрушения горных выработок, машин и механизмов, нарушение вентиляции шахт, гибель большого количества людей и прекращение эксплуатации шахт «Ульяновская», «Распадская» в Кузбассе и шахты имени А.А.Скочинского в Донбассе	Превышение допустимых пределов деформирования массива горных пород и содержание пылегазовой смеси в атмосфере шахты	Необходим постоянный контроль за развитием геомеханических и газодинамических процессов в массиве горных пород и оперативное управление этими процессами

Литература

1. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / Под. ред. акад. К.Н.Трубецкого. – М.: Изд-во Академии горных наук. – 1997. 478 с.1.
2. Гражданкин А.И., Печеркин А.С., Иофис М.А. Угольные катастрофы в исторической России и мире / Безопасность труда в промышленности. – 2011.– № 11. С. 56-64.
3. Васильчук М.П., Иофис М.А. Анализ геомеханических процессов и причин аварий на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей / Маркшейдерский вестник. – 2007.– № 1. С. 30-32

РАЗРАБОТКА БЕЗОПАСНЫХ И ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ОТРАБОТКИ НАКЛОННЫХ МАЛОМОЩНЫХ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ И ЗОЛОТОНОСНЫХ ЖИЛ

Волков А.П., Шамганова Л.С., Байтов Ж.К.

Институт горного дела им. Д.А. Кунаева, Казахстан

Для отработки бедных руд в мало мощных наклонных рудных залежах и золотоносных жилах предлагается способ разработки с использованием скреперного оборудования, селеставки отбитой руды и гидромониторной зачистки почвы залежи между стобчатými целиками, позволяющий повысить интенсивность очистных работ в 2-3 раза, за счет многозабойной схемы подготовки и высокой производительности селеставки отбитой руды.

Для отработки богатых мало мощных наклонных рудных залежей и золотоносных жил предлагается способ с расположением камер по восстанию, сплошной выемкой руды, закладкой и оформлением буровых восстающих выработок между рудным и закладочным массивами, позволяющей за счет сооружения временных емкостей для воды в самих буровых восстающих выработках сконцентрировать поток воды вблизи с навалом и увеличить мощность водного потока натекающего на навал в течении очень короткого времени.

Сущность технологии отработки наклонных залежей с использованием искусственных водо-каменных потоков для доставки руды заключается в том, что выемочные камеры располагают по восстанию рудной залежи, а вдоль их осей проходят наклонные буровые выработки, из которых осуществляют отбойку руды зарядами взрывчатых веществ (ВВ) в веерных комплектах скважин, пробуренных из этих выработок [1,2]. На навал отбитой руды по наклонной буровой выработке подают мощный поток воды, который выпускают в течении короткого времени из аккумулирующей емкости, расположенной в верхней части камеры. В результате взаимодействия потока воды и навала отбитой руды обра-

зается шахтный селевой водо-каменный поток, который под действием гравитационных сил перемещается вниз по наклонной почве камеры (руслу потока) на откаточный горизонт в рудоприемную выработку. Затем после оттока воды через дренажные перемычки в водосборник рудная масса грузится в автосамосвалы и доставляется до рудоспуска. Опытно-промышленные испытания показали высокую производительность селедоставки отбитой руды в пределах блока (панели). Тем не менее данная технология не нашла широкого применения из-за большой трудоемкости при проходке наклонных выработок большой протяженности в каждой камере.

Данная технология усовершенствована с прохождением в середине блока наклонной аккумулялирующей выработки с оптимальной шириной и высотой (глубиной потока), по которой вся отбитая руда, доставляемая от забоев при помощи скреперного оборудования, далее самотеком перемещается на откаточный горизонт за счет энергии потока воды и силы тяжести.

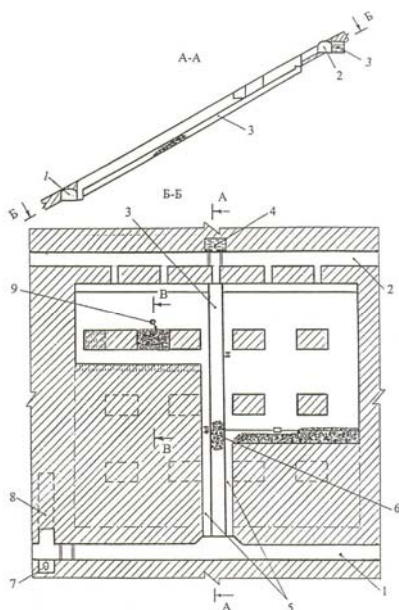


Рис. 1. Способ разработки наклонных золотоносных жил с использованием комбинированной доставки и нисходящей послышной выемкой руды

Для отработки наклонных ($\alpha = 15-45^\circ$) золотоносных жил разработан способ с расположением камер по простиранию и оформлением столбчатых целиков, включающий скреперную доставку отбитой руды в камерах, гидродоставку руды по специальной доставочной восходящей выработке и гидромониторную зачистку оставшейся руды на почве камер (рисунок 1).

Отрабатываемый блок (панель) разбивают на два крыла и разделяют их на выемочные камеры по простиранию жилы, а между камерами оставляют столбчатые целики прямоугольной формы.

Очистные работы ведут одновременно в обоих крыльях блока с некоторым опережением отработки одного крыла относительно другого.

Отбойку руды осуществляют нисходящими слоями тол-

щиной 1,5-2,0 м. После отбойки слоя руды в камере осуществляют ее скреперование на доставочную восстающую выработку 3. Затем по мере накопления на почве доставочной восстающей выработки 3 навала отбитой руды заданного объема, производят наполнение аккумулярующей емкости 4 водой и ее выпуск в эту доставочную выработку. В результате взаимодействия потока воды с навалом, образуется шахтный селевой водо-каменный поток, который под действием гравитационных сил и энергии потока воды по наклонной почве доставочной восстающей выработки 3, перемещается вниз в транспортный штрек 1, где после оттока «отработанной» воды в водосборник 8 отбитую руду с помощью самоходного погрузочно-доставочного оборудования транспортируют до капитального рудоспуска или ствола.

После выемки запасов в вышележащей камере и частично в нижележащей осуществляют прорезку ленточного целика до размеров столбчатых целиков. При этом оставшуюся отбитую руду между столбчатыми целиками смывают струями воды из гидромониторов 9, установленных в вышележащей камере. Затем смытую руду скреперуют в доставочную восстающую выработку 3 и с помощью шахтного селевого потока доставляют в транспортный штрек 1. Таким образом, чередуя выемку камерных запасов при помощи скреперного оборудования и селедоставки руды с гидромониторной зачисткой почвы залежи между целиками, производят отработку всех запасов руды.

Применение данного способа позволит повысить интенсивность очистных работ в 2 раза, за счет использования многозабойной схемы подготовки и высокой производительности селедоставки руды.

Для отработки маломощных наклонных рудных залежей и золотоносных жил, представленных ценной рудой, разработан способ со сплошной выемкой руды, закладкой и гидродоставкой горной массы (рисунок 2). Сущность этого варианта системы разработки заключается в следующем.

Отрабатываемую маломощную наклонную рудную залежь или золотоносную жилу, разбивают на блоки, каждый из которых состоит из двухсмежных панелей, отрабатываемых одновременно. Панели в свою очередь разделяют на камеры по восстанию залежи (жилы). В нижней части блока проходят этажные транспортные выработки 1,2. В пределах двух смежных панелей эти выработки проходят с уклоном навстречу друг к другу до границы панелей.

Чередую отработку камерных запасов в смежных панелях и закладкой их выработанного пространства, производят отработки всех запасов блока.

Сооружение дополнительно временной аккумулярующей ёмкости путём установки двери-затвора створчатого типа в самой буровой восстающей выработке на пути выпущенного из капитальной аккумуля-

рующей ёмкости потока воды, движущегося по заперемьченному участку этажной вентиляционной выработки и буровому восстающему, позволит сконцентрировать поток воды вблизи навала на наклонной поверхности буровой восстающей выработки, служащей водоводом, и за счёт этого, при выпуске задержанной воды из дополнительной аккумулялирующей ёмкости, значительно увеличить мощность водного потока натекающего на навал в течении очень короткого времени для эффективного образования и движения шахтного селевого водо-каменного потока, обладающего высокой транспортирующей способностью.

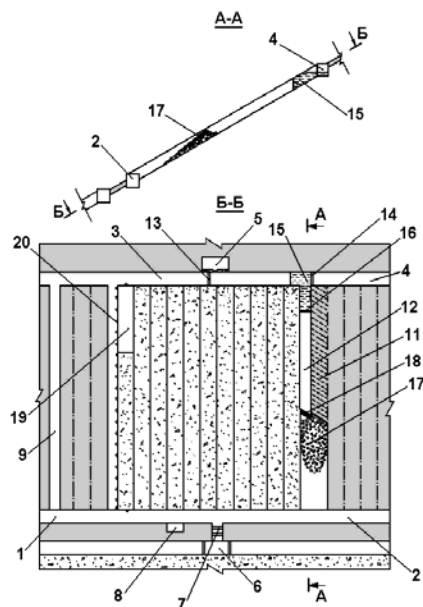


Рис. 2. Способ разработки маломощных наклонных рудных залежей и золотоносных жил с расположением камер по восстанию, сплошной выемкой руды, закладкой, формированием временной дополнительной емкости и селедоставкой горной массы
1,2 – этапные транспортные выработки, 3,4 – этапные вентиляционные выработки, 5 – капитальная емкость для воды, 6 – водосборник, 7 – дренажные перемычки, 8 – насосная камера, 9 – ходовая восстающая выработка, 10 – выемочная камера, 11 – скважины (шпурь), 12 – буровая восстающая выработка, 13,14 – разборные перемычки, 15 – временная емкость для воды, 16 – дверь-затвор, 17 – навал отбитой руды, 18 – водонаправляющий щит, 19 – отработанная камера, 20 – опалубка

Для приближенных инженерных расчетов по определению удельных расходов воды в зависимости от угла наклона выработки (русла селевого потока [3], а также длины селедоставки горной массы [4], можно воспользоваться полуэмпирической формулой:

$$\frac{m_v}{m_{rv}} = \frac{\mu \cos \alpha - \sin \alpha}{\sin \alpha + \frac{\mu \cos \alpha - \sin \alpha}{K_p - 1}} \cdot K_\alpha \cdot K_L$$

где, m_v – масса воды, подаваемой на навал руды, m_{rv} – масса руды в навале; α – угол наклона русла (камеры); $\mu = 0,82 \div 0,84$ – динамический коэффициент трения гранитов, диоритов, песчаников и др. крепких пород; K_p – коэффициент разрыхления руды (породы).

$K_\alpha = 0.0187\alpha + 0.83$ - коэффициент резерва расхода воды в зависимости от угла наклона выработки,

$K_L = 0.00178L + 0.998$ - коэффициент резерва расхода воды в зависимости от длины селедоставки горной массы.

Например, при наклоне камеры (русла) $\alpha = 30^\circ$, длине селедоставки $L = 120$ м удельный расход воды составит

$$\frac{m_v}{m_{rv}} = \frac{0.83 \cdot 0.866 - 0.5}{0.866 + \frac{0.83 \cdot 0.866 - 0.5}{1.5 - 1}} \cdot (0.0187 \cdot 30 + 0.83) \cdot (0.00178 \cdot 120 + 0.998) = \frac{0.219}{1.304} \cdot 1.391 \cdot 1.212 = 0.283 \text{ м}^3/\text{т}$$

Литература

1. А.С. 573594 СССР, МКИ E21 C 41/06. Способ разработки рудных тел пологого и наклонного залегания /Грибанов В.Ф., Еловиков И.В., Мауленкулов С.М.
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. Волков А.П. Обоснование параметров технологии с взрывоселедоставкой руды при разработке наклонных рудных залежей. Дисс. на соискание степени канд. техн. наук, Алматы, 1993.-133с.
4. Буктуков Н.С., Волков А.П., Байтов Ж.К. Исследование шахтных селевых водо-каменных потоков//Труды Филиала РГП «НЦ КПМС РК – Института горного дела им. Д.А. Кунаева», Том 88.-Алматы.-2016.-с.79-87.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОНВЕРСИОННЫХ ВВ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Франтов А.Е.

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

Основой конверсионных взрывчатых веществ, как объекта применения в геотехнологии, являются компоненты разрывных и метательных зарядов боеприпасов. Применяемые в разрывных зарядах взрывча-

тые соединения отличает разнообразие состава – сложные эфиры азотной кислоты (НГЦ, тэн, нитраты целлюлозы), нитросоединения ароматического ряда – (тротил, тетрил), неароматические нитросоединения – (гексоген, октоген). К метателным ВВ относятся нитроцеллюлозные пороха, в зависимости от природы растворителя, разделяемые на группы – пироксилиновые, баллиститы, кордиты и др. Баллиститные и смешанные твердые ракетные топлива относят к взрывчатым системам.

Свойства компонентов разрывных и метателных зарядов боеприпасов. Особенности взрывных работ в геотехнологии

Взрывчатые характеристики, чувствительность к механическим воздействиям зависят от природы порохов и бризантных ВВ, физической структуры и физического состояния. Пороха различаются по геометрическим параметрам. Исследование компонентного состава гексогеносодержащих бризантных ВВ боеприпасов показало наличие металлических горючих добавок (алюминия до 27%). Оценка физико-химических свойств бризантных ВВ свидетельствует о существенных различиях в стойкости к кислотам и щелочам.

Для разработки концепции эффективного и безопасного применения конверсионных ВВ выполнена систематизация особенностей взрывных работ, основанная на признаках, характеризующих вид геотехнологии (физико-техническая, физико-химическая и комбинации), способ разработки месторождений (открытый, подземный, открыто-подземный), метод добычи (шахтное выщелачивание, скважинное выщелачивание, скважинная гидродобыча) с выделением методов работ, параметров взрывания, характеристик ВВ и других существенных факторов.

В рамках данной концепции для совершенствования методов и параметров управления свойствами компонентов разрывных и метателных зарядов боеприпасов впервые введено технологическое содержание понятия «кондиционирование свойств», под которым понимается совокупность процессов механического, физического воздействия на компоненты разрывных и метателных зарядов боеприпасов при утилизации с целью придания им комплекса взрывчатых, механических и технологических свойств, обеспечивающих эффективное и безопасное применение в производственных процессах геотехнологии.

Методы и параметры кондиционирования конверсионных ВВ

Параметрами, характеризующими отличия конверсионных от промышленных ВВ, является критический диаметр, скорость детонации, чувствительность к механическим, тепловым и электрическим воздействиям, ударно-волновая чувствительность порохов и топлив, плотность и водостойкость, форма и геометрические размеры зарядов. Преобразование консистенции и физической структуры компонентов боеприпасов

осуществляется дроблением, измельчением, переработкой в крошку, созданием оптимальных соотношений размеров гранул, плавлением и грануляцией, приготовлением сухих, водосодержащих смесей БВВ; эмульсий, гелей, льющихся и пластичных смесей порохов и ВВ, смесей с высокоэнергетическими добавками баллиститных и смесевых ракетных топлив.

Безопасность в обращении, при перевозке и применении обеспечиваются за счет флегматизации: водой, нефтепродуктами, растворами или загущенными растворами окислителей. Характеризующая надежность взрывания ударно-волновая чувствительность ВВ, определяется химическим составом, физической структурой. Чувствительность к ударной волне повышается добавками более чувствительных ВВ, введением в состав добавок, играющих роль горячих точек, изменением физической структуры.

Условия возбуждения детонации (пересжатый, недосжатый режим, участок неустановившегося процесса) и распространения детонации (нормальная детонация, низкоскоростная детонация, затухающий режим) характеризуют показатели состояния детонации, определяемые совокупностью свойств и характеристик конверсионных ВВ.

Различие в ударно-волновой чувствительности промышленных и конверсионных ВВ определило необходимость исследования вопросов возбуждения детонации. Для разработки цепей инициирования в условиях натуральных исследований восприимчивости к детонации конверсионных ВВ определен предельный инициирующий заряд БВВ, восприимчивость к ЭД и ДШ. С учетом полученных результатов разработаны конструкции усиленных промежуточных детонаторов с баллиститными шашками.

Методы взрывания в технологиях с использованием конверсионных ВВ в процессах открытых горных работ.

Регулирование запаса энергии по длине заряда, достаточного для преодоления сопротивления массива горных пород действию взрыва, достигается изменением объемной концентрации энергии A_0 . Изменение запаса энергии заряда с увеличением линии сопротивления (в нашем случае с увеличением высоты уступа) с возрастанием крепости горных пород носит более сильный характер, определяемый большим относительным приростом запаса энергии на единицу увеличения ЛНС. Для пород с удельной энергоемкостью взрывного разрушения $A_p=4,6-7,95$ МДж/м³ в интервале изменения ЛНС от 5 до 11 м при использовании скважинных зарядов 250 и 311 мм показало, что ЛНС конверсионного гелевого ВВ (гельпора) существенно превышает ЛНС промышленного эмульсионного ВВ (гранэмита И-30). Для забоев, сложенных однород-

ными, разнотипными породами, или с включениями, получены зависимости для определения параметров комбинированных зарядов.

Для разработки параметров взрывания с преодолением увеличенных сопротивлений по подошве уступа проведены исследования действия зарядов с осевой полостью и кумулятивных зарядов кольцевой формы – ККЗ. Как показали исследования, сокращение перебура на 50% для пород крепостью $f=3-14$ обеспечивает использование баллиститных шашек с осевой полостью массой 9–28 кг и 17–51 кг в скважинных зарядах диаметром 200 мм и 250 мм соответственно. При взрыве зарядов ККЗ образуется перпендикулярная оси скважины полость и происходит нарушение массива трещинами. Исследование влияния формы кумулятивной выемки зарядов ККЗ на величину активной части заряда показали, что при равных габаритах зарядов его объем и масса и объем и масса активной части существенно зависят от формы кумулятивной выемки.

Увеличение масштабности взрывной отбойки способствует усилению законтурного действия взрыва. При контурном взрывании определяющими факторами являются давление продуктов взрыва, давление на стенки скважины, объемная плотность заряжения. Условиям рационального применения контурного взрывания соответствует объемная плотность заряжения конверсионных ВВ $D_{квм}$ равная оптимальной объемной плотности заряжения D . Регулирование объемной плотности заряжения конверсионных ВВ $D_{квм}$ осуществляется за счет изменения диаметра заряда и осевой полости.

При взрывании кумулятивных зарядов плоской симметрии линейной формы происходит перераспределение энергии взрыва, идущей на дробление и отбрасывание, что является важным фактором снижения разброса кусков при разрушении негабарита. С учетом анализа опыта применения конверсионных ВВ разработаны технологические схемы и технологические параметры вторичного дробления негабарита на карьерах с использованием разных видов зарядов.

Взрывные технологии с использованием конверсионных ВВ в процессах подземных горных работ

В зарядах с диаметром больше предельного приход волны разгрузки от боковых поверхностей и связанное с ней расширение продуктов взрыва происходит после завершения химических реакций исходных веществ – заряд детонирует с идеальной скоростью, что соответствует условиям взрывания в зарядах ВКЗ ($d_{зар}=0,7-0,9м$) при использовании простейших ВВ. При подземной добыче руд исследовано применение конверсионных ВВ в системах разработки с массовым обрушением зарядами ВКЗ. Использование конверсионных ВВ (баллиститный порох, тротил, гексоген) при линейном инициировании позволяет изменять

угол падения фронта детонации \bar{b} на границу раздела «заряд ВВ-среда» в диапазоне 0,488-0,924 радиан, соответствующим изменению параметров волны сжатия в диапазоне 8,11 – 10 ГПа.

Анализ и систематизация опубликованных данных позволили установить, что заряды направленного действия при небольших размерах полости обнажения (b) имеют существенно большую линию наименьшего сопротивления W , чем цилиндрические заряды. Получены зависимости ЛНС от величины обнаженной поверхности для кумулятивных и цилиндрических зарядов, аппроксимируемые полиномами третьей степени. Для зарядов конверсионных ВВ полученные выражения умножаются на сомножитель, выражаемый кубическим корнем из отношения произведений плотности ВВ на квадрат диаметра заряда для конверсионных и штатных ВВ.

Разработанные технологические схемы и параметры вторичного дробления негабарита при подземной добыче включают использование различных видов зарядов (в специальной выработке, в выпускных выработках при скреперной и конвейерной доставке у расклинившихся кусков или с развала горных пород, при ликвидации завесаний в рудоспуске или затора при вибровыпуске).

Методологические основы, способы и параметры взрывных работ в комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии с использованием конверсионных взрывчатых веществ

В зависимости от характера рудной минерализации при подземном выщелачивании используют различные методы – инфильтрационное, диффузионное, кислотное, щелочное и др. Для кислого выщелачивания используют растворы: кислот (соляной, серной, азотной, уголекислоты) и реагентов (сернокислых солей, тиокарбамидов, тиомочевины). Для щелочного выщелачивания – растворы щелочей, цианидов и карбонатов щелочных металлов. Как показывают результаты исследований акад. Н.П. Лаверова, при выщелачивании металлов (цинка, кадмия, меди, свинца, ванадия, бериллия, индия, хрома, галлия, тория), благоприятные щелочно-кислотные условия реализуются при рН среды от 2 до 7,5.

В частично выщелоченной горной массе имеется наличие остаточного количества реагентов, которые влияют на технологические свойства ВВ. В щелочно-кислотных условиях среды при рН от 2 до 10 при проведении повторного дробления использование конверсионных ВВ обеспечивает сохранение взрывчатых свойств – пентолит до 10 суток, тетрил и смеси ТГ90/10, ТГ80/20 – до 4 суток.

Для снижения негативного влияния осложняющих процесс выщелачивания факторов, связанных с состоянием горного массива, гидрогеологическими особенностями месторождения, такими как миграция

продуктивных растворов через тектонические нарушения, зоны разломов и дробления, приток подземных вод внутрь рудного массива используют взрывные методы. Разработаны технологические схемы взрывания при образовании горизонтальных распределительных щелей, создаваемых кумулятивными зарядами плоской симметрии линейной формы. При создании противодиффузионных завес, формирование вертикальной части экрана производится кумулятивными зарядами линейной формы, а горизонтальной части щелевого экрана – зарядами ККЗ. Предложен метод, включающий внутрислоистовый разрыв взрыванием зарядов ККЗ, после взрыва которых в зоне действия заряда образуется взрывная полость и трещины разрыва.

Выводы

Возможность кондиционирования свойств конверсионных взрывчатых веществ, использование разработанных методов управления энергией, действием и работой взрыва обеспечивают при взрывном разрушении горных пород в физико-технической и физико-химической геотехнологии повышение эффективности взрывных работ и безопасности их производства.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СДВИЖЕНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ ОРЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Алтаева А.А., Садықов Б.Б.

*Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева»,
г. Алматы Республика Казахстан*

Месторождение Орловское – это полиметаллическое вулканическое массивное сульфидное месторождение с высоким содержанием полезных компонентов, находящееся в районе Рудного Алтая на севере Восточного Казахстана. Оно залегает в вулканической дуге карбона и девона. Это колчеданное, стратифицированное месторождение меди и цинка, где золото имеет подчиненное значение.

Месторождение сложено метаморфизованными образованиями верхнего ордовика и вулканогенно-осадочными отложениями среднего и верхнего девона. Преобладающее развитие имеют породы среднего девона, которые подразделяются на лосишинскую и таловскую свиты [1].

Лосишинская свита сложена алевролитами и алевропилитами с прослоями туфогенных алевролитов, туфов, туффитов, альбит-

порфиров и лавобрекчий кислого состава. Мощность свиты меняется от 200-250 до 800 м.

Таловская свита представлена преимущественно эффузивами кислого состава: кварцевыми порфирами, лавобрекчиями кварцевых альбит-порфиров, реже туфами кислого состава. Мощность свиты – 500 м.

Структура месторождения представляет собой тектонический блок горст-антиклинарного типа. Восточной границей месторождения служит крутопадающий субмеридиональный Восточный разлом, с севера месторождение обрамлено массивом гранодиоритов, юго-западной границей является Березовский надвиг [2].

Рудные тела представлены сложными межпластовыми залежами, залегающими на глубине от 70 до 1200 м от поверхности. Всего в пределах месторождения достоверно известно шесть рудных тел: Первое, Второе, Третье рудные тела (залежь «Основная»), Южное и Северное рудные тела (залежь «Новая»), залежь «Громовская», а также свыше двух десятков мелких рудных линз, встречающихся за пределами основной рудной зоны в породах таловской и лосишинской свит. Кроме того, на месторождении известна минерализованная зона, приуроченная к средней части разреза лосишинской свиты (рисунок 1).

Проявления горного давления фиксировались в виде интенсивного заколообразования, шелушения и стреляния руд. По мере увеличения глубины разработки количество случаев проявления горного давления возрастает, что приводит к увеличению объемов тяжелого крепления, а при его деформации и перекреплению горных выработок.

Подземная разработка Орловского рудника ведется применением системы с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. В настоящее время добыча руды ведется на глубине до 770 м и планируется до глубин более 1000 м.

Более прочные породы обладают большей несущей способностью. Поэтому физико-механические свойства и структурные особенности руд и вмещающих пород являются существенными факторами при выборе систем разработки и их параметров (размеры камер и целиков).

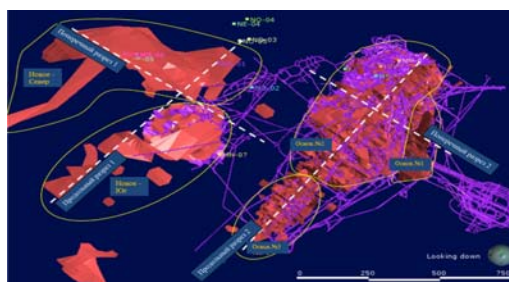


Рис. 1. Рудные тела Орловского месторождения

В результате анализа физико-механических свойств руд и вмещающих пород было установлено что на 7-11 горизонтах преобладают три категории устойчивости руд и пород: устойчивые, средней устойчивости, неустойчивые. В незначительном объеме встречаются весьма устойчивые и весьма неустойчивые породы и руды (таблица 1).

Таблица 1 – Устойчивость руд и пород Орловского месторождения

Категория	Наименование руд и пород	Характерные квалификационные признаки	Коэффициент крепости, f
Устойчивые	Сплошные барит-полиметаллические руды, кварцевые альбитпорфиры, плагиогранитпорфиры	Монолитные, оруденелые, окварцованные породы, отсутствие открытых трещин, расстояние между трещинами не менее 200 мм	13-18
Среднеустойчивые	Сплошные медно-цинковые руды, сплошные медно-колчеданные руды, алевролиты, кремнистые измененные туфы	Массивные, сланцеватые руды и породы с несколькими системами трещин, расстояние между трещинами 100 мм.	10-17
Слабоустойчивые	Вкрапленные руды в алевролитах, туфопесчаники, алевропесчаники, алевролиты кремнисто-глинистые	Нарушенные руды и породы, имеющие до трех систем трещин, расстояние между ними менее 100 мм.	6-17
Неустойчивые	Вкрапленные руды в хлоритолитах, туфогенно-осадочные породы, хлоритовые и серицитовые породы	Тектонически ослабленные породы, имеющие не менее 3-х систем трещин с расстоянием менее 25 мм	3-5

В общих положениях «Правил» и «Указаний» и в научно-технической литературе рассматривается различное число факторов, оказывающих влияние на характер и параметры процесса сдвижения и образования мульды. Большинство из них изучены очень слабо, и количественно определить их влияние на параметры сдвижения не представляется возможным. Тем более трудно установить влияние комплекса факторов.

Многообразие факторов, влияющих на процесс сдвижения массива пород и образования провалов, с точки зрения управляемости, в целом можно сгруппировать следующим образом (рисунок 2) [3,4,5].



Рис. 2. Факторы, влияющие на сдвижение земной поверхности и горных пород при подземной разработке месторождений

В особую группу факторов можно выделить управление горным давлением, поскольку эти факторы выбираются на основе горно-геологических условий.

Как показала практика отработки месторождения, на процесс сдвижения массива пород и земной поверхности влияет большое число факторов [6,7]. Рассмотрим некоторые характерные примеры сдвижения массива и образования провалов на земной поверхности (рисунок 3).

Наблюдения за сдвижением земной поверхности на Орловском производственном комплексе начаты в 1991 году после образования провала земной поверхности на пересечении восьмой линии штреков (8ЛШ) и нулевой линии ортов (ОЛО).

После засыпки породой, по ОЛО была заложена профильная линия, состоящая из 15 грунтовых реперов с №1 по №15. Следует сразу отметить, что все эти реперы были заложены без анализа возможного развития границ вредного влияния подземных разработок и как было установлено в дальнейшем, все они оказались в зоне сдвижения земной поверхности.

Многочисленными наблюдениями на этом месторождении установлены, что провалы поверхности образуются в тех случаях, когда породы кровли нарушены тектоническими трещинами, доходящими до земной поверхности, и отработанные камеры находятся на небольшой глубине: 60-70м.

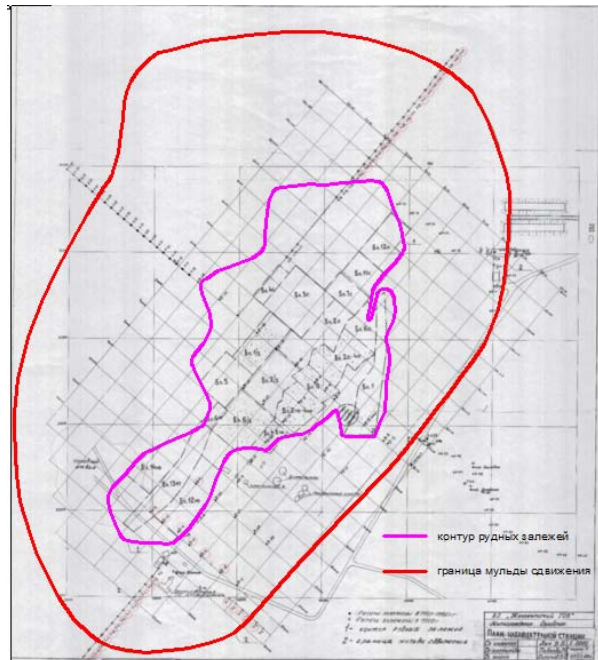


Рис. 3. Мульда сдвижения на Орловском руднике

Выводы: Таким образом, основными причинами сдвижения массива и образования провалов на поверхности, являются значительные размеры камер и подработка слабых пород. Обрушению и сдвижению пород и образованию провалов в значительной степени также может способствовать и высокая тектоническая нарушенность массива на данном участке до земной поверхности. Поэтому, для предупреждения сдвижения подработанного массива и образования провалов на земной поверхности необходимо заблаговременно определить степень опасности подземных пустот в зависимости от основных горно-геологических факторов и их своевременно погашать, и при необходимости полной или частичной закладкой.

Литература

1. «Отчёт с подсчётом запасов колчеданно-полиметаллического месторождения Орловское по состоянию на 01.01.2011 года (Восточно-Казахстанская область)» г. Усть-Каменогорск, 2011г.
2. Интернет ссылка для скачивания: https://www.kazedu.kz/get_ref/169921.

3. Абдибаитов Ш.А., Исаев Б.А. Основные факторы, влияющие на сдвигение массива и земной поверхности при подземной разработке Хайдарканского месторождения / Известия КГТУ им. И.Раззакова. – Бишкек, 2015. № 36. с.334-337.
4. Галаев Н.З. Управление состоянием массива горных пород при подземной разработке рудных месторождений. -М.:Недра, 1990. с.176.
5. Ялымов Н.Г., Абдибаитов Ш.А., Ташмаматов А. С. Образование провалов поверхности под влиянием подземных разработок. Известия Кыргызского государственного технического университета им. И Раззакова. – Бишкек, 2006. N210. с.22-26.
6. Абдибаитов Ш.А.Обрушение массива пород и земной поверхности при подземной разработке сложноструктурных рудных тел. Известия Кыргызского национального технического университета им. И. Раззакова. - Бишкек, 2008, N214.с.219-223.
7. Абдибаитов Ш.А.Устойчивость подземных обнажений на рудниках Хайдаркапекского месторождения. Доклады межд. конф. Геомеханика в горном деле. -Екатеринбург,2014. с.485-491.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ И ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИХ РАЗРУШЕНИЯ

Кочанов А.Н.

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

Разрушение материалов является важной научной проблемой, решению которой посвящены многочисленные исследования, имеющие как прикладную, так и фундаментальную направленность и связанную с установлением закономерностей развития трещин на разных масштабных уровнях. Закономерности протекания процесса разрушения во многом определяются структурой, которая характеризуется формой и размером зерен, пористостью, наличием микродефектов, и наряду с химическим составом определяет физические свойства материалов, в том числе и прочностные. Применительно к горным породам надежная аттестация их структурных и физических характеристик является необходимым инструментом для максимально безопасного и эффективного освоения недр, например при строительстве подземных сооружений или ведении горных работ, в том числе с целью предупреждения катастрофического разрушения в виде горных ударов и других опасных динамических явлений.

Для изучения элементов структуры, а также оценки физических характеристик горных пород были использованы несколько различных современных методов физического эксперимента: электронная микроскопия, рентгеновская микротомография, нано- и микроиндендентирования. Следует отметить, что применения данных методов и соответствующих методик применительно к исследованию структурных и физических свойств горных пород отличается новизной, как и полученные результаты, основные из которых представлены в работах [1-5].

Важным моментом при изучении структуры горных пород является оценка параметров микротрещин как ее элемента. Изучению условий формирования и параметрам микротрещин в горных породах уделялось достаточно много внимания, и наиболее полные сведения о микротрещинах можно подчеркнуть из обзора работ [6-7]. Для изучения образования микротрещин в горных породах выполнены экспериментальные исследования, в ходе проведения которых осуществлялось динамическое воздействие на образцы, помещенные в специальные ампулы сохранения. В результате действия импульсных нагрузок достигалось разрушение горных пород с образованием системы микротрещин, изучение которых осуществлялось после извлечения образцов из ампул сохранения. Анализ полученных изображений позволил оценить минимальную и максимальную величину раскрытия микротрещин в диапазоне от 0,1 до 10,0 мкм, но для большинства горных пород в рамках данных экспериментов величина раскрытия составляет примерно 1,0 мкм при диапазоне изменения от 0,2 до 3,0 мкм. Величина раскрытия микротрещин является важной характеристикой, определяющей условия их развития.

Исследование внутренней структуры образцов гранита методом рентгеновской микротомографии проводилось на томографе SkyScan 1272 [3]. Рентгеновская микротомография позволяет сканировать образец по всему объему в разных направлениях с шагом ~ 1 мкм, что позволяет визуализировать внутреннюю трехмерную структуру образцов [8–9]. В результате сканирования было установлено наличие микропор диаметром от 1,0 до 5,0 мкм и микротрещин с шириной от 3 до 10 мкм. Получены в графическом виде распределения микродефектов в локальных объемах образца в 3D формате. Некоторые микротрещины связаны между собой и образуют разветвленную сеть. Поры имеют неравномерное распределение в объеме образца гранита. Общая пористость исследованного образца равна $\sim 1,8$ %.

Для оценки упругих и прочностных свойств горных пород и минералов (модуля Юнга, твердости, вязкости разрушения) проведены экспериментальные исследования с применением методов нано- и микроиндендентирования. Исследования проводились совместно с Тамбовским государственным университетом, и основные их полученные результаты опубли-

кованы в работах [4–5]. В настоящее время в связи с разработкой нового класса оборудования метод внедрения штампа в поверхность материалов превратился в мощный инструмент, позволяющий изучать закономерности их деформационного поведения на разных масштабных уровнях, в том числе и на микро- наноуровнях, варьируя нагрузку, глубину и время нагружения. Совокупность методов, использующих силовое воздействие на материал и одновременную регистрацию деформационных откликов с нанометровым разрешением обычно понимается как микро- наноиндентирование [10]. Всю необходимую информацию при таких испытаниях получают из данных о величинах смещения и действующей силе. Определены значения величин модуля Юнга, твердости и вязкости разрушения горных пород и отдельных минералов. Показано, что для кварца характерны высокие значения твердости при его сравнительно низкой вязкости разрушения в пределах отдельных зерен и межзеренных границ с магнетитом и гематитом, а также значительная вариация значений модуля Юнга и твердости для образцов некоторых горных пород. Выявлены основные количественные закономерности изменения модуля Юнга и твердости минеральных компонентов железистого кварцита от глубины внедрения индентора и, соответственно, на разном масштабном уровне. Исследования показали перспективность использования метода микро- и наноиндентирования для оценки прочностных и деформационных характеристик горных пород, степени их неоднородности. Представляется возможной замена стандартных разрушающих испытаний образцов большого размера на сжатие многократными неразрушающими испытаниями методом микро- и наноиндентирования. Дальнейшего обсуждения требуют вопросы абсолютных значений величин, определяемых методами микро- и наноиндентирования, в связи с наличием размерных эффектов физико-механических свойств горных пород.

Результаты настоящей работы могут быть использованы для развития представлений о процессах деформирования и разрушения горных пород и послужить основой для дальнейших исследований их структурных и физических характеристик на разных масштабных уровнях.

Литература

1. Викторов С.Д., Кочанов А.Н. Развитие микротрещин при динамическом разрушении горных пород // Изв. РАН. Серия физическая. 2015. т.79, №6. С. 829-831.
2. Кочанов А.Н. Микротрещины в твердом теле на примере горных пород Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 7.
3. Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Пачежерцев А.А. Исследование структурных характеристик на поверхности и в объеме образцов гранита // Труды XX Международного междисциплинарного симпозиума «Упорядочение в

минералах и сплавах» Ростов-на-Дону, Фонд науки и образования. 2017. Вып.20.т.1. С.116-118.

4. 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/Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых 2014. №4. С. 46-54.

5. Головин Ю.И., Тюрин А.И., Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Самодуров А.А., Пирожкова Т.С. Физико-механические свойства и микромеханизмы локального деформирования тонких приповерхностных слоев сложных многофазных материалов /Известия РАН. Серия физическая. 2017. Т.81.№3 С. 390-394

6. Madden, T.R. Microcrack Connectivity in Rocks/ Journal of Geophysical Research 1983Т.88С.585-592.

7. Kranz R.L. Microcracks in Rocks: A Review Tectonophysics.1983.№100.p100

8. Вайсберг Л.А., Каменева Е.Е. Возможности компьютерной рентгеновской микротомографии при исследовании физико-механических свойств горных пород/ Горный журнал. 2014. №9. 85-89.

9. Каменева Е.Е. Методический подход к исследованию физико-механических свойств горных пород / Вестник технологического университета.2015.Т.18.№18. С.29-32.

10. Головин, Ю.И. Наноиндентирование и его возможности/ Ю.И. Головин — М.: Машиностроение, 2009. —321с.

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ УТИЛИЗАЦИИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОСТЕЙШИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

**Захаров В.Н., Варганов А.З., Викторов С.Д.,
Ефремовцев Н.Н., Закалинский В.М.**

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

Разработка составов взрывчатых смесей, обеспечивающих снижение экологических последствий горного производства, является важной народнохозяйственной задачей / 1,2 / На горных предприятиях образуются значительные объемы резинотехнических изделий требующих утилизации. Одним из направлений утилизации резинотехнических изделий является их пиролиз с получением технического углерода и пиролизного масла в качестве компонентов новых составов промышленных взрывчатых веществ. Технический углерод используется для изготовления новых резинотехнических изделий: в производстве шин, конвейерных и транспортерных лент, шлангов, кабелей, герметиков, пигмен-

та и т. д. Он является аморфным углеродным продуктом. Основная масса технического углерода представляет собой крошку черного цвета размером 0,02-1см. Основные характеристики технического углерода представлены в таблице 1.

Таблица 1.

№ п.п.	Наименование показателей	Значение показателей
1.	Абсорбция ДБФ, см ³ 100 г.	79
2.	рН водной суспензии	6,9
3.	Массовая доля потерь при 105 С, %	1,1
4.	Зольность при 900 С	8
5.	Массовая доля остатка после просева через сито с сеткой 0,14	0,09
6.	Удельная условная поверхность, м ² г	9
7.	Выход летучих веществ V _{dat}	12,9
8.	Сера общая S _{dt}	2,18
9.	Фосфор Р _d	0,014

Пиролизное масло применяется в качестве печного топлива и является наилучшей альтернативой мазуту, отработанному маслу и другим видам темного топлива. Оно по внешнему виду представляет собой темную с коричневым оттенком маслянистую жидкость с характерным запахом нефти. Температура вспышки не менее 68 С. Следует отметить, что стоимость пиролизного масла в 2,5-3 раза меньше чем дизельного топлива. Основные характеристики пиролизного масла представлены в таблице 2

Таблица 2.

№ п.п.	Наименование показателей	Значение показателей
1.	Плотность, кг/м ³	908,1-911
2.	Теплота сгорания (низшая), кДж/кг	42052
3.	Содержание серы, %	0,63
4.	Кинетическая вязкость при температуре 20 С, мм ² /с	2,42
5.	Температура застывания, С	-45
6.	Температура вспышки в закрытом тигеле, С	250° требует уточнения
7.	Температура вспышки в открытом тигеле	180° требует уточнения
8.	Выкипает при температуре 100 С, %	5,5
9.	Выкипает при температуре 200 С, %	48
10.	Выкипает при температуре 300С, %	75

Пиролизное масло преимущественно состоит из непредельных и ароматических углеводородов, имеет очень низкую вязкость и температуру застывания. Содержание топливных фракций составляет 85%. При этом бензиновой фракции содержится до 47%.

С применением прибора «analysette 22», измерителя размеров (Particle Sizer) фирмы Fritsch, в ИПКОН РАН изучен дисперсный состав технического углерода. Средний арифметический размер образца составил 74,37 микрон. Его средний геометрический размер – 40,058 микрон. Характеристика поверхности – 4326,65 см.

Проводятся исследования поверхности порошка технического углерода с использованием методов электронной сканирующей микроскопии. Получены изображения поверхности с применением аналитического сканирующего электронного микроскопа РЭМ LEO 1420VP. Изучаемый образец порошка технического углерода характеризуется весьма сложной, развитой поверхностью и представляет собой конгломерат частиц различной крупности.

Термогравиметрический анализ и исследования кинетики термического разложения образцов технического углерода и пиролизного масла с применением прибора STA 449 F3 показал, что применение только технического углерода характеризуется незначительными показателями скорости потери массы и выделения тепла. Использование смеси с пиролизным топливом многократно увеличивают показатели кинетики разложения и выделения тепла. Применение измельченной резины вместо технического углерода, как показали результаты исследований, существенно снижают показатели скорости потери массы.

На полигоне ИПХФ РАН (г. Черноголока) проведены испытания составов гранулитов, изготовленных на основе продуктов утилизации резинотехнических изделий (РТИ) горных предприятий: пиролизного масла, технического углерода, а также порошка резинотехнических изделий и топливных смесей, содержащих поризующую эмульсию. Иницирование зарядов осуществлялось с применением шашки из аммонита весом 100г и электродетонатора. Заряды испытываемых взрывчатых смесей массой 417г размещались в стальных бесшовных трубах с внутренним диаметром 39,85 мм и толщиной стенки 5мм. согласно принятой в международной практике методики проведения испытаний взрывчатых веществ. Измерения скорости распространения фронта детонации осуществлялись в стальных трубах контактным способом с применением высокочастотного осциллографа.

На рисунке 1 показана одна из фотографий детонационно-измерительной системы, поясняющая методические особенности проведения полигонных исследований кинетики развития фронта детонации.

С применением сейсмографа (Blastmate seismograph) фирмы « Instantel» проведены замеры сейсмического действия зарядов испытуемых взрывчатых смесей, изготовленных с применением продуктов утилизации резинотехнических изделий .

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1 Добавка технического углерода в количестве 2,5% позволила увеличить скорость детонации на 25% или 420 м/сек. Для увеличения скорости детонации взрывчатых смесей на основе продуктов утилизации резинотехнических изделий необходимо в качестве жидкого горючего использовать топливную смесь пиролизной жидкости, отработанного масла и/или дизельного топлива и технического углерода или угольной пыли.

2. Применение технического углерода позволяет увеличить работоспособность взрывчатой смеси. Применение технического углерода в смеси с пиролизным маслом увеличивает скорость детонации на 25%.

3. Результаты анализа показателей кинетики развития фронта детонации и сейсмического действия взрыва свидетельствуют о возможности разработки линейки взрывчатых веществ для дробления пород средней крепости на основе продуктов утилизации РТИ с более высокими технико-экономическими и промышленной безопасности по сейсмическому действию взрыва показателями, а так же взрывчатых смесей для добычи ценного кристаллосырья.

4. Для уточнения составов взрывчатых смесей на основе продуктов утилизации резинотехнических изделий, обеспечивающих эффективное решение различных задач взрыва намечено проведение серии лабораторных и полигонных испытаний.



Рис 1. Измерение скорости детонации в стальной трубе

Литература

1. Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Викторов С.Д., Жариков И.Ф., Закалинский В.М. Взрывное разрушение горных пород при освоении недр//Сетевое периодическое научное издание «проблемы недропользования».2014.- №3.С.80-95.

2. Н. Н. Ефремовцев, А.Н. Ефремовцев. К вопросу совершенствования способов изготовления и составов простейших промышленных взрывчатых веществ. Сборник докладов первой конференции Евроазиатского союза инженеров-взрывников (ЕАСИВ). Стр. 53–63. ISBN 978-5-904374-50-1.

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ СХЕМ КОММУТАЦИИ И ИНИЦИИРОВАНИЯ ВЗРЫВНЫХ СЕТЕЙ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ НА ОТКРЫТЫХ РАЗРАБОТКАХ

Мингазов Р.Я., Закалинский В.М.

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

При проведении взрывных работ в горнодобывающей промышленности широко используются разнообразные средства инициирования взрывчатых веществ, необходимые для обеспечения передачи начального импульса заряду взрывчатых веществ и его детонации [1]. При изготовлении средств инициирования, как известно, используются две условные группы взрывчатых веществ: первичные и вторичные. В первую входят высокочувствительные вещества, такие как гремучая ртуть, азид свинца, телурес. В менее чувствительную вторую группу – тетрил, гексоген, тэн.

В настоящее время примерно 70% объема взрывных работ в мировой практике выполняется с использованием неэлектрической системы инициирования. В отличие от взрывания с применением детонирующего шнура (ДШ) и пиротехнических реле (РЛ) системы СИНВ с ударно-волновой трубкой (УВТ) исключают выгорание взрывчатого вещества (ВВ) в скважине, что снижает удельный расход ВВ, повышает надежность и безопасность взрывных работ. Однако точность срабатывания детонаторов СИНВ, определяемая временем горения пиротехнических замедлителей до последнего времени остается на уровне 10% от номинального значения. Эта величина в основном определяется технологией приготовления, дозировки и условий прессования пиротехнических остовов.

Инвестиционная компания «Арлан» производит четыре основных изделия неэлектрических систем *Rionel*: *MS*, *LP*, *X*, *DDX*. Отделения компании *Orica Mining Services* в Европе, на Ближнем Востоке и в Африке предлагают своим потребителям в горнодобывающей и строительной отрасли полный диапазон систем инициирования. Номенклатура изделий, представленных на российском рынке, включает в себя неэлектрические детонаторы и электронные системы взрывания. Также предлагается ряд вспомогательного оборудования для ведения взрывных работ.

Неэлектрическая система инициирования «*PRIMADET*»: детонаторы *MS*, *LP*, *EZ Det*, неэлектрической системы инициирования предназначены для ведения взрывных работ на земной поверхности и в подземных рудниках и шахтах, не опасных по газу и пыли. Предлагается 20 разновидностей замедления от 0 до 750 мс.

К неэлектрическим СИИ относятся различные системы: с огнепроводным шнуром (ОШ), с детонирующим шнуром (ДШ), с низкоэнергетическим волноводом, передающим капсулю-детонатору инициирующий импульс в виде детонационной волны, распространяющейся со скоростью ~2000 м/с внутри пластмассовой трубки, покрытой изнутри порошкообразным ВВ. К системам инициирования с низкоэнергетическими проводниками импульсов относятся отечественные системы СИИВ, ЭДЕЛИН, шведская НОНЕЛЬ, немецкая ДИНАШОК, ПРИМАДЕТ, выпускаемой ЗАО «Высокотехнологичные системы инициирования». Система СИИВ в принципе состоит из ударно-волновой трубки — волновода и капсуля-детонатора замедленного действия.

В зависимости от назначения выпускают две разновидности системы. Для взрывных работ на дневной поверхности выпускают системы СИИВ-П, замедляющие передачу инициирующего импульса на поверхности, и СИИВ-С, обеспечивающие внутрискважинное замедление, причем система СИИВ-С имеет два исполнения – СИИВ-С-Н с нормальной и СИИВ-С-Т с повышенной термостойкостью (соответственно до +50 и +85 °С в течение 12 ч).

Для взрывных работ в подземных рудниках и шахтах в условиях, неопасных по газу и пыли, выпускают систему СИИВ-Ш, предназначенную для инициирования с замедлением шпуровых зарядов.

В мировой практике широкое распространение получили неэлектрические системы инициирования скважинных и шпуровых зарядов.

Неэлектрические системы инициирования применяются для передачи инициирующего импульса от первичного инициатора (капсуля детонатора или электродетонатора) через ударно-волновую трубку (УВТ), вмонтированную в детонатор системы к промежуточному детонатору (для скважинных зарядов) или патрону-боевику (для шпуровых зарядов).

Неэлектрическая система инициирования в сравнении с традиционными (детонирующий шнур и электродетонатор) обусловлена более высокой надежностью, безопасностью и перспективами по совершенствованию управления энергией взрыва. Надежность системы обеспечивается наличием внутрискважинного замедления [3]. На практике это означает, что взрыв заряда в первой скважине взрываемого блока происходит через время, определенное параметрами скважинного детонатора (от 25 мсек. до 7 сек.). За это время, инициирующий импульс по поверхностной сети либо уже прошел по всей сети, либо его прохождение по сети опередило начало прохождения взрыва по скважинам блока на значительное расстояние. Таким образом, гарантируется невозможность «подбоя» (нарушения поверхностной взрывной сети взрывом скважинного заряда).

Безопасность системы достигается, в основном, благодаря следующим факторам:

- невозможности обратного прохождения инициирующего импульса (от ударно волновой трубки к детонатору);
- невозможности несанкционированного инициирования детонационного импульса в ударно-волновой трубке от постороннего источника (огонь, удар, трение, блуждающие токи и т.д.).

Роль неэлектрических систем инициирования в совершенствовании работ по управлению энергией взрыва заключается в расширении возможностей, которые дает применение системы в части:

- продолжительности общего времени действия энергии взрыва на массив;
- направленности прохождения взрыва по скважинам (шпурам) взрываемого массива;
- снижения сейсмического действия взрыва;
- отсутствия канального эффекта (выгорание части ВВ).

Рассмотрим на материалах известного патента ООО НТФ «ВЗРЫВТЕХНОЛОГИЯ» и проекта массового взрыва на одном из крупнейших угольных объектов топливно-энергетического комплекса Российской Федерации – ОАО «СУЭК-КУЗБАСС» практику применения некоторых систем инициирования зарядов промышленных взрывчатых веществ с использованием электрических и неэлектрических средств инициирования при отбойке горных пород скважинными и шпуровыми зарядами в горнодобывающей промышленности.

На рисунке 1 (а) приведена схема коммутации взрывной сети, состоящая из поверхностной взрывной сети А, внутрискважинной взрывной сети Б, взрывного высокочастотного многоканального прибора КВВМ-1 и пульта дистанционного управления ПДУ 9, расположенного за границей опасной зоны. Поверхностная взрывная сеть А выполнена электрическим проводом 1 для взрывных работ и индукционных электродетонаторов 2 типа ЭДЗИ, объединенных в пять групп по числу действованных каналов, соединенных с высокочастотным взрывным многоканальным устройством 12 типа КВВМ-1, работающего с дистанционного пульта управления (ПДУ) 9. Внутрискважинная взрывная сеть Б состоит из низкоэнергетического детонирующего шнура 5, проложенного вдоль колонки заряда, проходящего через три боевика 6 (колонка скважинного заряда – рассредоточенная). Внутрискважинная сеть соединяется с поверхностной взрывной сетью через низкоэнергетический детонирующий шнур 6 и электродетонаторы 2. Цифрами на схеме обозначены времена замедлений в мс.

Боевик рисунок 1 (б) состоит из промежуточного детонатора и средств взрывания. Промежуточный детонатор ПДН представляет собой

герметичный полимерный корпус 15, заполненный сыпучим, или литевым, или водосодержащим взрывчатым составом 16. Средства инициирования – неэлектрические детонаторы 17 с отрезком ударно-волновой трубки 18 размещены в боковых продольных пазах полимерного корпуса; полимерный корпус со средствами инициирования вставляется в полимерный тонкостенный цилиндр 19 таким образом, что за счет совмещения продольных боковых пазов корпуса и цилиндра, диаметрально расположенных и попарно смещенных полусферических выступов цилиндра и кольцевых канавок полимерного корпуса средства инициирования, плотно прилегают к 5 корпусу и надежно защищаются от механического воздействия в заряжаемой скважине, при этом исключается перемещение корпуса относительно цилиндра в осевом и радиальном направлениях.

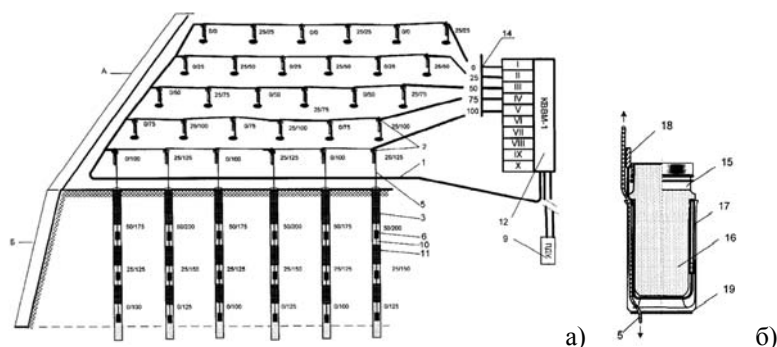


Рис. 1. Схема коммутации взрывной сети с использованием многоканального взрывного высокочастотного прибора типа КВВМ-1 – (а); схема боевика – (б) [2]

На рисунке 2 представлена типовая схема монтажа взрывной сети на участке одного из блоков разреза «Заречный» ОАО «СУЭК-КУЗБАСС» в г. Киселевске Кемеровской области. Зона выбора блоков, участков на разрезе и находящихся под ними подземных горных выработок в шахте характеризуется следующими условиями: характеристика взрывааемых пород – песчаник, алевролит, коэффициент взрываемости П (группы пород по трудности взрываемости по Г.П. Демидюку), коэффициенты крепости пород (4- 5,5), блочности – П (Паспорта технических расчетов массового взрыва).

Предусматривался двухэтапный эксперимент по снижению влияния взрывных работ на угольном разрезе на шахтные горные объекты. На первом этапе проведен маломасштабный сравнительный взрыв скважинных зарядов с замерами соответствующих параметров взрывной сейсмической волны в подземных выработках.

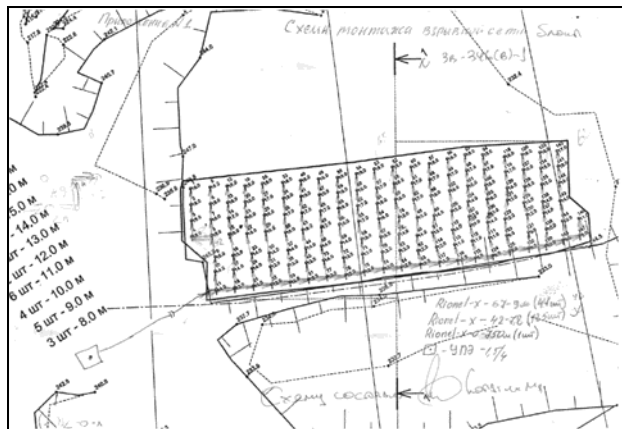


Рис. 2. Схема монтажа взрывной сети на блоке разреза «Заречный» ОАО «СУЭК-КУЗБАСС»

Далее был предусмотрен второй этап исследований, целью которого является проведение крупномасштабного опытного взрыва для объёмной проверки результатов предыдущего маломасштабного взрыва по снижению негативного влияния сейсмического действия волны. На этом этапе был проведен усиленный инструментальный контроль с замерами и проверкой параметров взрывной волны.

Были пробурены 32 скважины длиной ~ 15 м для штатных зарядов и 32 под экспериментальные скважинные заряды. Расстояние между скважинами в ряду – 7м, расстояние между рядами скважин – 6м. Диаметр скважин – 200 мм, перебур – 1,3 м. Типовые объемы взрываемого массива: 17 607, 18 437, 100 039 м³. Удельные расходы ВВ – 0,496, 0,496, 0,519 кг/м³, удельный расход ВВ в тротиловом эквиваленте – 0,451 кг/м³. Применялся один из способов инициирования зарядов: ДЭМ, ИСКРА-Т-500-16, ИСКРА-Т-500-12, ИСКРА-С-450-18, Rionel-MS-20-18, Rionel-MS-20-10,2, Rionel-X-0-750. Взрывание короткозамедленное, неэлектрическое, с применением ИСКРА-Т с интервалами замедления 25, 42, 67, 500 мс, количество ступеней 11. Способы инициирования взрывной сети – УПЭ-1,5/4, ИСКРА-Г1-42-9, ИСКРА-П-67-10, ИСКРА-СТАРТ-И-700, ИСКРА-П-25-6, Rionel-X-42-7,8, Rionel-X-67-9. Применяемые взрывчатые вещества Гранулит РД, Гранулит ПС, Эмульсолит А20.

Масса верхнего основного заряда составила ~ 195 кг, масса донного заряда – 85 кг.

Масса штатного скважинного заряда составляла ~ 287 кг. Расстояние между штатным и экспериментальным блоками составило 25 м. Первым взрывался блок с экспериментальными скважинами, а через ~ 5 минут со штатными скважинами. Результаты взрывной волны инст-

рументально фиксировались шахтным сейсмическим оборудованием. Для этого в конвейерном и путевом стволах шахты «Талдинская-Западная 2», на минимальном расстоянии от места взрыва 150 м – 180 м, в бортах с шагом 50 м были пробурены шпуры диаметром 60 мм и длиной 1 м, в которых размещались сейсмические зонды. Точная настройка сейсмической аппаратуры производилась за 1 час до взрывов.

Вывод:

Анализ экспериментальных массовых взрывов на открытых разработках показал пригодность с удовлетворительной точностью современных схем коммутации и инициирования для решения различных задач горной практики, включая повышение эффективности снижения негативного влияния действия сейсмозрывных волн за счет конструктивных особенностей скважинных зарядов.

Литература

1. Кутузов Б.Н. Безопасность взрывных работ в горном деле и промышленности: Учебное пособие. – М.: Издательство «Горная книга», Издательство Московского государственного горного университета. – 2009. – 670 с.
2. Патент 2285897. Система инициирования зарядов взрывчатых веществ.
3. Бирик И.П. Опыт применения неэлектрических систем инициирования зарядов ВВ. – 2015. – С. 231-234.

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ
ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ ОСВОЕНИИ
ЗАПАСОВ РУДЫ ЗА КОНТУРОМ КАРЬЕРА ***

Никифоров К.И.

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

Выемка законтурных рудных запасов при доработке карьеров помимо повышения полноты и комплексности освоения месторождений позволяет увеличить срок деятельности карьера и существенно повысить экономические показатели разработки за счет продления сроков деятельности рудников с развитой инфраструктурой и использования основных фондов.

Однако, отработка запасов руды за контуром карьера характеризуется особой спецификой. С одной стороны, она осложнена высокой на-

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-37-00050

рушенностью массивов, низкой устойчивостью подработанных бортов карьеров, находящихся в предельном положении, повышенными показателями потерь и разубоживания при добыче. С другой стороны, развитие горных наук привело к созданию новых геотехнологических решений (систем разработки с высокими вскрышными уступами, искусственными бермами, интеллектуальным горнотранспортным оборудованием и др.), способных обеспечить более полное, комплексное и экономически целесообразное извлечение полезных ископаемых из недр [1].

В этих условиях выбор оптимальных (иногда – нестандартных) технологических схем и параметров разработки, обеспечивающих эффективную отработку законтурных запасов, устойчивое состояние обнажений, снижение уровня неблагоприятного воздействия горных работ на состояние окружающей среды, выдвигает повышенные требования к геомеханическому обоснованию параметров конструктивных элементов системы разработки, соответствующего конкретным горно-геологическим условиям [2-4].

Применительно к рассматриваемой проблеме отработки законтурных запасов карьеров необходимо регулярно производить оценку геомеханического состояния прибортового массива, составлять прогноз его изменения под воздействием горных работ, вести контроль за развитием деформационных процессов и управлять ими путем регулирования технологических параметров разработки.

Решение указанных задач является одним из направлений деятельности созданной в ИПКОН РАН Лаборатории экологически сбалансированного освоения недр (ЭКОН). Целью работы лаборатории является разработка критериев, норм и правил проектирования горнотехнических систем освоения месторождений твердых полезных ископаемых с сохранением окружающей среды, то есть обеспечением ее равновесного состояния, а также обоснование параметров этих систем на основе результатов целенаправленного исследования геотехнологических процессов, от которых зависит состояние среды обитания человека в рамках горнотехнической системы и в ореоле ее влияния.

Как показывает опыт отработки запасов за контуром карьера месторождений алмазов Якутии и золоторудных месторождений Южного Урала, главным условием ее эффективности и безопасности является правильное понимание геомеханического состояния массива горных пород и тенденций его изменения в процессе ведения горных работ. Ключевая роль в этом вопросе принадлежит геомеханическому мониторингу, реализуемому в форме долговременных, периодических, упрощенных или непрерывных наблюдений за развитием деформационных процессов.

Основными задачами системы мониторинга при отработке запасов руды за контуром карьера являются:

- поддержание безопасных условий работы для персонала и оборудования;
- заблаговременное предупреждение о наличии потенциально неустойчивых зон для возможности изменения плана горных работ и технологических схем отработки запасов с целью минимизации влияния смещения пород в откосе;
- предоставление геомеханической информации для анализа механизмов развивающихся нарушений устойчивости, построения фактической поверхности скольжения по векторам смещений, расчета фактических коэффициентов запаса устойчивости, разработки планов корректирующих мер;
- оценка устойчивости конструкции борта в целом и отдельных участков.

Высокоточный инструментальный контроль за состоянием бортов карьеров в комплексе с инженерно-геологическими и гидрогеологическими исследованиями является объективным критерием правильности ранее принятых проектных решений.

Лаборатория ЭЖОН оснащена современным исследовательским высокотехнологичным оборудованием, позволяющим своевременно получать достоверную и детализированную информацию о состоянии массива горных пород и конструктивных элементов горнотехнической системы.

С учётом перспективы все большего вовлечения в разработку законтурных запасов руды, а также указанных выше осложняющих факторов их отработки проектирование системы геомеханического мониторинга должно осуществляться в направлении создания автоматизированных систем мониторинга состояния с учетом следующих основных принципов:

- приоритет обеспечения безопасности и эксплуатационной надежности всей горнотехнической системы по схеме: объект – риски – мероприятия;
- целевой подход – единая система геомеханических наблюдений, включая массив пород, элементы карьера, подземные выработки за контуром карьера;
- рациональный подход – выбор системы методик и средств наблюдений, обеспечивающий достоверный результат с наименьшими затратами;
- качественный подход – достоверность, релевантность и репрезентативность результатов наблюдений.

Получение объективной непрерывной информации о геомеханическом состоянии массивов с учетом указанных принципов при создании систем мониторинга на современном уровне развития технических средств позволяет оценить и определить безопасные условия выемки законтурных запасов и разработать открытую или подземную технологию их отработки с обеспечением устойчивости бортов на требуемый срок с удовлетворением требований, действующих в области недропользования и промышленной безопасности.

Литература

1. Дик Ю.А., Котенков А.В., Танков М.С. Практика опытно-промышленных испытаний технологий разработки рудных месторождений. – Екатеринбург : Изд-во Урал, ун-та, 2014. – 480 с.
2. Казикаев Д.М., Козырев А.А., Каспарьян Э.В., Иофис М.А. Управление геомеханическими процессами при разработке месторождений полезных ископаемых: Учебное пособие. – М.: Изд-во «Горная книга», 2016. – 490 с.
3. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости – Л.: ВНИМИ, 1971. – 188 с.
4. Руководство по проектированию бортов карьера / под ред. Д. Рида, П. Стейси: пер. с англ. — Екатеринбург: Правовед, 2015. – 544 с.

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В ЦЕЛЯХ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В МОСКВЕ

Негурица Д.Л.

Российский университет дружбы народов

Развитие мегаполисов во всем мире происходит за счет присоединения новых территорий и развития подземного и высотного строительства. В городе Москве – крупнейшем мегаполисе Российской Федерации произошло присоединение новых территорий, но это не только не уменьшило, а наоборот увеличило освоение подземного пространства. Увеличение территории города влечет за собой значительное увеличение населения города, увеличение транспортного и пассажирского потока, что привело к перегруженности транспортных магистралей. Развитие новых территорий требует прокладки новых транспортных сооружений и развитие инженерных коммуникаций, включая тоннели метрополитена и коммунальные. Очевидно, но без комплексного освоения подземного пространства дальнейшее развитие города невозможно.

Сегодня основным фактором, сдерживающим развитие подземного строительства, является стоимость возведения подземных сооружений, которая сейчас превышает стоимость наземного и высотного строительства. Наиболее перспективным и быстро окупающимся видом использования подземного пространства городов является использование его для строительства паркингов и гаражей. Это обусловлено особенностями эксплуатации автотранспорта. При эксплуатации подземных сооружений есть несколько неоспоримых преимуществ объектов, обусловленных изоляцией от внешней среды, возможность расположения их под площадями, парками, рекреационными зонами и даже под водными объектами (прудами и реками), что может преобразить образ города к лучшему.

Введение платных парковок в центральной части города и стремительное развитие зоны платных парковок к окраинам не позволят решить вопрос перегруженности города, а только отсрочить его на несколько лет. Однако эти шаги в недалекой перспективе запускают механизмы стимулирования развития подземного строительства. По приближенным экономическим расчётам в ближайшие несколько лет самокупаемость строительства подземных паркингов в центральной части города Москвы может составлять от 2 до 5 лет.

Пока в центральной части города главным образом проектируются и строятся многофункциональные комплексы с подземными гаражамистоянками, глубина которых достигает тридцати метров, а площадь – десятки тысяч квадратных метров. Широкое распространение получают транспортные тоннели, возводимые как щитовым способом, методом стена в грунте, так и другими. Хотя в процессе строительства используются новые технологии и конструктивные решения, они не исключают развитие деформационных процессов. Поскольку строительство ведется в исторически сложившейся части города, в зону влияния горностроительных работ попадают здания, сооружения коммуникации, а также объекты метрополитена.

Геологическая и геомеханическая обстановка в районе строительства обычно сложная, поскольку грунтовый массив сложен породами с низкой несущей способностью. Массив горных пород недостаточно изучен и в процессе строительства под воздействием различных технологических факторов значительно меняются его свойства.

При нарушении подземных коммуникаций деформации значительно возрастают, по причине того, что в грунтовый массив проникают воды из ливневых и бытовых стоков, что влечет за собой изменение несущей способности грунтов. Значительной нагрузкой на строительство, значительно снижающее его эффективность является необходимость перекладки существующих коммуникаций, попадающих в зону влияния строительства.

В процессе строительства производится воздействие на массив тяжелой строительной техники, что вызывает дополнительные деформации.

Для контроля развития деформационных процессов в процессе строительства и эксплуатации подземного сооружения производится геомеханический мониторинг. Геомеханический мониторинг – это комплекс мероприятий по контролю развития деформационных процессов, выполняемых по специальному проекту, основной задачей которого является установление признаков, предшествующих созданию аварийных ситуаций.

Геомеханический мониторинг производится по специальному проекту, являющемуся неотъемлемой частью проектной документации и проходит экспертизу промышленной безопасности.

Определение зоны влияния строительства и прогноз развития деформаций одна из наиболее сложных, трудоемких и ответственных частей проекта, поскольку на основе этих данных организуется геомониторинг.

При подготовке прогноза необходимо учитывать большое количество влияющих факторов, которые можно условно разделить на четыре группы – геологические, технологические, геомеханические и геоситуационные.

Дополнительный риск возникновения аварийных ситуаций вызывает тот факт, что при строительстве часто не учитывают влияние на другие подземные сооружения, в частности на те, которые находятся ниже строящихся: тоннельные и станционные строения метрополитена и т. д.

Закладка наблюдательных станций и производство наблюдений в условиях города осложняются следующим: прилегающие территории практически полностью заасфальтированы, исключение составляют небольшие газоны, существующая застройка очень густая, в районах строительства очень плотное пешеходное и автомобильное движение, что может существенно затруднить использование современного высокопроизводительного оборудования, в частности электронных тахеометров с сервоприводом, работающих в автоматическом режиме и лазерных сканеров. В случае наличия особо ответственных зданий и сооружений, например, памятников культуры ставятся системы постоянного наблюдения, при этом приходится устанавливать не один, а несколько приборов.

В современных условиях для обеспечения эффективности производства измерительных работ необходимо постоянно совершенствовать конструкцию реперов, чтобы обеспечить их непрерывную службу на протяжении не только строительства, но и эксплуатации подземного объекта.

При закладке наблюдательных станций используется большое количество реперов, имеющих различную конструкцию, в зависимости от места закладки назначения и срока службы.

Наибольшее количество реперов закладывается непосредственно в стены тех зданий и сооружений, которые попадают в зону влияния строительства. Деформационные реперы закладываются по периметру зданий на расстоянии 5-20 метров, с обязательной установкой на углах и характерных выступах зданий. Марки закладываются на одинаковой высоте, равной примерно 0,5 метра от поверхности земли. Деформационная марка может быть различных конструкций. Каждому реперу присваивается уникальный порядковый номер. Целесообразно производить цифровую фотосъемку заложенных реперов.

Точность и периодичность проведения измерений устанавливается проектом и определяется в зависимости от целей проведения мониторинга и условий проведения строительства. Исходя из этого, выбираются приборы и методика проведения измерений. В сложных условиях города часто используется комплексная методика наблюдений с применением различных технологий измерений. При этом измеряются осадки, горизонтальные сдвигения.

Помимо измерений сдвижений объектов, попадающих в зону влияния производятся измерения сдвижения конструкций подземного сооружения. Необходимы также наблюдения за отдельными конструкциями и частями комплекса, для установления величин их деформирования.

В непосредственной близости от проектируемого комплекса закладываются глубинные реперы для наблюдения за деформациями грунтового массива.

В процессе мониторинга процессов сдвижения и деформирования сооружений, имеющих значительную высоту необходимо уделять особое внимание наблюдениям за креном, что позволит произвести безаварийно строительные-монтажные работы и контролировать развитие деформационных процессов.

Применение современных программных комплексов позволяет с высокой эффективностью производить не только прогноз, но и эффективно использовать для производства измерений современные измерительные приборы и оборудование, в том числе электронные тахеометры с сервоприводом, GPS/ГЛОНАСС приемники, системы лазерного сканирования. Применение этих приборов требует специальных алгоритмов обработки полученных с их помощью результатов измерений.

В установленные проектом сроки, а также при возникновении нестандартных ситуаций подготавливаются и передаются другим заинтересованным специалистам отчеты о развитии деформационных процессов и рекомендации по выполнению защитных мероприятий.

Измерения производятся до тех пор, пока процесс сдвижения не завершится и в первые два года начала эксплуатации подземного комплекса.

Углубленный анализ данных развития деформационных процессов позволяет выявить отклонения прогнозного развития деформационных процессов от фактического и установить причины и влияющие факторы. Накопление данных и их анализ позволит как уточнить закономерности развития деформационных процессов, так и выявить недостоверность инженерных изысканий при строительстве.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ПРОГНОЗА
МАКСИМАЛЬНЫХ ОСЕДАНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ В МОСКВЕ
НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Никифорова И.Л.

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

Перспективы увеличения объемов строительства транспортных тоннелей на территории города в условиях плотной городской застройки связаны с проблемой охраны объектов, попадающих в зону его влияния. Необходимость применения защитных мероприятий определяется на основании сравнения прогнозных параметров процесса сдвига с их допустимыми и предельными значениями для конкретного объекта. Соответственно, получение достоверных результатов прогноза изменения геомеханического состояния породного массива под влиянием горных работ является важной научно-практической задачей [1].

Для решения поставленной задачи требуется рассмотрение конкретной геомеханической ситуации, которая часто не имеет аналогов. В большинстве случаев условия при различных видах освоения недр следует рассматривать как специфические и выполнять прогноз поведения массива на основе детального геомеханического мониторинга.

К таким специфическим условиям можно отнести освоение подземного пространства городов, и в частности, строительство горнокапитальных тоннелей неглубокого (около 20...30 м) заложения, проходка которых выполняется с применением современных щитовых тоннелепроходческих механизированных комплексов (далее – ТПМК). Несмотря на объективные преимущества, проходка с использованием ТПМК, особенно при небольшой глубине заложения тоннелей и больших объемах выработанных пространств, все же не исключает развития процесса сдвига массива пород над тоннелем. Ситуация усложняется в связи с увеличением скорости развития деформаций, вызванной повышением интенсивности проходческих работ в условиях плотной городской застройки.

С учетом указанной специфики методы геомеханического прогноза, применяемые при освоении месторождений полезных ископаемых, часто неэффективны при строительстве подземных сооружений и нуждаются в адаптации под конкретные условия.

Для повышения безопасности и эффективности освоения подземного пространства в ИПКОН РАН выполняются работы по совершенствованию методологии оценки влияния строительства на состояние массива горных пород в зоне его влияния. На основе выявления закономерностей развития процесса сдвижения земной поверхности при строительстве Лефортовского и Серебряноборского тоннелей в Москве установлены характер и основные закономерности развития процесса сдвижения земной поверхности в рассматриваемых условиях. Обоснована и разработана методика расчета деформаций земной поверхности при проходке тоннелей ТПМК, базирующаяся на методе типовых кривых, отличающаяся тем, что определение длины полумульды сдвижения производится по ее характерным точкам, определяемым независимо от погрешности измерений, фоновых деформаций, расстояния между реперами и угловых критериев, принимаемых за границу мульды сдвижения [2].

В настоящее время метод типовых кривых входит в целый ряд нормативных документов, в том числе [3]. Согласно [3], расчёт максимального оседания должен осуществляться по формуле:

$$\eta_{\max} = q_0 \cdot m \cdot \sqrt{n_1 n_2}, \quad (1)$$

где m – величина прогиба кровли выработки; q_0 – коэффициент, учитывающий характер затухания сдвижений от выработки к земной поверхности, для условий Москвы принимается в пределах от 0,7 до 0,9; n_1 и n_2 – коэффициенты подработанности земной поверхности.

Однако, сравнение максимальных оседаний, полученных по (1), с результатами натуральных наблюдений при проходке тоннелей с использованием ТПМК показало, что расчетные величины максимальных оседаний значительно (в несколько раз) превышают измеренные. Такое положение вещей может потребовать неоправданного увеличения затрат на защитные мероприятия, поэтому данная методика расчета η_{\max} для условий Москвы, безусловно, нуждается в корректировке.

В целях исследования вопроса был проанализирован имеющийся объем инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности при строительстве тоннелей ТПМК в Москве для установления вида функции $\eta_{\max} = f(N_1, N_2, \dots, N_i)$, где N_1, N_2, \dots, N_i – факторы, оказывающие на η_{\max} наибольшее влияние в рассматриваемых условиях. В число таких факторов были включены глубина заложения тоннеля, размеры

поперечного сечения, геологические условия строительства и физико-механические свойства вмещающего тоннель породного массива.

Влияние таких факторов, как глубина заложения тоннеля и размеры поперечного сечения строящегося тоннеля учитывалось отношением D/H (D – диаметр тоннеля, H – глубина его заложения), которое считается основным классификационным признаком типовых кривых [4].

В отличие от прогноза максимально оседания при выемке полезного ископаемого, когда, как правило, вынимаемая мощность пласта известна, при строительстве тоннеля ТПМК речь скорее идет об эффективной мощности, являющейся, по сути, интегральным показателем смещений грунта в забойной зоне и за счет перебора грунта ротором, качества проведения тампонажных работ по заполнению заобделочного пространства, а также усадки тампонажного раствора при твердении.

Полностью учесть влияние каждого фактора практически невозможно, и наблюдаемые на земной поверхности сдвиги и деформации определяются совокупностью перечисленных составляющих. Однако очевидна значимость учета при прогнозе η_{\max} показателей свойств вмещающих тоннель пород, т.к. в случае его проходки в устойчивых грунтах оседания будут значительно меньшими по сравнению с проходкой в неустойчивых грунтах.

Предшествующий выбору показателей физико-механических свойств вмещающего тоннель породного массива для установления влияния на η_{\max} анализ существующих исследований по данному вопросу показал, что в зависимости от характера решаемых геомеханических задач в расчетные формулы может входить большое количество физических показателей, характеризующих устойчивость пород: коэффициент крепости пород по М. М. Протодяконову f , в формуле (1) – относительное оседание q_0 , параметры паспорта прочности – пределы прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ и растяжение σ_p , сцепление C , угол внутреннего трения φ и их соотношения. Общераспространённой в геомеханике характеристикой структурных и механических свойств подрабатываемого массива, влияющих на устойчивость породных обнажений и развитие процесса сдвига, является обобщенный геомеханический показатель относительной прочности массива – соотношение действующих напряжений и деформационно-прочностных свойств пород $\gamma H / \sigma_{сж}$, где γH – вес вышележащей толщи пород, обуславливающий напряжения в массиве горных пород; $\sigma_{сж}$ – средневзвешенный по толще предел прочности пород на одноосное сжатие.

С учетом того, что в рассматриваемых инженерно-геологических условиях проходка осуществляется в породах преимущественно четвертичных отложений, для которых более характерными физико-механическими характеристиками являются сцепление C и угол внутреннего трения φ , предел прочности $\sigma_{сж}$ был определен через указанные характеристики по формуле [5]:

$$\sigma_{сж} = 2C \operatorname{ctg}(45^\circ - \varphi/2). \quad (2)$$

Физико-механические свойства слоев четвертичных отложений соответствовали данным опробования геологоразведочных скважин, пробуренных на участках строительства тоннелей.

В результате регрессионного анализа были установлены вид и параметры зависимости, учитывающей совместное влияние на величину η_{\max} перечисленных факторов в виде:

$$\eta_{\max} = a_0 \cdot (\gamma H / \sigma_{сж})^{a_1} \cdot \sqrt{D/H}, \quad (3)$$

где a_0 , a_1 – эмпирические коэффициенты, для рассматриваемых условий $a_0 = 8,15$, $a_1 = 0,016$.

По аналогии с (1) эмпирический коэффициент a_0 в формуле (3) является величиной эффективной мощности при заполнении технологического зазора тампонажным раствором, а выражение $(\gamma H / \sigma_{сж})^{a_1}$, аналогично коэффициенту q_0 , позволяет учитывать характер затухания сдвижений от тоннеля к земной поверхности в зависимости от свойств массива горных пород. Эмпирическое корреляционное отношение составило 0,75, что говорит о достаточно тесной связи между фактическими и прогнозными значениями η_{\max} .

Предлагаемый подход к определению величины максимального оседания является геомеханически обоснованным, т.к. экстраполяция от изученных условий к неизученным проводится не интуитивно, а с учетом изменения физико-механических свойств и напряженно-деформированного состояния горных пород. Чем полнее будут учитываться конкретные условия строительства, тем точнее и объективнее будет осуществляться прогноз сдвижений и деформаций в зоне его влияния.

Следует отметить, что при постановке задачи были приняты допущения, упрощающие решение. Однако возникающие в связи с этим погрешности можно корректировать эмпирическими коэффициентами, полученными из результатов натуральных наблюдений и содержащими в неявном виде другие неучтенные показатели массива горных пород: реологические характеристики, анизотропию, коэффициент бокового распора и другие.

Литература

1. Бычков Н.Н., Дорман И.Я., Елгаев С.Г., Мазеин С.В., В.Е. Меркин, Мутушев М.А. Научно-техническое сопровождение проектирования и строительства подземных сооружений, как фактор обеспечения единой научно-технической политики // *Метро и тоннели*. 2015. № 1, С. 18-19.
2. Никифорова И. Л. Аналитико-экспериментальный метод расчета сдвижения земной поверхности при проходке тоннелей щитовыми комплексами // *Маркшейдерия и недропользование*. 2015. № 1 (75), С. 37-39.
3. РД 07–166–97 Инструкция по наблюдениям за сдвигами земной поверхности и расположенными на ней объектами при строительстве в Москве подземных сооружений, утв. постановлением Госгортехнадзора России от 17.09.97 № 29.
4. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях/ВНИМИ. СПб., 1998.
5. Туринцев Ю.И., Кольцов П.В., Жабко А.В. Методическое руководство по определению максимальных углов погашения бортов меднорудных карьеров. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. – 106 с.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ НАЛЕГАЮЩИХ ПОРОД ПРИ ОТРАБОТКЕ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД КМА ПОСРЕДСТВОМ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧИ

Милетенко Н.А., Митишова Н.А.

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

Скважинная гидродобыча (СГД) – эффективный метод освоения недр, внедрение которого при добыче богатых железных руд КМА является весьма перспективным [1, 2].

Развитие технологии добычи богатой железной руды КМА связывается с возможным внедрением метода скважинной гидродобычи (СГД). При этом следует учитывать, что в низкопрочных, сравнительно легко размываемых богатых рудах доля слабосцементированных разностей превышает 50% [3, 4, 5].

Вместе с тем, скважинная гидродобыча уникальных богатых железных руд КМА, в том числе Шемраевского месторождения, может привести к экологической проблеме, поскольку при масштабной разработке руд в налегающей толще пород возникают интенсивные деформационные процессы. Они могут изменить гидрогеологические условия и нарушить природную систему снабжения района питьевой водой. В ИПКОН РАН проводятся исследования на стыке геомеханики и гидрогеологии, направленные на выявление особенностей техногенного воздействия СГД на горизонты питьевой воды и налегающей толщи [6].

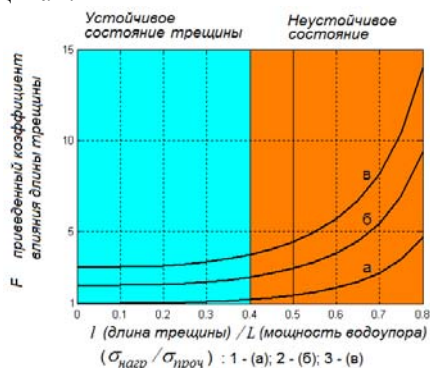
Среди геомеханических проблем, связанных со скважинной гидродобычей, выделяются две основные: разрушение и сдвигение массива горных пород в масштабе добычи камеры и сдвигения массива горных пород и налегающей толщи в масштабе всего шахтного поля. При этом необходимо учитывать, что в случае обводненности массива горных пород выработанное пространство будет заполнено водой, поэтому оцениваются две крайние ситуации:

- давление воды в добычной камере определяется давлением водяного столба от поверхности земли;
- давление воды определяется только гидростатическим давлением воды в камере (этот случай может иметь место при откачке воды из технологической скважины). В этих условиях важную роль играет состояние водоупорного слоя.

С целью анализа возможных геомеханических ситуаций при СГД в ИПКОН РАН были проведены расчеты напряженно-деформированного состояния рудного массива и налегающей толщи пород при различных объемах извлеченной руды и снятия напора воды [7].

Освоение месторождений полезных ископаемых в районе влияния на водные объекты влечет за собой изменение состояния массива горных пород и в зависимости от интенсивности распространения трещин может повлечь нарушение разделяющего водоупорного слоя. При установленных допустимых параметрах добычи и снижения напора в результате прогиба водоупора в нем могут образоваться отдельные магистральные трещины, достигающие водоносного горизонта. Результаты оценки условий развития магистральной трещины в водоупоре показаны на рис.1. Вследствие снижения напорного давления рудных вод и наличия гидравлической связи водоносного горизонта и рудных вод возможна незначительная миграция питьевой воды в выработанное пространство по образовавшимся трещинам.

Рис.1. Зависимость приведенного коэффициента влияния длины трещины от соотношения длины трещины и мощности водоупора при различных соотношениях действующей нагрузки и прочности



Гидродинамическая обстановка в перспективе может измениться после прекращения скважинной гидродобычи и восстановления напора минерализованной воды в массиве рыхлых пород. Однако, даже в этом случае миграция воды с нижнего горизонта на верхний будет иметь минимальное экологическое значение. Действительно, в количественном отношении поступление воды на верхний горизонт должно быть незначительным: (а) вследствие малой разницы в напорах; (б) по мере восстановления напора минерализованной рудной воды прогиб известняка и водоупорной толщи уменьшится, что приведет к частичному закрытию водопродвижающих трещин; (в) проникающие на верхний горизонт воды будут представлены по большей части слабо минерализованными водами каменноугольного водоносного горизонта, миграция тяжелой минерализованной воды должна быть ограничена. Таким образом, допустимое образование отдельных трещин в водоупорном слое не приведет к экологически значимому смешению питьевой и минерализованной воды.

В другом случае вероятное разрыхление части водоупора вследствие интенсивного трещинообразования до состояния обрушенной массы может быть опасным, поскольку процесс обрушения при насыщении водой обрушенной массы может происходить в режиме «самоподдержания» и завершиться полной утратой водозащитных свойств водоупора.

Установление высоты зоны обрушения определяется после выемки слоя мощностью h_e . Обрушающийся рудный массив разуплотняется с коэффициентом разрыхления k_p^* и заполняет весь объем выработанного пространства. Очевидно, что в этом случае

$$k_p^*(h_{об} - h_e) = h_{об},$$

где $h_{об}$ – высота зоны обрушения. Решив это уравнение относительно $h_{об}$, получаем

$$h_{об} = \frac{k_p^*}{k_p^* - 1} h_e$$

Эффективным средством обеспечения экологически безопасного освоения недр при СГД является геомониторинг деформационного состояния водоупора, контроль напора воды как в процессе осуществления скважинной гидродобычи, так и после ее завершения.

Литература

1. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. и др. Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых. – М.:ИПКОН РАН, 2012, 206с.

2. Трубецкой К.Н., Иофис М.А., Милетенко И.В., Милетенко Н.А. и др. Проблемы комплексного гидрогеологического и геомеханического техногенного воздействия на геосреду. В сбор. «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды» – Екатеринбург: Изд ИГД УрО РАН, 2012, с. 23-28.

3. Журин С.Н., Колесников В.И., Стрельцов В.И. Природопользование при скважинной гидродобыче богатых железных руд. – М.: НИИ-Природа, 2001.

4. Милетенко И.В., Милетенко Н.А., Одинцев В.Н., Байгуринов Ж.Д., Абайдельдинов Ж.С., Имансакипова Б.Б. Особенности разрушения подрабатанного массива горных пород при скважинной гидродобыче / Маркшейдерия и недропользование. 2012. № 6 (62). С. 42-49.

5. Трубецкой К.Н., Одинцев В.Н., Милетенко Н.А. Сохранение водных ресурсов при разработке месторождений твёрдых полезных ископаемых. В сборнике: Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках Материалы XXII Международной научной школы им. академика С.А. Христиановича. Симферополь: Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского. -2012. – С. 332-334.

6. Милетенко И.В., Милетенко Н.А., Одинцев В.Н., Байгуринов Ж.Д., Абайдельдинов Ж.С., Имансакипова Б.Б. Моделирование процесса трещинообразования в налегающих породах при скважинной гидродобыче // Маркшейдерский вестник. – 2012, №6. С. 44-46.

7. Одинцев В.Н., Милетенко И.В., Милетенко Н.А. Геомеханическая оценка изменения гидрогеологических условий налегающих пород при скважинной гидродобыче железных руд // Маркшейдерия и недропользование. – 2010.-№5. – С.51-54.

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПОДЗЕМНОЙ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ МЕТОДОМ ГИДРОРАЗРЫВА

Курленя М.В., Сердюков С.В.

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

В геологической истории угольных месторождений особое место занимает аккумуляция больших запасов метана. Газ, находящийся в угольных пластах, по качественным показателям превосходит традиционный природный газ, характеризуется высоким содержанием метана (до 97–99 %), незначительным содержанием (доли процента) тяжёлых углеводородов, водорода и углекислого газа и инертных газов (1–2 %). Одним из положительных качеств является отсутствие в нём вредных газов, например, сероводорода.

В ранее выполненных исследованиях [1,2] рассматриваются параметры и свойства угленосного массива применительно к задаче его дегазации, важнейшими из которых являются петрографический состав, стадии метаморфизма, степень трещиноватости и минерализация угля и углевмещающих пород. Пористость угля и проницаемость – наиболее существенные физические свойства, определяющие накопление и фильтрацию флюидов. Кроме того, существует устойчивая связь между структурно-тектоническим строением пластов и зонами аккумуляции метана и газодинамическими проявлениями. Поэтому он присутствует не только в угольных пластах, но и в углевмещающих породах, и в характерных тектонических структурах. Отмеченные параметры и свойства угольных месторождений оказывают большое влияние на формирование их метаноносности и определяют соотношение между содержанием метана в свободном и сорбированном состоянии. При этом углеметан находится в динамическом равновесии, которое получается при изменении геомеханических условий в процессе горных работ или специальных способов воздействия на угольный пласт. Падение газового давления в угольном массиве приводит к переходу сорбированных газов в свободное состояние. К сожалению, в физике горных пород ещё нет строгой теории, описывающей природу метаноносности угольных пластов и газодинамических процессов, протекающих в них. Есть лишь теоретические модели, базирующиеся на определённых предположениях, и эксперименты, отражающие связь метаноносности с геологическими условиями и физико-химическими особенностями углей и пород.

Отечественными и зарубежными исследователями в настоящее время установлена тенденция повышения метаноносности угольных пластов в зависимости от глубины (H) их залегания. Хотя она существенно отличается в различных угледобывающих районах, однако существует общая закономерность – метанонасыщенность угля в пласте растёт с увеличением глубины (рис. 1).

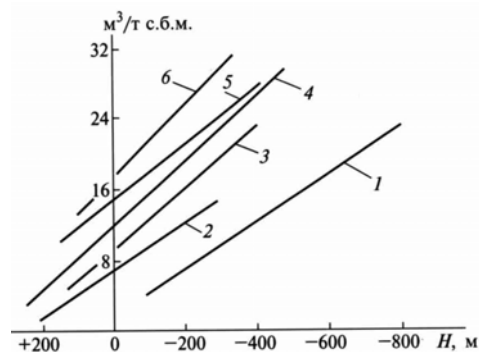


Рис. 1. Зависимость метаноносности угольных пластов Кузбасса от глубины их залегания: районы: 1 – Осинковский; 2 – Ерунаковский; 3 – Ленинский; 4 – Байдаевский; 5 – Кондомский; 6 – Томусинский

Предварительная дегазация газоносных угольных пластов до начала очистных работ является обязательным технологическим элементом подземной добычи угля и одновременно способом добычи ценного углеводородного сырья. В России и за рубежом разрабатываются два основных способа извлечения метана из угольных пластов. Первый способ – добыча метана осуществляется из нетронутых горными работами угольных пластов на вновь осваиваемых месторождениях с применением скважин, пробуренных с поверхности. Второй – подземный на полях действующих шахт, где массив горных пород вследствие горных работ оказался техногенно изменённым, подвержен деструкции и нарушено его исходное напряжённо-деформированное состояние.

Главной проблемой добычи метана является малая продуктивность скважин из-за низкой проницаемости угля, малого давления газа в пласте и его сорбции. В мировой практике угледобычи, при её решении применяется бурение большого числа близкорасположенных веерных дегазационных скважин. Расстояние между скважинами 3–5 м. Помимо высоких затрат недостатком такого способа является возникновение в породе вблизи буровых ниш многочисленных трещин, через которые происходит подсос воздуха из горных выработок в интервал вакуумирования дегазационных скважин. Это снижает содержание метана в извлекаемом газе до 40–60%, приводит к падению депрессии на пласт и продуктивности дегазационных скважин. Значительное содержание воздуха в добываемом газе усложняет использование метана угольных пластов в качестве углеводородного сырья для химической переработки. Сжигание метановоздушной смеси с получением тепловой или электрической энергии для нужд угледобывающего предприятия лишь частично решает проблему утилизации метана.

Для преодоления недостатков существующих технологий дегазации в таких угледобывающих странах как Австралия, США, Китай и др. ведутся научные исследования и разрабатываются эффективные способы и средства стимулирования газоотдачи угольных пластов. Наиболее перспективным из них является гидроразрыв угольного массива. Он позволяет создавать в нём дренажные каналы и обнажения, вызывая нарушение природного сорбционного равновесия, формирует проницаемые зоны и фильтрационный поток метана. При этом конструкция и параметры дегазационных скважин являются важным элементом технологии дегазации. Особенность шахтного гидроразрыва угольных пластов такова, что при расстоянии между дегазационными скважинами до 15–25 м в них достаточно образовывать трещины радиусом до 5–10 м. Формирование трещин большого радиуса нецелесообразно по экономическим причинам, потому что дешевле увеличить плотность сетки скважин. Очевидно, что вдоль протяжённой пластовой дегазационной

скважины необходимо создавать много трещин небольшого радиуса. Отсюда максимальная эффективность шахтного гидроразрыва достигается при поинтервальном проведении большого числа разрывов с небольшим объёмом закачиваемой рабочей жидкости.

Опыт заимствования такой технологии из сланцевой индустрии для стимулирования предварительной дегазации неразгруженных угольных пластов в шахтных условиях показал [3]:

1) множественные интервальные гидроразрывы дегазационной скважины (в среднем 60 разрывов на скважину протяженностью 300-400 м) с закачкой в качестве расклинивающего материала (проппанта) по 100 кг кварцевого песка на один разрыв способствуют долговременному повышению извлечения метана в 5 раз в пластах проницаемостью выше 0,02-0,03 мД и до 180 раз в пластах более низкой проницаемости;

2) проведение гидроразрывов дегазационных скважин водой без заполнения создаваемых трещин проппантом дает кратковременное увеличение дебита дегазационной скважины до 3 раз, но не оказывает практически значимого влияния на извлечение метана дегазационной скважиной за весь период ее эксплуатации.

Для того чтобы создаваемая трещина осталась в раскрытом состоянии в неё необходимо закачать расклинивающий материал, но применение используемых в нефтедобыче проппантов, в т.ч. лёгких, совместно с малопроизводительным насосным оборудованием затруднительно. Увеличение вязкости рабочей жидкости для повышения её грузонесущей способности при малых скоростях потока возможно за счёт добавления в неё специальных полимерных систем или гелей, но их применение ведёт к усложнению и удорожанию работ. Для шахтного гидроразрыва это критично и такая технология распространения не получила.

Из-за низкого пластового давления угольного метана рабочая жидкость гидроразрыва, остающаяся в трещине после проведения работ, долгое время блокирует дренирование газа. Таким образом, одной из важнейших проблем поддержания в рабочем состоянии трещин гидроразрыва является не только их закрепление проппантом но и очистка от жидкости. Её решения возможно при использовании рабочих жидкостей, генерирующих газ (азот, диоксид углерода), который вытесняет рабочую жидкость из трещины в скважину.

Другой проблемой проведения множественных гидроразрывов в пластовых скважинах является низкая прочность угля, частичное разрушение со временем скважин, значительная изменчивость их диаметров вдоль ствола. Укрепление таких скважин перфорированными обсадными трубами по всему стволу экономически нецелесообразно. Переменный диаметр пластовых скважин, вследствие частичного разрушения стенок, осложняет герметизацию их интервалов и проведение

разрывов. Применение в данном случае станков направленного бурения и буровых труб для выполнения поинтервальных гидроразрывов ведёт к снижению целевой эксплуатации буровой техники. По нашему мнению, частичное решение этой проблемы состоит в бурении в прочных породах кровли угольного пласта дополнительной редкой сетки скважин, предназначенных для проведения множественного гидроразрыва и создания дренажных трещин, вскрывающих угольный пласт и соединяющих группу пластовых дегазационных скважин в связанную систему.

Задачу создания технологии шахтного гидроразрыва предлагается решать на основе следующих новых инновационных решений:

1) применение роботизированного скважинного оборудования гидроразрыва самостоятельно передвигающегося в заданный интервал скважины и буксирующего за собой гибкие рукава высокого давления для подачи рабочей жидкости в интервал разрыва [4]. Это позволит проводить шахтный гидроразрыв без использования буровых станков и колонн бурильных труб, что во много раз снизит стоимость работ и повысит надежность оборудования из-за малого числа герметичных соединений в гидравлических линиях. Такое решение отчасти повторяет известную технологию колтюбинга, внедрение которой в практику гидроразрыва сланцев привело к резкому снижению стоимости работ и явилось основой «сланцевой революции». Как и в колтюбинге в предлагаемом решении используются гибкие гидравлические линии, но в отличие от колтюбинга это обычные гибкие рукава высокого давления подача которых в скважину выполняется за счет их буксирования устройством разрыва. Это решение, разработанное ранее авторами, предлагается адаптировать для выполнения шахтного гидроразрыва рабочими жидкостями в смеси с проппантами. Такая задача сформулирована впервые.

2) создание специализированного проппанта низкой плотности для шахтного гидроразрыва на основе дробленного угля и/или алюмосиликатных микросфер из зольных отходов сжигания угля на отечественных ТЭЦ. Создание такого проппанта позволит проводить шахтный гидроразрыв маловязкой жидкостью (например, водой), и закачивать ее вместе с проппантом малопроизводительным насосным оборудованием, адаптированным к шахтным условиям. В отличие от стеклянных микросфер импортного производства алюмосиликатные микросферы выпускаются отечественными производителями и на порядок дешевле. Возможность применения менее прочных алюмосиликатных сфер в шахтном гидроразрыве определяется низкими прочностными свойствами угля, небольшой глубиной залегания пластов и меньшим сжатием трещин вмещающими породами по сравнению с гидроразрывом нефтепродуктивных залежей.

В заключении отметим, что в настоящее время отсутствуют проверенные опытом эффективные и экономически рентабельные технические и методические решения шахтного гидроразрыва с заполнением создаваемых трещин пропантом, ориентированных на использование малопроизводительного насосного оборудования, рабочей жидкости воды и создание в дегазационных скважинах множественных небольших разрывов (трещин) радиусом до 10 м. Разработка и внедрение предлагаемых инновационных решений будет способствовать повышению эффективности предварительной дегазации угольных пластов и использованию метана угольных пластов в химическом синтезе различных материалов, используемых в народном хозяйстве.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект RFMEFI60417X0172).

Литература

1. Рубан А.Д., Артемьев В.Б., Забурдаев В.С., Захаров В.Н., Логинов А.К., Ютяев Е.П. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов. – М.: Изд-во «Горная книга», 2010.
2. Пучков Л.А., Сластинов С.В., Корликов К.С. Извлечение метана из угольных пластов. – М.: МГГУ, 2002.
3. Jeffrey R.G., Boucher C. Sand Propped Hydraulic Fracture Stimulation of Horizontal In-seam Gas Drainage Holes at Dartbrook Coal Mine // In: Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy (Wollongong, February 4–6, 2004). – Wollongong: University of Wollongong, 2004. – P. 169–179.
4. Сердюков С.В., Дегтярева Н.В., Патутин А.В., Шилова Т.В. Технический комплекс для множественного локального гидроразрыва породного массива в необсаженных скважинах / С.В. Сердюков, // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. -2016. -№6. – С.180-186.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ПО ТОМОГРАФИЧЕСКИМ ДАННЫМ

**Назарова Л.А., Захаров В.Н., Шкуратник В.Л.,
Протасов М.И., Назаров Л.А., Николенко П.В.**

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

Введение. Сейсмограммы землетрясений – один из основных источников информации о глубинном строении Земли - используются не только для локализации очагов, но и для реконструкции пространственного

распределения скоростей упругих волн (3D томография). Это позволяет составить представление о структуре и свойствах исследуемого участка литосферы [1]. Неопределенность получаемой информации обусловлена масштабом объекта, сменой фазового состояния среды с глубиной, а также относительным произволом в выборе референтной модели при проведении томографии [2]. При разработке месторождений твердых полезных ископаемых размеры геомеханических объектов составляют первые километры, что существенно уменьшает степень неопределенности и позволяет использовать детерминированные модели для исследования эволюции физических полей и прогноза состояния породного массива при ведении горных работ [3].

На всех шахтах и рудниках функционируют системы микросейсмического мониторинга [4], регистрирующие сигналы акустической эмиссии (АЭ). Интерпретация такой стохастической информации осуществляется, как правило, методами «большой» сейсмологии [5] с привлечением теории длительной прочности и концепции иерархической кластеризации микродефектов [6]. Для этого осуществляется локализации гипоцентров и оценивается энергия динамических событий, промежуточная информация (время t_{kn} первого вступления сигнала k -го источника на n -ом приемнике) в дальнейшем может использоваться в качестве входной информации для томографии, превращая весь породный массив в сенсор, реагирующий на изменение скоростей упругих волн. Построив геомеханическую модель и восстановив распределение скоростей даже на небольшом участке массива, можно оценить параметры этой модели, «отвечающие» за распределение напряжений [7].

В настоящей работе на основе эмпирических зависимостей скоростей продольных волн от напряжений [8] и синтетических данных о временах пробега сигналов, генерированных во внутренних точках среды, реализован такой подход для типичной структуры породного массива при отработке угольного месторождения с субгоризонтальным залеганием пластов.

Лабораторные эксперименты. Исследовалась коллекция из 25 цилиндрических образцов (диаметр 50 мм, высота 100 мм), изготовленных из каменного угля марки Г (Болдыревский пласт шахты им. С.М. Кирова, Кузнецкий угольный бассейн) со следующими свойствами: плотность 1400 кг/м³, пористость 0.035, прочность на одноосное сжатие 15 МПа, коэффициент Пуассона 0.2. Испытания проводились по схеме Кармана на установке трехосного неравнокомпонентного нагружения УДС 65/80, при каждом значении осевого напряжения σ_1 и бокового давления σ_2 ультразвуковым зондированием определялась скорость V продольных волн. С использованием полученного массива данных

$V(\sigma_1, \sigma_2)$ [8] построена эмпирическая зависимость V от среднего напряжения $\sigma=(\sigma_1+2\sigma_2)/3$

$$V(\sigma)=A-B \exp(-\alpha\sigma/\sigma_0), \quad (1)$$

где $A=2698$ м/с, $B=474$ м/с, $\alpha=0.779$, $\sigma_0=10$ МПа. Соотношение (1) выполняется при $\sigma<25$ МПа с ошибкой 0.15%.

Поле напряжений и распределение скоростей в угольном пласте.

Рассмотрим типичную конфигурацию подземного пространства, возникающую при конвейерной выемке угольного пласта субгоризонтального залегания. По технологии, принятой в ОАО «Воркутауголь», шахтное поле разрезается штреками на панели 200×200 м. Природное поле напряжений характеризуется вертикальной σ_V компонентой и коэффициентами бокового отпора q_h, q_H при преобладающем сбросовом геодинамическом режиме $q_h < q_H < 1$ [9].

Напряженно-деформированное состояние породного массива описывается системой, состоящей из:

уравнений равновесия $\sigma_{ij,j} + \rho g \delta_{iz} = 0$; (2)

закона Гука $\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij}$; (3)

соотношений Коши $\varepsilon_{ij} = (u_{i,j} + u_{j,i})/2$, (4)

где (x, y, z) - декартовы координаты (ось z - направлена вертикально вниз), ρ - плотность, g - ускорение свободного падения, λ и μ - параметры Ламе, σ_{ij} и ε_{ij} - компоненты тензоров напряжений и деформаций, u_i - смещения, $(i, j, k = x, y, z)$, $\varepsilon = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}$, δ_{iz} - дельта Кронекера. На границе расчетной области $G = \{0 \leq x \leq X, 0 \leq y \leq Y, Z_1 \leq z \leq Z_2\}$ зададим следующие условия:

$$u_x(0, y, z) = 0, \quad u_y(x, 0, z) = 0, \quad u_z(x, y, Z_2) = 0, \quad (6)$$

$$\sigma_{xx}(X, y, z) = q_h \sigma_V(z), \quad \sigma_{xx}(x, Y, z) = q_H \sigma_V(z), \quad \sigma_z(x, y, Z_1) = \sigma_V(z),$$

всюду на ∂G касательные напряжения – нулевые; $\sigma_V(z) = \rho g z$.

Решение системы (2)-(6) осуществлялось методом конечных элементов по оригинальному коду [10,11], обработка пласта моделировалась методом дополнительных напряжений [11], расчеты проводились при следующих значениях параметров: $X=160$ м, $Y=204$ м, $Z_1=460$ м, $Z_2=544$ м, глубина залегания пласта $Z_3=500$ м, мощность $H=4$ м. Модуль Юнга E , коэффициент Пуассона ν и плотность пород приведены в Таблице.

Таблица. Физические свойства пород

породы	E , ГПа	ν	ρ , кг/м ³
вмещающие	50	0.25	2300
уголь	24	0.20	1500

По найденному полю напряжений и формуле (1) рассчитывалась скорость V в пласте. На рис. 1а в качестве иллюстрации показано распределение V в срединной плоскости пласта $z_m=Z_3+H/2$ при длине очистной выработки 40 м, $q_h=0.4$, $q_H=0.6$. Видно, что в краевых частях скорость V заметно повышена.

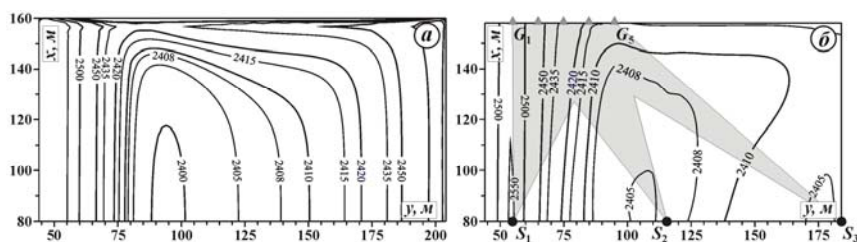


Рис. 1. Скорости волн V (м/с) в пласте (а); система наблюдения ($G_1...G_5$), зоны освещенности и поле скоростей V_T по данным томографии (б).

Распределение скорости упругих волн в пласте по данным томографии. Регламент горных работ ОАО «Воркутауголь» предусматривает установку в боковых штреках выемочного участка 3-5 сейсмоприемников на расстоянии до 10 м в шпурах глубиной 5-6 м (треугольники на рис. 1б), которые переносятся по мере продвижения забоя. Их назначение – регистрация АЭ, селекция «значимых» динамических событий (с энергией выше некоторого эмпирически задаваемого уровня) и формирование из них базы данных [13]. Можно ли восстановить поле скоростей, используя такую информацию?

В качестве примера рассмотрим следующую ситуацию: пусть для представленного на рис. 1а распределения скоростей приемники G_1, \dots, G_5 зарегистрированы произошедшие события с гипоцентрами в пунктах S_1, S_2, S_3 . Используя оригинальные процедуры [14], выполним томографию пласта. На рис. 1б показано найденное поле скоростей V_T : можно видеть, что даже вне освещенной области качество восстановления скорости приемлемое.

Реконструкция напряжений на основе решения обратной задачи. При комбайновой выемке напряжения в окрестности пласта изменяются достаточно быстро. Томография – мобильный инструмент, позволяющий зафиксировать эти изменения. Для того, чтобы найти геомеханические поля, воспользуемся следующим приемом [7]: решим обратную задачу об определении граничных условий по скоростям, известным на некотором участке пласта.

Пусть известна конфигурация объекта, изменяющаяся по мере обработки залежи, и физические свойства пород. Тогда напряженно-деформированное состояние массива определяется только горизонтальными напряжениями во внешнем поле (т.е. коэффициентами q_h и q_H).

Рассмотрим целевые функции

$$\Phi_l(q_h, q_H) = \iint_I [V(x, y, z_m, q_h, q_H) - V_T(x, y)]^2 dx dy,$$

где V_T – поле скоростей в пласте, восстановленное в результате томографии; I – освещенная зона в срединной плоскости пласта; $V(x, y, z_m, q_h, q_H)$ – скорости рассчитанные по (1) и решению (2)-(6) при некоторых значениях q_h и q_H , индекс l соответствует числу источников, лучи от которых использовались при томографии.

На рис. 2а показаны изолинии Φ_3 (нормированы на максимальное значение), построенные по полю скоростей V_T (рис. 1а): квадрат и штриховая линия – начальное приближение и траектория процедуры поиска минимума Φ_3 (использовался модифицированный метод сопряженных градиентов [15]). Можно видеть, что Φ_3 унимодальна, ее минимум (Q_h, Q_H) практически совпадает со значениями коэффициентов бокового отпора, по которым рассчитано поле скоростей в пласте (рис. 1а). Для сравнения на рис. 2б приведены изолинии Φ_1 , построенные по полю скоростей V_T восстановленному с помощью томографии, но с использованием только источника S_1 (рис. 1б). Функция Φ_1 также унимодальная, но ее минимум (Q_h, Q_H) отличен от точного значения

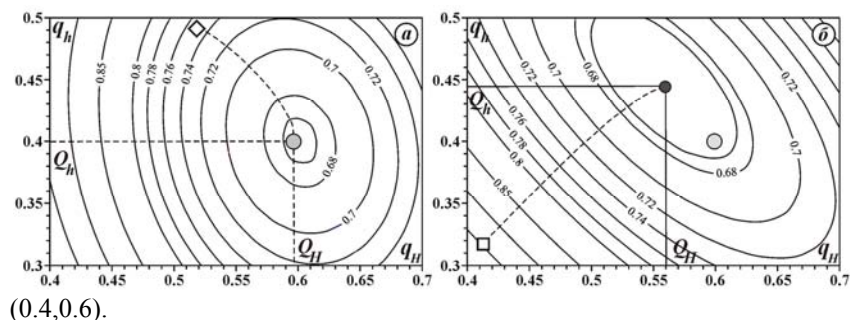


Рис. 2. Линии уровня целевых функций при различном числе использованных «зондирующих источников»: S_1, S_2, S_3 (а); S_1 (б).

Заключение. Предложен интегральный подход к интерпретации микросейсмической информации для реконструкции полей напряжений в углепородных массивах при ведении горных работ. В рамках геомеханической модели исследуемого объекта осуществляется комплексиро-

вание данных лабораторных экспериментов, устанавливающих зависимость скоростей упругих волн в углях от напряжений, и результатов томографии угольного пласта, когда в качестве зондирующих сигналов используются импульсы от динамических событий, энергия которых превышает фоновый уровень. Полученное поле скоростей используется в качестве входных данных для решения обратной задачи определения компонент внешнего поля напряжений. Это позволяет при известной структуре объекта и свойствах пород рассчитывать напряженно-деформированное состояние на каждом этапе обработки и осуществлять мониторинг состояния среды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 16-17-00029).

Литература

1. Lay T., Wallace T.C. Modern Global Seismology. Academic Press, 1995. 517 p.
2. Nolet G. Seismic tomography. Springer, Netherlands, 1987. 391 p.
3. Назаров Л.А., Назарова Л.А., Ярославцев А.Ф. и др. Эволюция геомеханических полей и техногенная сейсмичность при отработке месторождений полезных ископаемых // ФТПРПИ. 2011. № 6. С. 6-13.
4. Zhenbi L., Baiting Zh. Microseism Monitoring System for Coal and Gas Outburst // Int. J. Computer Science Issues. 2012. Vol. 9. Issue 5. N. 1.
5. Aki K., Richards P.G. Quantitative Seismology. University Science Books, 2002. 685 p.
6. Gor A.Y., Kuksenko, V.S., Tomilin N.G. et al. Soviet Mining Science. 1989. V. 25. P. 237-242.
7. Назаров Л.А., Назарова Л.А., Роменский Е.И., Чеверда В.А., Эпов М.И. Акустический метод определения напряжений в массиве горных пород на основе решения обратной задачи // Доклады Академии наук. 2016. Т. 466. № 6. С. 718-722.
8. Шкуратник В.Л., Николенко П.В., Кошелев А.Е. Зависимость скорости распространения и амплитуды продольных упругих волн от напряжений при различных режимах нагружения образцов каменного угля // ФТПРПИ. 2016. № 5. С. 48-53.
9. <http://dc-app3-14.gfz-potsdam.de>
10. Назарова Л.А., Назаров Л.А., Козлова М.П. Роль дилатансии в формировании и эволюции зон дезинтеграции в окрестности неоднородностей в породном массиве // ФТПРПИ. 2009. № 5. С. 3-12.
11. Дядьков П.Г., Назаров Л.А., Назарова Л.А. Численное моделирование напряженного состояния земной коры и условий возникновения динамической неустойчивости сейсмоактивных разломов при рифтогенезе // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 12. С. 2001-2010.
12. Zienkiewicz O.C. The Finite Element Method in Engineering Science. McGraw Hill, London, 1971. 521 p.

13. Захаров В.Н. Сейсмоакустическое прогнозирование и контроль состояния и свойств горных пород при разработке угольных месторождений. М.: ИГД им. А.А.Скочинского, 2002. 172 с.

14. Назарова Л.А., Назаров Л.А., Протасов М.И. Реконструкция объемных полей напряжений в углепородном массиве на основе решения обратной задачи по томографическим данным // ФТПРПИ. 2016. № 4. С. 12-21.

15. Назаров Л.А., Назарова Л.А., Карчевский А.Л., Панов А.В. Оценка напряжений и деформационных свойств породных массивов на основе решения обратной задачи по данным измерений смещений на свободных границах // Сибирский журнал индустриальной математики. 2012. Т. 15. № 4. С.102-109.

КОМПЛЕКСНЫЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В РОБОТИЗИРОВАННЫХ ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ*

Асилова К.Е.

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

Ухудшение горно-геологических и горнотехнических условий освоения месторождений твердых полезных ископаемых требует применения инновационных технологий для повышения эффективности горного производства и обеспечения экологической безопасности. Одним из перспективных направлений является создание роботизированных горнотехнических систем, внедрение интеллектуальной горнотранспортной техники, работающей в автономном режиме, позволяющей частично или полностью исключить присутствие человека в опасных зонах ведения горных работ, зонах интенсивного деформирования пород, с неблагоприятными условиями окружающей среды: загазованностью, повышенным радиационным фоном, низким содержанием кислорода или давления атмосферы [1-3].

Внедрение геотехнологий с интеллектуальным режимом управления позволяет качественно оптимизировать параметры горнотехнических систем при максимально допустимом уровне риска [4]. Увеличиваются значения высоты и угла откоса уступов, уменьшается ширина рабочей площадки с учетом габаритных размеров применяемого роботизированного оборудования, допусков систем позиционирования и исключения резервных элементов безопасности. Повышается эффективность освоения запасов и сокращается срок эксплуатации месторождения в целом.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-37-00050

При этом основным требованием к работе техники без непосредственного присутствия человека в рабочей зоне, ввиду изменения параметров конструктивных элементов и, как следствие, роста уровня рисков, является непрерывный оперативный мониторинг состояния горного массива. Основные задачи мониторинга состояния горного массива: обеспечение безопасных условий ведения горных работ; заблаговременное предупреждение о наличии потенциально неустойчивых зон для возможности изменения плана горных работ с целью минимизации влияния смещения пород; сбор геомеханической информации для анализа механизмов развивающихся нарушений устойчивости, разработки планов корректирующих мероприятий; оценка устойчивости геомеханической системы в целом [5].

Перспективным является использование интеллектуальных технологий геомеханического мониторинга состояния горного массива, распространение которой идет активными темпами.

При использовании георадаров появляется возможность быстрого набора больших объемов данных по объекту большой площади [6]. Георадар в режиме реального времени, выявив предельные значения скоростей развития деформаций, сигналом тревоги заблаговременно предупреждает персонал предприятия о возможности возникновения на данном участке горных работ опасных сдвигов. Такие системы оповещения радара стали основой для структуры мероприятий по эвакуации персонала и техники. Уже осуществили успешное внедрение использования георадаров для наблюдения за деформациями такие крупные российские предприятия, как «Березитовый рудник» - компании Nordgold, «Карьер Восточный» - АО «ПОЛЮС», АО ХК «СДС-Уголь» [7].

Для повышения качества прогноза необходимо установить закономерности и механизм развития деформационных процессов в рассматриваемых горно-геологических условиях и определить характерные области контроля смещений массива. Определение вероятности обрушения борта осуществляется по динамике изменения скоростей развития деформаций массива, рост которых свидетельствует о предстоящих обрушениях.

Как показывает статистика использования георадарного мониторинга, до 50% тревог не подтверждаются. Горнотранспортное оборудование выводится из рабочей зоны, работы останавливаются, предприятие несет убытки.

Для повышения качества прогноза развития деформационных процессов и снижения экономических издержек за счет остановки горных работ, вывода и простоя техники, необходимо внедрять комплексный геомеханический мониторинг, включающий, помимо наблюдений за сдвижениями поверхности выбранной зоны, контроль напряженно-деформированного состояния массива горных пород, поскольку сдвижения начи-

наются именно в массиве. Причем эти методы должны быть интегрированы в единый комплекс безопасности горнотехнической системы.

Наряду с радарным мониторингом поверхности предусмотрено осуществлять скважинные наблюдения за потенциальной поверхностью скольжения и напряженно-деформированным состоянием массива горных пород в окрестностях этой поверхности, от которого зависит устойчивость уступов и бортов карьера [8,9]. Анализ динамики геомеханического состояния массива горных пород в окрестностях этой поверхности необходим для своевременного обнаружения признаков, предшествующих возникновению аварийных ситуаций. В зонах, недоступных для прямых маркшейдерских наблюдений, целесообразно применять дистанционные методы измерений деформаций массива горных пород через специально пробуренные наклонные скважины.

Для создания новых экологически сбалансированных геотехнологий в ИПКОН РАН создана лаборатория ЭКОН, которая оснащена оборудованием, позволяющим осуществлять оперативный скважинный мониторинг состояния породного массива, оценивать его структурную нарушенность, динамику его деформирования и регистрировать процессы сдвига непосредственно массива горных пород [10-12]. По установленным в скважинах датчикам с применением дистанционно управляемого оборудования видеофиксации определяются величины смещений наблюдаемых точек, их направления и скорости, которые сопоставляются с предельными для данных условий значениями.

Создаваемая в рамках выполнения гранта РФФИ № 14-37-00050 [13] интегрированная горнотехническая система сблокирована с единой системой безопасности и предусматривает вывод либо недопущение в потенциально опасные зоны автономного горнотранспортного оборудования по результатам комплексного геомеханического мониторинга

Таким образом, создание системы комплексного учета в программном режиме данных радарного мониторинга и результатов наблюдений за состоянием породного массива повышает точность прогноза развития критических скоростей смещения массива, позволяет корректно прогнозировать развитие деформационных процессов для своевременного вывода горнотранспортного оборудования из потенциально опасных зон, что особенно актуально при внедрении роботизированных горнотехнических систем.

Литература

1. Трубецкой К.Н. Технологии управления горными работами в карьерах: перспективы развития / Горный журнал. – 2013. – № 7. С. 4-6.
2. Рыльникова М.В., Владимиров Д.Я., Пыталев И.А., Попова Т.М. Роботизированные геотехнологии как путь повышения эффективности и экологизации освоения недр / Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2017. – № 1. С. 92-101.

3. Клебанов А.Ф. Развитие принципов формирования интегрированной информационной системы и ее взаимодействие с управляющей системой диспетчеризации «Карьер» / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 10. С. 314-320.
4. Баскаков В.П., Клебанов А.Ф., Перепелицын А.И., Якимов М.Н. Многофункциональные системы безопасности для открытых горных работ / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S7. С. 276-279.
5. Руководство по проектированию бортов карьеров. Под редакцией Дж. Рида, П. Стейси. / Полиметалл. – 2016.
6. Вопросы подповерхностной радиолокации / Коллективная монография // Под ред. Гринева А. Ю. — М.: Радиотехника. – 2005.-416с.
7. Макеев М.А. Инновации на службе промышленной безопасности: Опыт использования передовых радарных систем контроля устойчивости бортов карьеров – Reutech на предприятиях РФ / Горная промышленность. – №2. С.40-41.
8. Патент на изобретение №2583032 «Внутрискважинный способ определения зон повреждения горных пород» Приоритет 31.03.2015. Оpubл. 27.04.2016 Бюл. № 12.
9. Патент на изобретение №2598009 «Внутрискважинный способ определения направления действия и значений главных напряжений» Приоритет 09.07.2015. Оpubл. 20.09.2016 Бюл. № 26.
10. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Создание в России научного центра по изучению экологически сбалансированного цикла комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых / Горный журнал. 2014. – № 12. С. 4-7.
11. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Научно-методические основы проектирования экологически сбалансированного цикла комплексного освоения и сохранения недр Земли / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. № S4-2. С. 5-11.
12. 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.
13. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Научно-методические основы проектирования экологически сбалансированного цикла комплексного освоения и сохранения недр Земли / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S4-2. С. 5-11.

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИНЕРАЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ

Ромашев А.О., Потемкин В.А., Хасенов А.М.

Санкт-Петербургский горный университет

На процессы сепарации, в значительной мере, оказывает влияние среда в которой происходит разделение, в частности ее реологические свойства. Один из наиболее значимых реологических параметров среды это – вязкость, которая, в свою очередь определяется касательным напряжением

сдвига. На ключевую роль вязкости в процессах сепарации указывали многие известные исследователи. Например, в [1] авторами указывалось, что углеводороды, имеющие различный состав, структуру и величину молекул, с увеличением вязкости усиливают гидрофобизационные свойства минерала. Поваров А.И. отмечал, что с увеличением вязкости среды общая производительность гидроциклона возрастает, а также вязкость среды влияет также и на распределение объемов жидкости (или суспензии), уходящих через песковое или сливное отверстие [2]. Бертом Р.О. [3] было отмечено о важности инициализации реологических свойств, в частности было отмечено, что обычно измеряют кажущуюся вязкость суспензии при некоторой скорости сдвига и рассчитывают конечную скорость рудной частицы из этого значения вязкости, однако это может быть неправильным для неньютоновских жидкостей, для которых вязкость не является простой функцией и с точки зрения процесса важно, чтобы вязкость, испытываемая частицей в условиях процесса, была известна. В связи с этим инициализация и моделирование вязкости минеральных суспензий является важной задачей способствующей интенсификации процесса разделения.

В большинстве все используемы среды представляют собой структурированные (неньютоновские) жидкости касательное напряжение сдвига которых определяется согласно закону Шведова-Бингама. Однако, установлено, что в области малых касательных напряжений сдвига зависимость имеет нелинейный вид, что не учитывается в названной модели и этот сложный для моделирования участок заменяется экстраполяцией прямолинейной части графика на нулевую скорость сдвига (рис. 1).

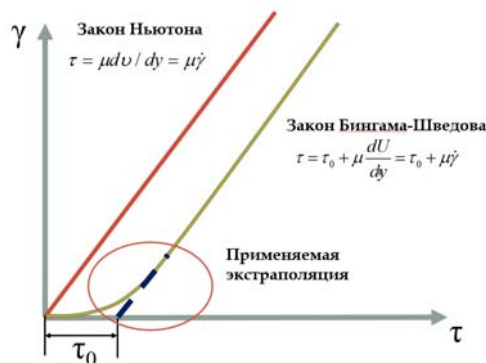


Рис. 1. Применяемые законы моделирования

Исследованиями, проведенными на различных суспензиях было установлено, зависимость напряжения от скорости сдвига, более точно может быть описана комплексной трехкомпонентной моделью:

$$\tau = A_1 e^{-\alpha_1 \dot{\gamma}} + A_2 e^{-\alpha_2 \dot{\gamma}} + \mu_m \dot{\gamma},$$

где A_1, A_2, α_1 и α_2 – реологические коэффициенты, $\dot{\gamma}$ – градиент сдвига, с^{-1} , μ_m – коэффициент динамической вязкости.

Неизвестных коэффициентов A_1, A_2, α_1 и α_2 в реологическом уравнении требуется определение двух характерных для экспериментальной кривой точек. Более подробно алгоритм приведен в работе [4]. В качестве примера, графическое изображение результатов расчета приведено на рис. 2. Из рисунка видно, что все экспериментальные точки находятся в пределах 5 % погрешности (пунктирные линии), что говорит о высокой точности моделирования.

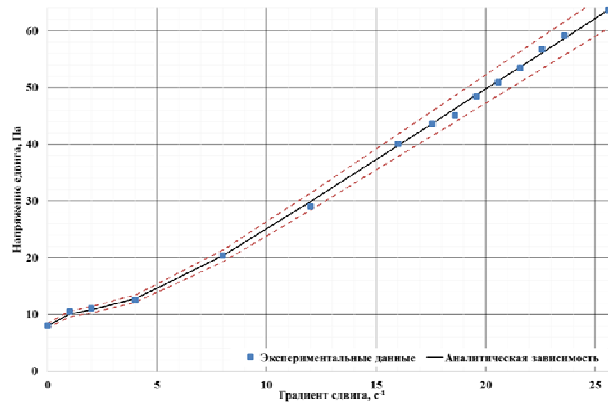


Рис.2. Экспериментальные точки и расчетная реологическая кривая

Предложенный подход был реализован в программном пакете Ansys Fluent. Первым этапом решения поставленной задачи являлось создание геометрической модели исследуемого объекта – в виде сегмента трубопровода и создание расчётной сетки в объёме расчётной области в приложении, входящем в состав ANSYS Workbench – ANSYS Meshing (рис. 3).

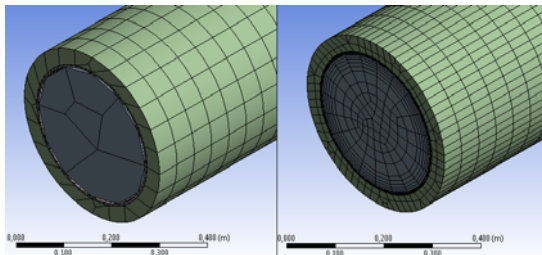


Рис. 3. Качество расчётной сетки: до (слева) и после (справа) повышения точности

При моделировании использовался метод Non-Newtonian Power Law (NNFPL) который отличается более детальным подходом. Результаты моделирования приведены на рис. 4.

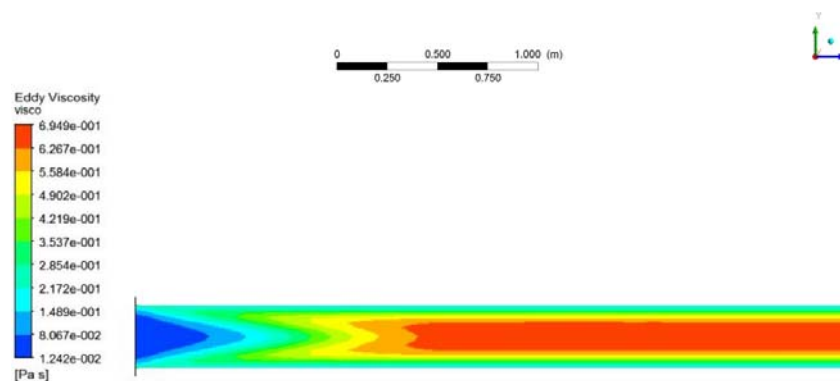


Рис. 4. Распределение значений динамической вязкости в потоке

В результате выполнения работы предложена комплексная модель для моделирования реологических свойств минеральных суспензий. Сопоставление расчётных и экспериментальных данных подтверждает правильность предложенного подхода к моделированию реологических параметров. Предложенный подход к моделированию был реализован Ansys. Визуализация расчётов позволяет более точно проследить за изменением вязкости в процессе движения по трубопроводу. Предложенный подход может быть использован при совершенствовании обогатительных аппаратов и позволяет более полно понять и управлять потоком суспензии.

Научный руководитель работы: д.т.н., проф. РАН, зав. каф. ОПИ Горного университета Александрова Татьяна Николаевна

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований № 16-05-00460 /16.

Литература

1. Глембоцкий В.А. Флотационные методы обогащения: [Текст]: учебник для ВУЗов/В.А. Глембоцкий, В.И. Классен. М.: Недра, 1981. С. 120.
2. Поваров А. И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках // М.: Недра, 1978. -267 с.
3. Берт Р.О. Технология гравитационного обогащения. М.: Недра. – 1990. – 574 с.
4. Александрова Т.Н., Ромашев А.О., Александров А.В. About modeling of rheological properties of heavy oil suspensions // Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry, № 5. С. 68-70.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ БУРЕНИЯ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН В ПОЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Тимонин В.В., Кокоулин Д.И., Кубанычбек Б., Алексеев С.Е.

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

При проходке скважин в условиях угольных шахт, как по углю, так и по породам часто возникает ряд проблем, снижающих эффективность работы бурового оборудования. К этим проблемам относятся: недостаточная глубина проходки скважин, величина которых часто не соответствует рекомендованной технической характеристикой буровых станков; не обеспеченность прямолинейно направленной проходки скважин, что уводит их от заданного направления и низкая долговечность бурового инструмента при проходке скважин по крепким породам. В ИГД СО РАН проведены исследования, позволившие устранить или уменьшить влияние указанных проблем на эффективность работы в этой области.

При рассмотрении проблемы, связанной с недостаточной глубиной проходки скважин, было установлено, что более 90% мощности буровых станков затрачивается на преодоление сил сопротивления перемещению бурового става по скважине. Это объясняется следующим. При бурении штанга находится под воздействием крутящего момента, продольных сжимающих усилий и центробежных сил, стремящихся отклонить её к стенкам скважин. Под действием этих сил буровой став принимает форму винтовой спирали переменного шага с уменьшением его по направлению от забоя к устью скважины (рис.1). В случае прилегания витков спирали к стенкам скважины возникает общая сила сопротивления продольному перемещению бурового става и его вращению.

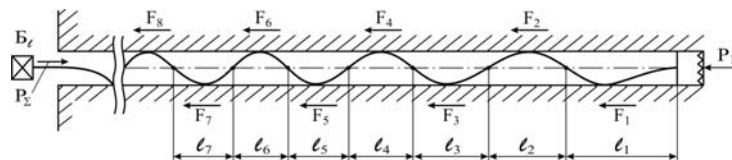


Рис.1. Форма изгиба бурового става под воздействием осевых нагрузок

Полуволны l спирали, образованные буровым ставом, прижимаются к стенкам скважин. При этом возникают силы трения, которые препятствуют как вращению става, так и его перемещению в сторону забоя.

Проведенные в ИГД СО РАН аналитические и экспериментальные исследования позволили установить зависимости изменения усилия подачи

$P = f(L)$ и момента вращения $M = f(L)$ бурового става от глубины скважины (Рис.2) [1].

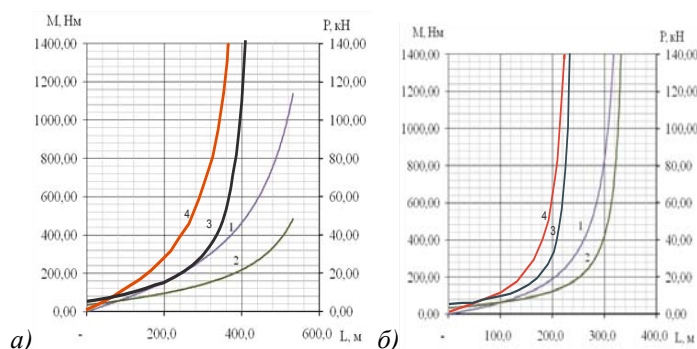


Рис. 2. Зависимости $M=f(L)$ (1,4) и $P=f(L)$ (2,3) при бурении скважин $\Phi 76$ мм по углю и породе буровым ставом 42Ч3,5 мм (а) и 50Ч5,5 мм (б) при $\mu=1,5$ (1,2); $\mu=6$ (3,4)

Анализ зависимостей показывает, что глубина проходимой скважины, помимо силовых параметров бурового станка, зависит от: крепости обуриваемой среды, момента инерции штанг бурового става и соотношения диаметров бурового става и диаметра скважины.

Таким образом, используя результаты исследований ИГД СО РАН можно прогнозировать возможную глубину и скорость прохождения скважины по горному массиву любой крепости опираясь на возможности имеющегося в наличии бурового оборудования.

В промышленной практике в процессе проходки глубоких скважин встречаются случаи их отклонения от заданного направления. Довольно часто скважины не попадают в нужную выработку, что приводит к их потере. Это объясняется тем, что в применяемом буровом оборудовании используется, как правило, вращательный способ бурения. При таком способе бурения, в процессе проходки скважины с использованием в качестве бурового инструмента буровых головок или шарошек, возникают значительные осевые и крутильные силы на буровом ставе со стороны бурового станка. Эти силы способствуют возникновению поперечных сил, что приводит к отклонению скважины от заданного направления.

Известен способ проходки скважин методом вращательно-ударного бурения с использованием погружных пневмоударников. В этом случае разрушение горного массива происходит как за счет удара, осуществляемого ударником непосредственно у забоя скважины так и за счет резания вращающейся коронкой. В сравнении с другими способами бурения данный способ допускает минимальные усилия прижатия бурового снаряда к забою, малое число оборотов и незначительный крутящий момент, передаваемый ставу. Это позволяет свести к минимуму искривление бурового става и обеспечить более прямолинейное бурение [2,3]. В ИГД СО РАН был спроектирован малогабаритный пневмоударник ПНБ-76 [4,5] (рис.3).



Рис. 3. Опытный образец пневмоударника ПНБ76 с коронкой КНБ76

Параметры пневмоударника ПНБ76

Диаметр буримой скважины, мм	76
Диаметр корпуса, мм	63.5
Рабочее давление, МПа	0.6
Энергия удара, Дж	60
Частота ударов, мин ⁻¹	1500
Масса ударника, кг	1,45

Промышленные испытания проводились в сочетании со станком СБР400 в подземных условиях ООО «шахта Березовская». Проходила техническая скважина, предназначенная для спуска воды с верхнего горизонта на нижележащий штрек по породе крепостью 10-12 единиц по шкале проф. М.М. Протодьяконова. Источником энергии пневмоударника служил дизельный компрессор, выполненный во взрывобезопасном исполнении. Развиваемое им давление сжатого воздуха составляло 0,4 МПа при производительности 6,0 м³/с. Скорость бурения составила 100 мм/мин. Станок СБР 400 работал в щадящем режиме. Величине вращающего момента на буровом ставе не превышала 300 Нм, а усилие подачи его на забой не более 300 кг. Это говорит о том, что основные функции бурения при проходке скважины осуществлялись пневмоударником, тем самым, уменьшая вредные влияния больших моментов вращения, способствующих отклонению бурового става от заданного направления. За время работы с использованием пневмоударника техническая скважина между выработками была пробурена. Ее длина составила 40 метров, при этом ее траектория сохранила заданное направление.



Рис. 4. Коронка с опережающим лезвием

Одновременно с созданием пневмоударника в ИГД СО РАН разработана конструкция коронки с опережающими лезвиями (рис.4). Такая конструкция коронки обеспечивает удобство при забурировании, а также создает в центре образующейся скважины дополнительную обнаженную поверхность, что облегчает процесс разрушения забоя [6].

В настоящее время в ИГД СО РАН ведутся работы по подготовке бурового оборудования для продолжения экспериментальных работ в промышленных условиях.

Литература

1 Клишин В.И., Кокоулин Д.И., Кубанычбек Б., Гуртенко А.П. Станок для бурения разведочных дегазационных и технических скважин СБР400. [Текст] / Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых 2010, №4, С.50-53.

2. Алексеев С.Е., Тимонин В.В., Кокоулин Д.И., Шахторин И.О., Кубанычбек Б. Создание малогабаритного погружного пневмоударника для проходки исследовательских скважин /Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2015. – № 2. С. 187-193.

3. В.В. Тимонин, Д.И. Кокоулин, С.Е. Алексеев, Б. Кубанычбек. Средства прямолинейно направленного бурения в условиях угольных шахт / Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2016, № 3, т. 2, С. 168-171.

4. Repin A.A., Alekseev S.E., Timonin V.V., Karpov V. N. Analysis of the compressed air distribution in down-the-hole / Reports of the XXIII international scientific symposium «MINER'S WEEK – 2015», 26-30 January, 2015, pp.475-482.

5. Тимонин В.В., Кокоулин Д.И., Алексеев С.Е., Кубанычбек Б. Опыт проходки прямолинейно направленных скважин в условиях шахты Березовская. / Горное оборудование и электро механика. – 2017, № 4, С. 3-7.

6. Клишин В.И., Тимонон В.В., Кокоулин Д.И., Алексеев С.Е., Кубанычбек Б. Повышение мощности погружного пневмоударника прямолинейно направленного бурения. /Научно-технические проблемы разработки и использования минеральных ресурсов. / Научно-технические проблемы разработки и использования минеральных ресурсов. – 2017. С. 173-177.

РАСПОЗНАВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Герике Б.Л., Мокрушев А.А.

*Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,
г. Кемерово, Россия*

Аннотация. В статье рассмотрен подход к распознаванию дефектов подшипников качения, используемых в различных узлах и агрегатах горных машин и оборудования на основе вейвлет преобразования виброакустиче-

ских сигналов, генерируемых различными дефектами, возникающих в опорных элементах приводных, преобразующих и исполнительных механизмов горношахтного оборудования. Приведена классификация существующих методов диагностики технического состояния подшипников качения. Рассмотрены достоинства и недостатки этих методов. Построена модель формирования ударных импульсов при возникновении дефектов и показана возможность применения вейвлет преобразований для распознавания технического состояния.

Ключевые слова: Подшипник качения, дефект, виброакустический сигнал, техническое состояние, горные машины.

В настоящее время роль диагностики технического состояния горных машин и оборудования постоянно растет [1]. Основные проблемы механических неисправностей горношахтного оборудования приводят, как правило, к возникновению проблем функционирования опорных элементов во всевозможных приводных, преобразующих и исполнительных механизмах – подшипников качения.

Существуют следующие повреждения подшипников качения [2, 3]:

- износ
- вмятины
- задиры
- поверхностные разрушения.
- атмосферная коррозия
- прохождение электрического тока через подшипник.

Существующие методы анализа технического состояния подшипников качения [4-6] в очень редких случаях позволяют диагностировать с достаточной точностью их неисправность, поскольку использование прямого спектрального анализа виброакустического сигнала для распознавания дефектов подшипников качения затруднено из-за малых амплитуд этих частотных составляющих, теряющихся на фоне «коврового шума».

В 70-х годах 20-го века появились, так называемые, вейвлет-методы (методы всплесков). На вейвлет-функцию накладываются два ограничения:

- она должна быть достаточно локализована (обращаться в ноль при удалении от начала координат);
- интеграл от функции на $(-\infty; +\infty)$ должен быть равен нулю.

Само вейвлет преобразование выглядит следующим образом

$$W_{\psi} f(a, b) = \frac{1}{C_{\psi}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{|a|} \psi\left(\frac{b-x}{a}\right) f(x) dx. \quad (1)$$

где Ψ – вейвлет функция, b – масштаб, b – сдвиг.

Нормирующий коэффициент равен

$$C_{\Psi} = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty, \quad (2)$$

где $\Psi(\omega)$ – Фурье образ вейвлета Ψ .

Свобода в выборе базисных функций $\Psi\left(\frac{b-x}{a}\right)$ позволила ввести многие типы вейвлетов: Хаара, Добеши, Гаусса, Морле и др.

По своей сути вейвлет-преобразование представляет собой представление сигнала в виде одинаковых по форме коротких «всплесков», которые можно сдвигать и растягивать по временной оси [7].

Помимо рассмотренного выше непрерывного вейвлет-преобразования, существует дискретное преобразование, в котором имеет место процесс фильтрации. Благодаря этому возникает два таких понятия как аппроксимация (приближение) и детали. Аппроксимация представляет собой высоко-смашированные высокочастотные компоненты, детали – это низко-смашированные высокочастотные компоненты. В итоге получается, что первоначальный сигнал разбивается на два сигнала, дополняющих друг друга, что даёт в два раза больше данных о первоначальном сигнале. По сравнению с разложением сигналов на ряды Фурье, вейвлеты обладают способностью представлять локальные особенности сигналов с большей степенью точности и решать проблемы выявления дефектов оборудования более точным, комплексным способом [8, 9, 10].

Таким образом, вейвлет-функция обладает, необходимыми свойствами для решения поставленной выше задачи. Например, эволюция частот импульса во времени (рис. 1) построена при помощи модифицированного вейвлет преобразования Хаара, большим преимуществом этого метода является его локальность.

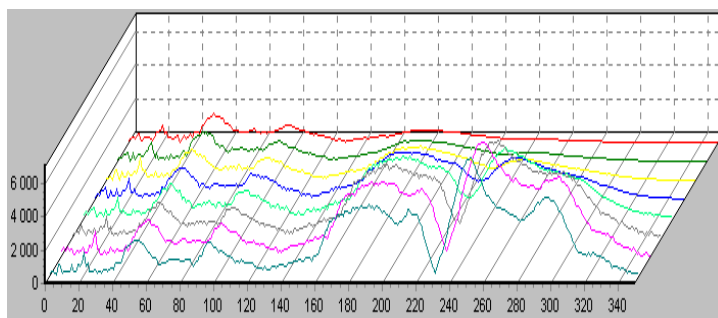


Рис. 1. Эволюция частот импульса во времени

С использованием прогностической модели на основе статистических результатов вибродиагностики, появляется возможность в достаточной мере точно оценить исследуемую неисправность, а также спрогнозировать остаточный ресурс узла или агрегата и осуществлять эффективное планирование ремонтных работ, предупреждение возникновения аварийных отказов. В итоге предложенное решение позволит минимизировать издержки, связанные с внезапным выходом из строя подшипников качения, оптимизировать логистику и складское хозяйство.

Литература

1. Герике Б.Л., Хорешок А.А., Дрозденко Ю.В. Обеспечение качества выпускаемой продукции заводов горного машиностроения. // Вестник КузГТУ. № 5, 2016. – С. 33 – 40.
2. Диагностика неполадок подшипников. / NSK Motion & Control, 2009. – 42 p.
3. Повреждения подшипников качения и их причины. / SKF AB, 2002. – 46 p.
4. Ширман А.Р., Соловьев А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. // М.: 1996 г. – 276 с.
5. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 1: В.И. Иванов, И.Э. Власов. Метод акустической эмиссии. Кн. 2: Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. Вибродиагностика. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 829 с.
6. Rudloff L., Arghir M., Bonneau O., Guingo S., Chemla G., Renard E. Experimental Analysis of the Dynamic Characteristics of A Hybrid Aero-static Bearing. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, vol. 134 (18). – 2012.
7. Kelly, S. Graham. Advanced vibration analysis. 2013. – 637 p. — (Dekker mechanical engineering).
8. Шебалин О. Д. Физические основы механики и акустики. – М.: Высшая школа, 1981. с. 184.
9. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. // Успехи физических наук, 1996, т.166, № 11. – С. 1145-1170.
10. Витязев В.В. Вейвлет-анализ временных рядов: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2001. – 58 с..

**ЭФФЕКТИВНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПОДЗЕМНОГО
ПОДВЕСНОГО МОНОРЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА
В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ И 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.
ООО «РивальСИТ»

Буялич Г.Д.
КузГТУ, ФИЦ УУХ СО РАН

ООО «РивальСИТ» занимается научными изысканиями, разработкой импортозамещающих инновационных технологий, модернизацией действующих технологий, и коммерциализацией их результатов на рынке Российской Федерации.

Пилотные проекты организации включают ряд актуальных тем, которые направлены на **повышение безопасности, производительности и эффективности труда**, могут дать дополнительно доход от внедрения собственникам Кузбасса и России по подземной добычи твердого полезного ископаемого, сотни млрд. рублей, **предотвратят катастрофические и техногенные явления в процессах горного производства, а главное – сохраняют жизни шахтеров**. В условиях жесткой конкуренции на мировом рынке, необходимо наладить модернизацию имеющегося горношахтного оборудования. Продукция должна быть рентабельна.

Проекты кратко представлены ниже

1. Инновационная технология, влияющая на эффективность работы подвешенного монорельсового транспорта в горных выработках

Аннотация проекта: Проект обоснован двумя патентами на **изобретение РФ**. В инновационной технологии учитывается центр тяжести груза с применением спаренного полиспаста. При подъеме и перемещении груза по горной выработке образуется планетарный механизм[1, 2].

Технология в добывающей промышленности относится к средствам механизации погрузочных, транспортных и разгрузочных работ при ведении монтажа-демонтажа как горного оборудования, так и лавного конвейера в подземных условиях, строповка и транспортировка (перемещение) линейных секций лавного конвейера (рештаков) одновременно вместе с цепью по горным выработкам. Технический результат дос-

тигается тем, что при ведении монтажно-демонтажных работ используют спаренный способ четырех гидроподъемников соединенных тросами, строповки и транспортировки (перемещения) вместо трех линейных секций лавного конвейера (рештаков) пятнадцати линейных секций лавного конвейера (рештаков) за одно перемещение вместе с рабочей верхней и возвратной нижней цепью и скребками.

Актуальность: Проект направлен на решение актуальной проблемы повышения производительности и безопасности труда. В настоящее время подъем и перемещение груза по горным выработкам монорельсовым транспортом с гидроподъемниками происходит следующим образом: массу груза распределяют по кареткам монорельсовой балки в восьми точках, в этом случае груз не поднимают, а подвешивают, с которым нельзя производить никаких перемещений, транспортировку. Качение в роликоопорах отсутствует, происходит только волочение всей подвесной системы по монорельсовой балке тяговой установкой с помощью дизелевоза, груз, подвешенный ниже балки, выполняет роль плуга. Осуществляется прямолинейное движение – волочение + плужение, где 50% производительности тяговой силы установки (дизелевоза) затрачивается на плужение. Соответственно, отрицательные последствия: прогиб балки, износ, отрыв анкерной системы, интенсивный износ вулканов (приводных колес гидродвигателей), выход из строя стрелочных переводов, не рациональное повышение металлоемкости самой балки и тому подобное.

Инновационная технология предлагает всю массу груза сконцентрировать в одной точке высоко в кровле, а не на каретках монорельсовой балки, груз поднимается в пространстве и вся силовая составляющая приходит в одну точку, в этом случае груз возможно перемещать. Технология требует модернизировать сами гидроподъемники, которая заключается в изготовлении навесного оборудования.

В настоящее время перевозят одним локомотивом и двумя гидроподъемниками одну единицу груза, при монтаже/демонтаже линейных секций лавного конвейера одним локомотивом и двумя гидроподъемниками перевозят три линейных секции лавного конвейера.

При эксплуатации по инновационной технологии одним локомотивом и двумя гидроподъемниками будет перемещаться две единицы груза (каждый гидроподъемник), увеличивается производительность в два раза (200%), и 15 линейных секций лавного конвейера, увеличивается производительность в пять раз (500%). Груз поднимать с учетом центра тяжести, при которой взаимодействие всех подвижных тел подвижной системы можно сравнить условно с планетарным механизмом. **Актуально для шахт Кузбасса и России.**

Цели проекта: Безопасность и эффективность труда, экономия финансовых средств.

Решаемые проектом задачи: повышает эффективность операций по перемещению грузов по горной выработке; **в 12 раз уменьшает нагрузку на стропы, соответственно и на все механизмы гидроподъемника;** в 5 раз увеличивает производительность монтажа-демонтажа лавного конвейера по горным выработкам на монорельсовом транспорте; позволяет в два раза увеличить поток грузооборота по горным выработкам на монорельсовом транспорте; снизить минимум на 50 % затраты на ремонт дизельного парка и ремонт горных выработок; уменьшить расходы при работе со сторонними организациями связанные с ремонтом дизельного оборудования; сократить время монтажа-демонтажа механизированных комплексов; позволяет получать дополнительные доходы; способствует увеличению добычи полезного ископаемого; повышает срок эксплуатации дизель-гидравлических локомотивов и навесного оборудования; снижает себестоимость 1т добычи твердого полезного ископаемого; снижается металлоемкость, трудоемкость; снижает показатель износа оборудования, повышает время срока эксплуатации оборудования и механизмов; повышает безопасность труда, сохраняет жизни людей; позволяет поднимать груз с учетом центра тяжести, при которой взаимодействие всех подвижных тел подвижной системы можно сравнить условно с планетарным механизмом; не требует дополнительных конструктивных изменений в конструкции гидравлических подъемников и дизелевозов; позволяет перемещать более тяжелые грузы и увеличивать число перевозимых единиц груза одним локомотивом; повышает эффективность операций по перемещению секций лавного конвейера по горной выработке; снижает трудоемкость; снижает показатель износа оборудования, повышает время срока эксплуатации оборудования и механизмов.

Окупаемость проекта: менее одного года.

2. Новый тип секции механизированной крепи (СМК): подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в капсуле термодинамического баланса

Аннотация проекта: Проект обоснован 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). **Фундаментально меняет работу СМК.**

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 – производить 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.

Актуальность: Актуально для шахт Кузбасса и России.

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 1т добычи твердого полезного ископаемого и металлоемкость секции механизированной крепи, увеличить в несколько раз производительность труда и добычу твердого полезного ископаемого, обеспечить высокую безопасность труда[3].

Колоссальную энергию, заключенную в капсуле термодинамического баланса использовать в работе СМК.

Цели проекта: 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 проектом 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 воз-

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 1т 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.

Основные результаты и конкурентоспособность:

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 проекта:** при модернизации действующих СМК окупаемость менее одного года. В среднесрочном будущем наладить производство выпуска отечественных новых СМК по технологии ООО «РивальСИТ».

Литература

1. Патент 2333880 РФ: МПК В66С 1/12 (2006.01). Способ строповки грузов в горной выработке / Тарасов В.М., Тарасова А.В., Тарасов Д.В.; патентообладатель Тарасов В.М. — №2007130250/11; заявл. 07.08.2007; опубл. 20.09.2008, Бюллетень №26. — 10 с.
2. Патент 2480396 РФ: МПК В66С 1/12 (2006.01). Монтажно-демонтажный способ строповки и транспортировки лавного конвейера в горной выработке/ Тарасов В.М., Тарасова А.В., Тарасов Д.В. Тарасова Н.И.; патентообладатели Тарасов В. М., Общество с ограниченной ответственностью

«Ривальс Современные Инновационные Технологии» (ООО «РивальСИТ» — № 2011148728/11; заявл. 29.11.2011; опубл. 27.04.2013, Бюллетень №12 — 10 с.

3. 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..

УПРАВЛЕНИЕ ТРУДНООБРУШАЮЩИМИСЯ КРОВЛЯМИ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ МЕТОДОМ НАПРАВЛЕННОГО ГИДРОРАЗРЫВА

Сажин П.В.

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

Одной из основных проблем при подземной разработке угольных месторождений в Кузбассе является присутствие в большинстве шахт труднообрушающихся кровель, которые создают повышенное горное давление на секции механизированной крепи, особенно при выходе комплекса из монтажных камер и заходе в демонтажные. Необходимо отметить, что труднообрушающаяся кровля, зависая на большой площади в завальной части лавы, во – первых, многократно увеличивает концентрацию напряжений в зоне очистного забоя, провоцируя внезапные выбросы угля и газа, а во – вторых, ее внезапное площадное обрушение вызывает “поршневой эффект” и, как следствие, выдавливание воздуха с большой концентрацией метана из завала в действующие выработки. Это может привести к значительному материальному ущербу, связанному как с ударной волной, так и с возможным взрывом метана, вытесненного из завальной части выработки. Все эти негативные факторы значительно снижают эффективность и безопасность ведения горных работ [1]. В проектах отработки лав современными механизированными очистными комплексами практически не предусматривается управление труднообрушающимися кровлями, то есть ее искусственное обрушение, несмотря на тяжесть последствий от ее зависания с последующими площадными обрушениями.

Новые технологии и оборудование управления труднообрушающимися и неустойчивыми кровлями. В ИГД СО РАН им. Н.А. Чинакала разработана и запатентована уникальная безвзрывная технология направленного гидроразрыва (НГР) пород для управления труднообрушающимися кровлями, не имеющая аналогов в мире [2]. Суть этой технологии заключается в предварительном нарезании на стенках скважин,

расположенных в массиве определенным образом, специальным инструментом (щелеобразователем) дисковой иницирующей щели и, после ее герметизации, подачи рабочей жидкости под высоким давлением, необходимым для гидроразрыва пород основной кровли в плоскости нарезанной щели с целью ее посадки. При заложении скважин и иницирующих щелей комплексно учитываются горно-геологические условия заложения угольного пласта, а также физико-механические свойства пород, которыми представлена основная и непосредственная кровля.

Проведение направленных гидроразрывов осуществляется специально разработанными инструментами. Иницирующие щели нарезаются щелеобразователем ЩМ-1 или ЩУ-Г (рис.1а), а герметизация участков гидроразрыва устройством УПГ-42 или УПГ-76 (рис.1б) [3 – 5].



Рис. 1. Оборудование для проведения направленного и поинтервального гидроразрыва угольного пласта:

*а — щелеобразователь ЩМ-1 и ЩУ-Г;
б — полиуретановый герметизатор с переменной жесткостью УПГ-42 и полиуретановый герметизатор УПГ-76*

Технология направленного гидроразрыва пород обладает низкой трудоемкостью и стоимостью работ, относительно других известных способов управления труднообрушающимися кровлями, экологически безвредна, существенно повышает эффективность и безопасность очистных работ и поэтому получила широкое опытно-промышленное внедрение на шахтах Кузбасса (таблица).

К недостаткам метода направленного гидроразрыва может быть отнесена его относительно высокая чувствительность к точности данных горно – геологического прогноза, например, наличие большей трещиноватости, чем предполагалось изначально, а также не подтвержденные физико – механические свойства массива.

Помимо работ, связанных с разупрочнением труднообрушающихся кровель, краткие результаты которых представлены в таблице, расширение области применения технологии НГР может быть связано с упрочнением слабоустойчивой непосредственной или основной кровли с целью повышения ее несущей способности, а также устойчивости.

Таблица – Опыт проведения гидроразрывов на шахтах Кузбасса

Место проведения работ	Название шахты	Достигнутый эффект
Лава № 77, пласт XXI	Березовская	Снижение нагрузок на секции крепи и шага первичной посадки кровли (с 60 до 20 м) при выходе комплекса из монтажной камеры
Лава № 5-15-22, пласт 15	МУК-96	
Лава № 0-4-4бис, пласт IV-V	Распадская-Коксовая	
Лава № 79, пласт XXI	Березовская	Снижение нагрузок на охранный угольный целик более чем на 30 % и обеспечение безопасности работ на сопряжении вентиляционного штрека с лавой
Лава № 16, пласт XXVII	Березовская	Снижение нагрузок на секции механической крепи и безаварийный вход комплекса в демонтажную камеру
Лава № 1324, пласт Байкаимский	им. 7 Ноября	
Лава № 43, пласт XXXVI	Березовская	Сохранение конвейерного штрека для повторного использования в качестве вентиляционного для нижележащей лавы без перекрепления
Лава № 63, пласт XXVII	Первомайская	Снижение нагрузок на секции механической крепи при выходе комплекса из монтажной камеры и шага первичной посадки кровли до 20 – 30 м
Лава 2592, пласт Паленовский	им. С. М. Кирова	
Лава № 31, пласт XXVII	Первомайская	Снижение количества и интенсивности динамических явлений при посадке кровли
Лава № 33, пласт XXVII	Первомайская	Разупрочнение кровли и повышение безопасности прохождения аварийного участка с горно-геологическими нарушениями
Лава № 16-17, пласт 16	Абашевская	
Лава № 2, пласт Абрамовский	Романовская	В результате разупрочнения породного прослойка его прочность понизилась в 2 раза, скорость подвигания лавы увеличилась на 40 %

Суть данного предложения заключается в том, что оборудование, которое применялось для реализации метода направленного гидроразрыва может быть использовано для нагнетания и насыщения массива кровли, обладающего высокой трещиноватостью, связующих веществ, которые под действием высокого давления заполняют все трещины, затвердевают, тем самым повышая эксплуатационные и прочностные свойства обрабатываемого участка.

Впервые технология НГР по укреплению смолами блоков пород непосредственной кровли была успешно апробирована на шахте “Березовская” при выходе механизированного комплекса из монтажной камеры № 44 угольного пласта XXVI [6].

Непосредственная кровля пласта, по данным геологической службы шахты, слабоустойчивая и представляет собой темно-серый крупноблочный алевролит мощностью до 4.4 м и крепостью 5 по шкале Протоdjeякова. Очистные работы в лаве периодически осложнялись образованием заколов и куполообразований по груди забоя. Попытки превентивного закрепления кровли смолами по обычной общепринятой схеме не дали положительных результатов, так как смола, обладая низкой текучестью, не продавливалась из пробуренных шпуров в естественные микротрещины крупноблочного массива обрабатываемого участка кровли.

Применение предварительного направленного гидроразрыва (НГР) из пробуренных шпуров, в сочетании с нагнетанием жидкости в режиме гидрорасчленения (рис.2), как показали выполненные исследования, создали в кровельном массиве не только искусственные макротрещины, но и раскрыли естественные до достаточных размеров для последующего заполнения их смолой по стандартной методике.

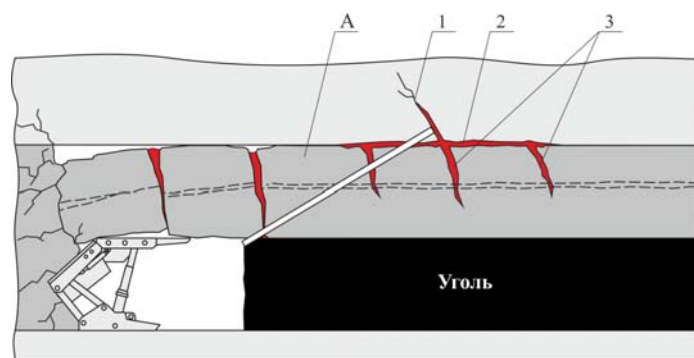


Рис. 2. Технологическая схема гидроразрыва и пропитки закрепляющими смолами непосредственной кровли пласта XXVI.
А – непосредственная кровля; 1, 2, 3 – естественная и искусственная трещины

В результате последовательного применения вышеперечисленных технологических приемов достигнуто упрочнение кровли, предотвращающее образование заколов и куполообразований по груди очистного забоя.

Все предполагаемые по прогнозу очаги нарушений кровли были пройдены со значительным снижением простоя очистных работ, что подтвердило высокую эффективность совокупных технологий.

Выводы

Разработана технология направленного и поинтервального гидроразрыва пород. На шахтах Кузбасса она применяется для управления труднообрушающимися кровлями в очистных забоях.

На шахте “Березовская” предложено применить направленный гидроразрыв пород для повышения прочности непосредственной кровли. Применение гидроразрыва в основной кровле на шахте “Березовская” и нагнетание смол через скважины в образованные трещины позволило предотвратить блоковое обрушение непосредственной кровли при струговой выемке угля.

Литература

1. Клишин В.И. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений / В.И. Клишин, Л.В. Зварыгин, А.В. Лебедев, А.В. Савченко // Новосибирск. – 2011.
2. Чернов О.И. Гидродинамическая стратификация монолитных прочных пород в качестве способа управления труднообрушающейся кровли // ФТПРПИ. – 1982. – №2.
3. Патент РФ № 2394991. Способ разупрочнения прочных углей / Ю.М. Леконцев, П.В. Сажин, В.И. Клишин // Оpubл. в БИ. – 2010. – № 20.
4. Патент РФ № 2400624. Щелеобразователь / Ю.М. Леконцев, П.В. Сажин // Оpubл. в БИ. – 2010. – № 27.
5. Патент РФ № 2433259. Устройство для гидроразрыва пород в скважине / Ю.М. Леконцев, А.В. Леонтьев, Е.В. Рубцова // Оpubл. в БИ. – 2011. – № 31.
6. Патент РФ №2480589. Способ дегазации угольного пласта. / Ю.М. Леконцев, П.В. Сажин // Оpubл. в БИ. – 2013. – № 12.

К ВОПРОСУ О ПОИСКАХ НЕФТЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РИФТОГЕННЫХ УГЛЕНОСНЫХ ВПАДИНАХ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

Барабашева Е.Е., Пикатова М.В.

Забайкальский государственный университет, г. Чита

Одним из фундаментальных вопросов геологии полезных ископаемых является геолого-промышленный тип месторождений. Среди многообразия природных типов месторождений Забайкалья лишь небольшая их часть играет значительную роль в экономике края. Наиболее

актуальна сегодня угледобыча и золотодобыча. Поставлена задача поиска и оценки ресурсов нефти и газа в рифтогенных угленосных впадинах и надвиговых структурах Забайкальского края.

В угольной геологии недавно выделен новый геолого-промышленный тип месторождений – «газоугольные», который в настоящее время претерпевает дальнейшее преобразование. Но нигде не описаны нефтеугольные формации, хотя вопрос о связи угольных и нефтяных месторождений давно назрел.

На планете известно более пяти тысяч угольных и нефтяных месторождений и бассейнов, большая часть которых находится в северном полушарии. В России сосредоточено 5,5% мировых запасов угля и более 140 различных по масштабам месторождений нефти, из них порядка 90 % расположено в восточной части страны, преимущественно в Сибири и на Дальнем Востоке.

Проблема генезиса углеводородного сырья до настоящего времени не решена и присутствует лишь в догадках и гипотезах.

Существуют разные взгляды на процесс образования угля. Общеизвестной считается классическая теория, где уголь является продуктом распада остатков древнейших растений. При этом большая часть угольных месторождений расположена в межгорных впадинах, где вероятно уничтожение торфяников горными потоками. Имеет место также абиогенная теория, в которой считается, что уголь образован в процессе пиролиза метана (CH_4) в присутствии водорода и углекислого газа (CO_2) [1]. Однако здесь уместен вопрос о наличии отпечатков растений в угольных пластах.

Гипотеза об общности происхождения углеводородного сырья неоднократно высказывалась различными исследователями. В последние годы в процессе геологических поисков и разведки все чаще отмечается, что углистое вещество не только находится в одних пластах с нефтью, но и замещает ее [5].

Нефть локализуется одновременно с горообразовательными процессами. Возможно, это объясняет образование угольных месторождений в межгорных впадинах, около глубинных разломов. Огромная мощность угольных пластов генетически связана с мощностью нефтяных залежей.

Вопрос о происхождении нефти так же потенциально не решен. В разработке находятся три основные теории происхождения нефти – 1) абиогенная – минеральная (Д.И. Менделеев), карбидная (В.И. Ларин), плазменно-электрическая – А.А. Воробьев; 2) биогенная, предложенная М.В. Ломоносовым и Н.Д. Зелинским, разработанная В.И. Вернадским и И.М. Губкиным; 3) космическая, предложенная Н.А. Соколовым [5].

По мнению С.Г. Неручева [2], нефть, уголь и чёрные сланцы образовывались одновременно в различные геологические эпохи, а процесс их накопления имел повсеместное распространение на земном шаре.

С точки зрения теории движения литосферных плит, нефть образуется из органических остатков, затянутых в зону субдукции океаниче-

ской плиты под континентальную, где вновь образовавшаяся нефть подвергается различным эндогенным воздействиям.

В составе ископаемых углей выделяют следующие группы веществ – битумы, гуминовые кислоты и остаточный уголь. Если говорить о битумах – это абиогенное углеводородное соединение. Гуминовые кислоты, наоборот свидетельствуют о наличии биомассы. Каменные угли содержат не более 1 % битумов, бурые – от 2 % (Подмосковный бассейн) до 8 % и более (Днепропетровский и Южно-Уральский бассейны). Следовательно, чем меньше степень углефикации, тем большее количество неорганических углеводородов нефтяного ряда присутствуют в процессах образования углей.

Исходя из комплекса абиогенно-биогенных генетических процессов, нами предполагается, что глубинные углеводороды в виде нефти керосиновой фракции и битумов, попадая в приповерхностные части коры, служили источниками угленакопления совместно с имеющейся растительной матрицей. Таким образом, угольные бассейны, так или иначе, «привязаны» к нефтегазоносным провинциям.

Геологический возраст крупнейших угольных месторождений известен и фиксируется эпохами биотических кризисов планеты. А истинный возраст нефти установить сложно в виду того, что он не совпадает с геологическим возрастом вмещающих отложений. Существуют различные методы определения возраста нефти по процентному содержанию нафтенов, парафинов и ароматических углеводородов, например, – метод Резникова [4], Янга и др. [6]. Исходя из генетической связи образования углей и нефти можно говорить о стратиграфических методах определения возраста нефти, согласно возрасту, расположенного рядом угольного массива.

Концентрацию в углях рудных компонентов можно объяснить сорбцией угольными прослоями элементов, содержащихся в растворах поверхностных, подземных вод и гидротерм (биогенная теория). С точки зрения абиогенной версии это происходит в результате их привнесения углеводородами (нефтями), которые создавали эти угли.

Таким образом, присутствие углей – это свидетельство активного эндогенного процесса и указание на возможную нефтеносность и рудоносность территории. На основании этого, наличие угольных месторождений можно рассматривать как поисковый признак на залегающую в одноименных геологических структурах нефть.

Низкая углефикация и повышенная битуминозность забайкальских углей, составляющая в среднем 8%, может свидетельствовать о наличии нефтеносных отложений на территориях, прилегающих к угольным месторождениям.

Первоочередными объектами исследований на предмет нефтегазоносности в Забайкальском крае являются Читино-Ингодинская, Ононская, Тургино-Харанорская, Аргунская, Апсатская, Чикойская рифто-

генные впадины, в пределах которых располагаются крупные угольные месторождения [3].

В пределах Читино-Ингодинской впадины располагаются Черновское, Татауровское бурогольные месторождения, Ононской – Урейское, Мордойское, Алтанское бурогольные месторождения, Аргунской – Уртуйское, Кутинское, Приозерное, Пограничное бурогольные месторождения, Тургино-Харанорской – Харанорское бурогольное месторождение, Апсатской – Апсатское месторождение каменных углей, Чикойской – Чикойское и Шимбиликское бурогольные, Зашуланское каменноугольное месторождения.

В настоящее время актуален вопрос о проведении геологоразведочных работ на территории Забайкальского края с целью оценки ресурсов нефти и газа в рифтовых угленосных впадинах и надвиговых структурах с проведением геолого-экономического анализа их освоения.

Литература

1. Ларин В. Н. Наша Земля. М.: Агар, 2005. 248 с.
2. Неручев С. Г. Справочник по геохимии нефти и газа. Спб.: ОАО "Издательство "Недра", 1998. 576 с.
3. Портнов А. Г. О пространственной связи верхнемезозойских впадин угольных месторождений Забайкалья с глубинными разломами // Геология угольных месторождений Забайкалья и Южной Якутии. Чита: Забайкальск. фил. Географ. о-ва СССР, 1972. – 211-214 с.
4. Резников А. Н. О геохимическом превращении нефтей и конденсатов в зоне катагенеза. // Геология нефти и газа, № 5, 1967, 24-28 с.
5. Родкин М. В. Теории происхождения нефти // Химия и жизнь. 2005. № 6. С.14-17.
6. Янг А., Монаган Р.Н. и Schweisberger R.T. Расчет века углеводородов в маслах // Физическая химия Применительно к нефтяной геохимии. – AAPG Bulletin, 1977. 573-600 с.

РАЗРАБОТКА ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ И ПОРТАТИВНЫХ СРЕДСТВ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ПО ГАЗОВОМУ ФАКТОРУ ПРИ БУРОВЫХ И ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТАХ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Матвиенко Н.Г., Радченко С.А.

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

Аннотация

В результате комплекса исследований с использованием уникального экспериментального лабораторного научного оборудования ИПКОН РАН для изучения процессов десорбции газов из углей и происходящих при этом

тепловых эффектов разработаны научные основы повышения быстроты и точности прогноза опасности по газовому фактору в угольных шахтах.

Научно обоснованы и разработаны быстрые, простые и дешевые методы и портативные приборы для улучшения прогноза нарушенности и газоносности угля в призабойной зоне. Их применение может позволить: 1 – сразу увидеть нарушенный уголь на свежесобранной поверхности забоя и точнее оценить опасность по газовому фактору по изменению температуры и скорости десорбции из угля; 2 – повысить безопасность в метановых шахтах даже при высоких скоростях проходческих, буровых и очистных работ.

Ключевые слова: *безопасность, угольные пласты, метановыделение, геологическое нарушение, газодинамические явления, методы прогноза.*

Как известно, одной из важнейших проблем во всех угледобывающих странах мира остается обеспечение безопасности при подземной разработке метаноносных месторождений угля и других полезных ископаемых. Причем особенно опасны внезапные выделения больших количеств метана в забои, например, при газодинамических явлениях и в нарушенных зонах пласта [1].

Поэтому с момента создания ИПКОН РАН в нем под руководством докторов технических наук Г. Д. Лидина, И. Л. Эттингера и Н. Г. Матвиенко велись экспериментальные исследования в целях научного обоснования и разработки новых методов и более портативных десорбметров для быстрого обнаружения в забоях зон повышенного газовыделения из угля, в которых в сначала в качестве аспиранта, а затем докторанта участвовал С. А. Радченко.

Многими учеными показана сильная зависимость скорости десорбции метана из угля от степени его тектонической нарушенности и предложены различные качественные и количественные показатели для ее оценки [2-5]. Однако большинство из них предназначены лишь для оценки потенциальной выбросоопасности структуры угля и не могут использоваться для прогноза в реальных условиях метановыделения из угля и проектирования вентиляции. Причем и для прогноза выбросоопасности большинство из указанных качественных и количественных показателей используют очень редко, так как получить результаты оценки с их помощью тектонической нарушенности угля можно слишком поздно для того, чтобы применять их для повышения безопасности работ, особенно при большой скорости подвигания забоя. Да и определять многие из них можно только в лабораторных условиях, часто по сложным методикам, что сильно снижает их ценность для практики [2-5].

Поэтому важное научное и практическое значение имеет то, что научно обоснованы при проводившихся в ИПКОН РАН с момента его создания до настоящего времени экспериментальных и аналитических

исследованиях под научным руководством докторов технических наук Г. Д. Лидина, И. Л. Эттингера и Н. Г. Матвиенко [2-11] с использованием уникального комплекса высокоточного научного оборудования для изучения процессов десорбции метана и происходящих при ней тепловых эффектов возможности реально облегчить при минимуме финансовых затрат решение следующего давно возникшего во всех угледобывающих странах парадокса: давно известно о возможности обнаружить зоны геологических нарушений в любых пластах на основе оценки нарушенности проб угля и бурового штыба, но пока нигде в мире нет простых, надежных, дешевых и удобных для шахтеров экспресс-методов для их постоянного применения в забоях. Ведь почти все известные методы оценки нарушенности и газокинетических свойств углей использовали в основном в научных целях, а в лучшем случае – лишь для оценки потенциальной выбросоопасности структуры угля [2-6].

То есть до настоящего времени все шахтеры в забоях не могут быстро получать и использовать достоверную, наглядную и понятную информацию о газокинетических свойствах угля в каждом месте, а следовательно – и своевременно обнаружить зоны повышенной газоотдачи и принимать меры.

Поэтому исследованиями десорбции и сорбции метана образцами угля при различных давлениях и температурах в уникальном экспериментальном сорбционно-калориметрическом комплексе ИПКОН РАН и при разработке газоносных угольных пластов доказана возможность повысить безопасность работ по газовому фактору прежде всего при проходке и буровых работах на основе более быстрого, простого и надежного прогноза нарушенности угля в призабойной зоне пласта без больших затрат денег, труда и времени [2-5].

Это может быть легко достигнуто при использовании комплексного метода, устраняющего многие недостатки традиционных методов изучения сорбции и десорбции метана углем и основанного на применении в забоях:

1 – очень быстрого и простого дистанционного измерения температуры свежееобнаженной поверхности забоя и бурового штыба тепловизорами и инфракрасными термометрами (пирометрами), чтобы сразу видеть уголь и штыб с более низкой температурой, что может быть признаком быстрой десорбции газа из него в результате геологической нарушенности [7-11];

2 – простых и дешевых портативных десорбметров нового принципа действия, которыми можно обеспечить все забои для более быстрой и точной оценки интенсивности метановыделения из угля и пород в целях улучшения прогноза выбросоопасности и метановыделения в призабойной зоне пласта;

3 – нового информативного количественного диффузионного параметра τ [2-6], который вычисляют по формулам (1) или (2) с учетом угла наклона α или β прямолинейного начального участка сорбционно-кинетической или десорбционно-кинетической кривой в координатах $(t^{0.5}, a_t/a_0)$:

$$\tau = 1/\text{tg}^2\alpha \text{ (1) или } \tau = 1/\text{tg}^2\beta, \text{ (2)}$$

где t – время, с; a_t, a_0 – количество газа, сорбированное или десорбированное соответственно к данному моменту времени и до установления сорбционного равновесия при конечном давлении газа, м³/кг;

Диффузионный параметр τ связан с коэффициентом диффузии метана в угле D формулой $\tau = \pi r^2/(36D)$, где r – эффективный радиус нерасчлененной трещинами микропористой частицы угля, м.

Таким образом, разработанный и предложенный С.А. Радченко и Н.Г. Матвиенко метод [2-5] включает три основных этапа:

- во-первых, быстрое визуальное обнаружение любым шахтером на свежееобнаженной поверхности забоя и в буровом штыве «подозрительного» угля по его пониженной температуре, что может быть результатом быстрой десорбции из него большого количества метана из-за его нарушенности;
- во-вторых, быстрой и простой проверки в забое причин большего снижения температуры такого угля по сравнению с другим, поместив его в портативный десорбметр нового принципа действия для простой и быстрой визуальной оценки скорости десорбции метана и остаточной газоносности (если метана в пробе осталось мало, то именно его десорбция была причиной более сильного охлаждения угля, то есть этот уголь является нарушенным);
- в-третьих, быстрое и простое определение даже в забоях важных количественных характеристик десорбции метана углем (диффузионного параметра τ и коэффициента диффузии метана в угле D), необходимых для совершенствования прогноза дегазации пластов и вентиляции шахт [2-5].

Это можно обеспечить, отбирая угольную мелочь и буровой штыв в десорбметры нового принципа действия [2-5], которые позволяют в забое:

- оценить их газокинетические свойства и остаточную газоносность за счет нового способа быстрой оценки потенциальной выбросоопасности и газоносности угля в призабойной зоне с учетом ноу-хау;
- постоянно видеть и измерять объем газа, выделившегося из проб.

К важнейшим преимуществам таких десорбметров, разработанных С.А. Радченко под научным руководством Н. Г. Матвиенко [2-5], относятся:

- простота их устройства, а также использования в забоях шахтерами;
- изучение во много раз меньших проб, чем в известных десорбометрах (может быть достаточно даже горсти угольной мелочи или бурового штыба), что упрощает их герметизацию, транспортирование и хранение;
- давление и температура при десорбции такие же, как в выработке;
- малая стоимость, что позволит массово применять их в шахтах;
- новый способ герметизации проб и визуализации результатов, который делает их понятными и полезными для всех работающих в забое;
- возможность рассева проб на фракции в десорбометре при переноске;
- особенности конструкции десорбометров, позволяющие быстро и просто организовать серийное производство без больших финансовых затрат;
- малый размер и особенности конструкции, позволяющие переносить в небольшом чемоданчике десятки таких десорбометров вместе со средствами для их размещения в забое в определенном порядке для визуальной оценки и измерения газовыделения из многих проб, которые обеспечат максимальную быстроту, наглядность и практическую ценность результатов опытов.

Таким образом, использование разработанного комплексного метода и портативных десорбометров нового принципа действия позволит [2-5]:

- сразу обнаруживать даже мелкие геологические нарушения в пласте;
- улучшить прогноз газодинамических явлений и выделения метана;
- повысить безопасность в шахтах по газовому фактору за счет учета газокинетических свойств угля при прогнозе выбросоопасности и десорбции.

Вышеизложенное показывает возможность быстро и значительно повысить безопасность в шахтах по газовому фактору на основе применения разработанных в ИПКОН РАН новых методов и десорбометров нового принципа действия [2-5], позволяющих быстрее и надежнее обнаруживать геологические нарушения в угольных пластах, сразу получать количественные газокинетические характеристики угля перед забоем и легче использовать их для улучшения прогноза выбросоопасности и повышенного метановыделения, проектирования вентиляции и управления ее работой.

Литература

1. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. – 519 с.

2. Радченко С.А. Развитие методов и разработка устройств для оценки метаноотдачи углей в шахтах на основе газокинетических и тепловых эффектов десорбции метана: дис... д-ра техн. наук. – М.: УРАН ИПКОН РАН, 2008. – 369 с.
3. Радченко С.А., Матвиенко Н.Г. Методы быстрой оценки в забоях интенсивности метановыделения из угля и пород для повышения безопасности // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 4. – С. 34-39.
4. Матвиенко Н.Г., Радченко С.А. Новые возможности совершенствования прогноза зон повышенного газовыделения из угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 6. С. 56-65.
5. Радченко С.А., Матвиенко Н.Г. Научное обоснование методов экспресс-прогноза в забоях газовыделения из угля по изменению его температуры // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 7. С. 328-336.
6. Barker-Read G.R., Radchenko S.A. Methane emission from coal and associated strata samples // International Journal of Mining and Geological Engineering. – 1989. – № 7. – P. 101-121.
7. Патент России № 2019706. Способ определения выбросоопасных зон и газоносности угольных пластов в призабойной зоне / Радченко С.А., Матвиенко Н.Г. МКИ Е 21 F 5/00. – 1994. – Бюл. № 17.
8. О теплотах сорбции метана ископаемыми углями при давлениях до 8,0 МПа/ И.Л. Эттингер, Н.В. Шульман, И.Б. Ковалева и др.// Химия твердого топлива. – 1981. – № 5. – С. 121-124.
9. Повышенное метановыделение в выбросоопасных зонах пласта – причина снижения его температуры в процессе разработки / И.Л. Эттингер, С.А. Радченко, И.А. Горбунов и др.// Уголь Украины. – 1981. – № 10. – С. 39-40.
10. Эттингер И.Л., Маевский В.С., Радченко С.А. Контроль газодинамического состояния призабойной зоны пласта// Уголь. – 1983. – № 5. – С. 8-9.
11. Изменение температуры угольного пласта как показатель происходящих в нем механических и физико-химических процессов/ И.Л. Эттингер, Г.Д. Лидин, Н.В. Шульман и др.// Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1984. – № 5. – С. 65-69.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОУДАРНОЙ СИСТЕМЫ С ДВУМЯ УДАРНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Городилов Л.В., Вагин Д.В.

Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск

Применение систем с несколькими гидроударными устройствами возможно в активных исполнительных органах горных и строительных машин, при подземной угледобыче это могут быть проходческие комбайны и динамические струги, предназначенных для разрушения горных пород и отбойке угля.

Положительный опыт создания ударных систем имеется у Института горного дела СО РАН – конце 80-х начале 90-х годов им были разработаны ковши активного действия экскаваторов ЭКГ-5В (серийно выпускались на заводе «Уралмаш») и ЭО-4124А [1, 2]. Примерно в это же время в Карагандинском политехническом институте были созданы и испытаны экспериментальные образцы динамических стругов для разработки угольных пластов [3, 4]. Из-за экономических сложностей 90-х годов, работы в данном направлении были практически полностью приостановлены. Сейчас есть возможность вернуться к разработке и созданию подобных систем на новом уровне, включающем численное моделирование на современных высокопроизводительных ЭВМ.

В данной работе представлены результаты численных исследований объемных гидроударных систем двухстороннего действия с возможностью задержки движения бойка в начале обратного хода (движение начинается после достижения давлением в системе величины $p_{[3]}$) [5] с одним и двумя ударными устройствами и одним источником питания (рис. 1).

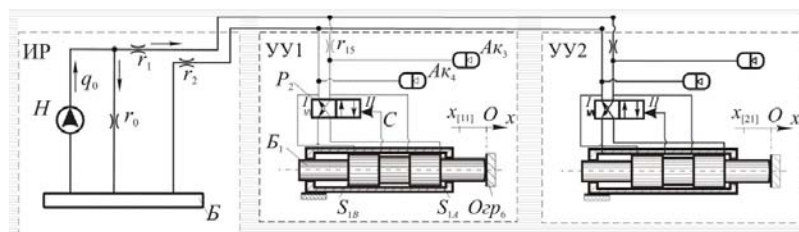


Рис. 1. Принципиальная схема гидроударной системы:

Н – насос; УУ – ударный узел; Р – распределитель; Ак – аккумулятор; Огр – ограничитель; П – пружина; А и В – соответственно камеры обратного и прямого хода УУ, С – управляющая линия распределителя Р (при координате бойка $x < x_{[1]}$ С соединена со сливной линией, при координате бойка $x = 0$ — с напорной)

Была разработана математическая модель системы и программа на языке C++. На первом этапе проведены расчеты системы с одним ударным устройством, чтобы определить его характеристики для различных значений расхода жидкости. На рис. 2 показаны результаты расчётов при параметрах системы: массе бойка 30 кг, длине фазы обратного хода бойка $x_{[1]} = 0.06$ м, площадях бойка со сторон камер обратного и прямого хода соответственно $S_A = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ и $S_B = 12 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ и нескольких значениях расхода $(5, 10, 15, 20) \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ (графики снизу вверх), от давления задержки $p_{[3]}$.

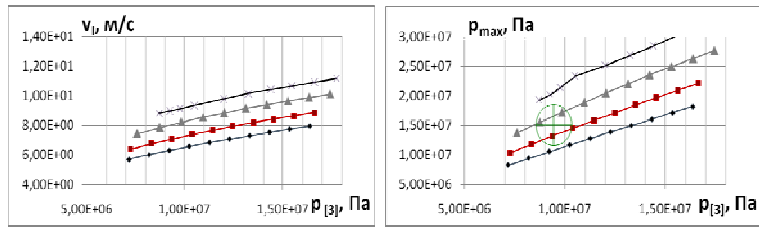


Рис. 2. Графики зависимостей предупредной скорости v_1 и максимального давления p_{\max} для одного ударного устройства от давления задержки $p_{[13]}$

По полученным значениям предупредной скорости и максимального давления в системе были отобраны три приемлемых для дальнейшего исследования варианта параметров (табл. 1).

Таблица – Отобранные режимы при одном ударном устройстве

Вариант	$q_0, \text{ м}^3/\text{с}$	$x[11], \text{ м}$	$p[13], \text{ Па}$
1	0.0015	0.045	$1.15 \cdot 10^7$
2		0.065	$0.95 \cdot 10^7$
3		0.085	$0.75 \cdot 10^7$

На втором этапе были произведены расчеты с двумя ударными устройствами (расход увеличивали в два раза), в которых при фиксированных и одинаковых для обоих устройств параметрах изменяли величину давления задержки второго ударного устройства и длину фазы его обратного хода.

При изменении давления задержки $p_{[23]}$, как следует из графиков зависимостей характеристик устройств (вариант 2 табл.), одно из устройств может вообще не работать.

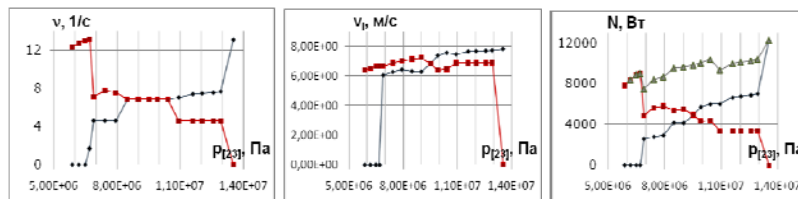


Рис. 3. Графики зависимостей частот ν , предупредных скоростей v_1 и мощностей N для двух ударных устройства от давления задержки $p_{[23]}$:

—♦— 1-е ударное устройство, —■— 2-е ударное устройство,
—▲— суммарная ударная мощность

Анализ осциллограмм динамических характеристик ударных устройств показывает, что в этом случае помимо отключения одного из устройств наблюдаются также и кратные предельные циклы у ударного устройства с меньшим давлением задержки.

Графики изменения характеристик устройств при изменении длины фазы обратного хода одного из них $x_{[21]}$, представленные на рис. 4, показывают, что этот параметр в представленном диапазоне оказывает на них слабое влияние.

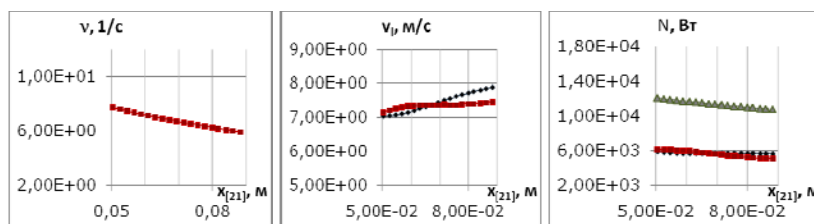


Рис. 4. Графики зависимостей частот ν , предупредительных скоростей v_1 и мощностей N для двух ударных устройств от длины фазы обратного хода $x_{[21]}$

Таким образом, можно видеть, что при использовании в системе, включающей ударные устройства с задержкой движения бойка, источника постоянного расхода, при одновременной работе 2-х устройств ударная мощность системы падает на 20-30% по сравнению с работой 1-го устройства

Изменения в давлении задержки (до 10 %) и длине фазы обратного хода (до 40 %) ударных устройств не ведут к потери устойчивости системы.

Литература

1. Маттис А.Р. и др. Экскаваторы с ковшом активного действия : опыт создания, перспективы применения –Новосибирск : Наука, 1996. – 174 с.
2. Городилов Л.В., Лабутин В.Н. Перспективы создания ковшей активного действия к гидравлическим строительным экскаваторам // Материалы V междунар. науч. симп. «Ударно-вибрационные системы, машины и технологии» (23-25 апреля 2013 г., Орел). Орел : ОрелГТУ, 2013. С. 112-119.
3. Горбунов В.Ф., Лазуткин А.Г., Ушаков Л. С. Импульсный гидропривод горных машин / В.Ф. Горбунов,. – Новосибирск: Наука, 1986. – 195 с.
4. Ушаков Л.С., Котылев В.А., Кравченко Ю.Е. Гидравлические машины ударного действия. М.: Машиностроение, 2000. – 415 с.
5. Городилов, Л. В., Фадеев П.Я. Анализ и классификация эффективных конструктивных схем автоколебательных гидравлических ударных систем // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды : тр. конф. с участием иностран. ученых (10–13 октября 2006 г., Новосибирск) : в 2 т. – Новосибирск : ИГД СО РАН, 2007. – Т. 2 : Машиноведение. – С. 71–79.

ПРОГНОЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИФРАГИРОВАННЫХ ВОЛН

Анциферов А.В., Глухов А.А.

Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ) Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики

Одним из самых эффективных методов прогноза геологических нарушений на участках, куда еще не дошли горные работы, является шахтная пластовая сейсморазведка. Она базируется на каналировании угольным пластом энергии акустических колебаний. Надежность метода в плане выявления аномалии достигает 80 % [1, 2]. Однако основной проблемой является зависимость информативности метода от типа, размеров аномалии, от ее положения и ориентации в пространстве и целого ряда иных параметров.

В данной статье описан разработанный в РАНИМИ алгоритм прогноза геологических нарушений угольных пластов на базе обработки данных сейсмических наблюдений с учетом использования дифрагированных волн. Алгоритм реализован в программном обеспечении, позволяющем автоматизировать наиболее трудоемкие операции.

Обработка осуществляется в несколько этапов в следующей последовательности:

- создание паспорта профиля;
- предварительная обработка (расчет амплитудных спектров, спектров скоростей, фильтрация);
- получение сейсмического изображения углепородного массива в плоскости залегания угольного пласта в пределах изучаемого участка.

Создание паспорта профиля заключается в описании геометрии системы наблюдений, привязки каждой сеймотрассы к конкретному пункту возбуждения (ПВ) и сейсмоприемнику (СП), описание направления оси чувствительности сейсмоприемника.

Предварительная обработка предусматривает последовательное выполнение процедур отбраковки, расчета спектров скоростей, расчета амплитудно-частотных характеристик.

На обобщенных спектрах скоростей, рассчитанных по всем сеймограммам, присутствуют только максимумы, соответствующие информативным волновым пакетам.

На спектрах ограниченного набора сейсмограмм следует выделить максимумы, соответствующие волновым пакетам, локально присутствующим на соответствующем участке волнового поля.

Положение максимумов увязывается со значениями скоростей распространения продольных и поперечных волн в слоях, слагающих геологический разрез, а также с расчетными значениями скоростей волн, образованных в волноводах сложного строения.

В качестве волноводов сложного строения рассматриваются сближенные угольные пласты, если расстояние между ними составляет менее 5 м, а также группы «пачки угольного пласта+пропластки», «угольный пласт+вмещающие породы малой плотности».

Амплитудно-частотная характеристика рассчитывается как для всего набора сейсмограмм в целом, так и для выборок, проведенных по отдельным участкам наблюдений, а также в выделенных скоростных окнах.

В результате последовательного применения скоростного анализа и расчета амплитудно-частотной характеристики определяются информативные скоростные окна и частоты, устанавливается тип волновых пакетов.

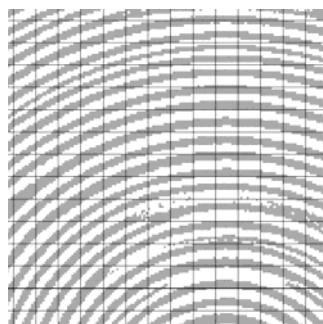


Рис. 1. Сейсмическое изображение ненарушенного участка зоны наблюдений

Сейсмическое изображение углепородного массива в плоскости залегания угольного пласта строится с учетом применения дифрагированных волн с помощью процедуры миграции по сейсмограммам общего пункта возбуждения [3]. Изображения участков углепородного массива без аномалий представляют собой суперпозицию наборов эллипсов, образованных синфазными значениями амплитуды волнового поля, с фокусами в точках возбуждения и приема (см. рис. 1). При изменении значения миграционной скорости либо несущей частоты, регулярность картины не изменяется.

Зоны аномалий проявляются либо в виде локальных зон потери синфазности, изменением формы и направления характерных полос (см. рис. 2), хаотичностью их расположения, нарушением прослеживания ряда волн в последующих вступлениях либо в виде добавления синфазных максимумов по контуру аномалии. Ширина области прослеживания аномалии характеризует ширину зоны влияния нарушения.

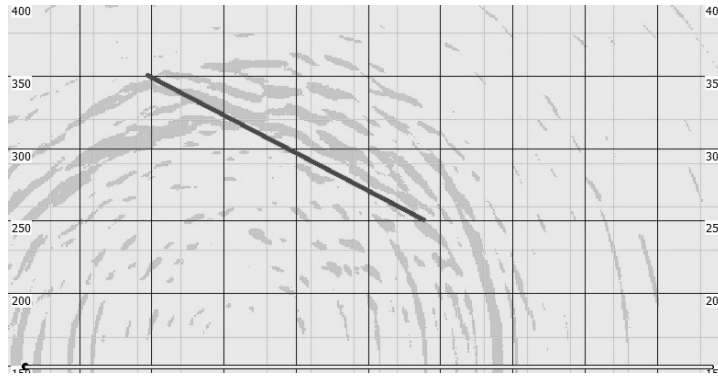


Рис. 2 – Сейсмическое изображение реального тектонического нарушения на участке лавы 1086 упласта c_{10}^B ш. «Днепровская»

При изменении миграционной скорости либо несущей частоты форма проявления аномалии может меняться, но позиция остается фиксированной. Присутствие локально расположенной аномалии при изменении значения миграционной скорости либо несущей частоты является критерием наличия геологического нарушения.

К настоящему времени рассмотренная методика успешно использована на ряде объектов. Обработывались сейсмические данные, полученные в ходе натурных наблюдений, проведенных на шахтах Донбасса и на объектах Карагандинского угольного бассейна (Казахстан).

Методика доказала свою информативность. Она может быть использована геофизическими службами и специализированными геологоразведочными организациями, оснащенными сейсмостанциями в шахтном исполнении и соответствующим оборудованием для проведения работ, а также программными средствами, использующими алгоритм построения сейсмических изображений на основе миграционного преобразования сейсмограмм общего пункта возбуждения.

Литература

1. Анциферов, А. В. Теория и практика шахтной сейсморазведки [Текст] / А. В. Анциферов. – Донецк: ООО «Алан», 2002. – 312 с.
2. Анциферов, А. В. Математическое моделирование в шахтной сейсморазведке [Текст] / А. В. Анциферов, А. А. Глухов. – К.: Наук. думка, 2012. – 255 с.
3. Глухов, А. А. Об использовании миграции до суммирования при построении сейсмических изображений угленосных массивов методами пластовой сейсморазведки [Текст] А. А. Глухов // Наукові праці УкрНДМІ НАН України: зб. наук. пр. – Донецьк, 2012. – № 14. – С. 209-216.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ЗОНАХ ПОДРАБОТКИ

Глухов А.А., Воробьев С.А., Шевченко Е.Н.

*Республиканский академический научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт горной геологии,
геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ)
Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики*

Подземная добыча угля в настоящее время на многих горнодобывающих предприятиях ведется под территориями городов, железнодорожными путями, магистральными трубопроводами, водными и другими разнообразными природными и техногенными объектами. Охрана этих объектов от вредоносного влияния подземных горных работ и техногенных последствий является важной социальной народнохозяйственной задачей. В этом плане актуально решение проблемы разработки современных средств прогноза деформаций земной поверхности в зонах подработки. Несмотря на широкое применение, существующие разработки [1,2] имеют целый ряд ограничений в плане границ применимости, удобства использования, отображения результатов расчетов.

В РАНИМИ для решения данной проблемы разработано специализированное программное обеспечение. Оно базируется на использовании современных алгоритмов расчета и актуальных в ДНР нормативных документах [3,4] и позволяет:

- вычислить прогнозные сдвигения и деформации земной поверхности;
- рассчитать допустимые показатели деформации земной поверхности под застроенными территориями;
- рассчитывать полное оседание земной поверхности для определения участков подтопления при закрытии шахты;
- графически отобразить результаты расчетов на электронных планах.

Программное обеспечение предполагает несколько вариантов ввода исходных данных. В качестве одного из них используется разработанная ранее в УкрНИМИ НУНУ геоинформационная система ГеоМарк [5], опирающаяся на трехмерную модель шахты. В этом случае геометрические параметры лав автоматически считываются из базы данных системы.

Второй способ – в качестве основы используются растровые изображения планов горных работ. В этом случае пользователь должен осуществить координатную привязку растров по контрольным точкам, а

затем «оконтурить» необходимый для расчета набор лав и задать их параметры. Особенность координатной привязки состоит в том, что инструмент привязки предусматривает автоматическую коррекцию расстановки. Данный способ позволяет использовать одновременно до 10 расстановок изображений, составляющих основу расчетной модели.

Третий способ целесообразно использовать только в случае небольшого количества лав. Он заключается в пошаговом задании контуров и параметров.

Четвертый способ – импорт исходной информации из электронных таблиц заданной структуры в формате Excel. Удобен для большого количества лав.

В качестве исходных данных для каждого выемочного участка указывается: мощность наносов, мощность мезозойских отложений, управление кровлей, мощность вынимаемого пласта, размеры целиков по четырем направлениям, угол и азимут падения пласта, марка угля и другие параметры (см. рис. 1).

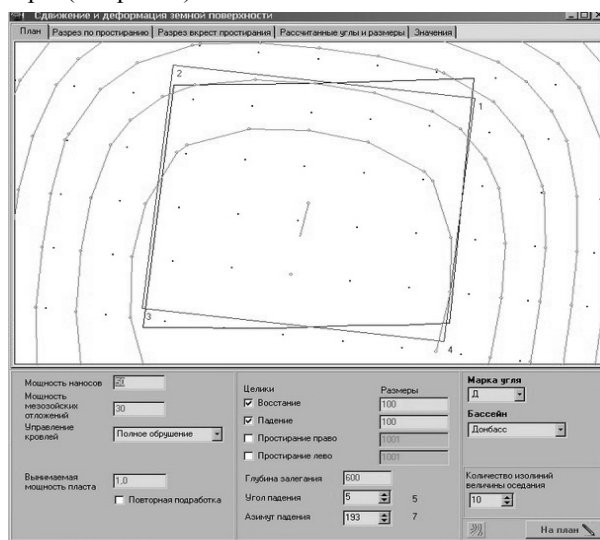


Рис. 1. Рабочее окно для ввода параметров лавы

После определения всех расчетных величин производится расчет сдвижений и деформаций на земной поверхности по регулярной сетке. Затем величины сдвижений и деформаций могут быть получены в направлении по падению и простиранию пласта, либо по заданному направлению и направлению перпендикулярному ему, что необходимо при анализе деформаций зданий и сооружений (по осям объекта).

Результаты расчета отображаются на электронном плане в виде изолиний (см. рис.2), таблиц значений параметров на регулярной сетке точек, схем.

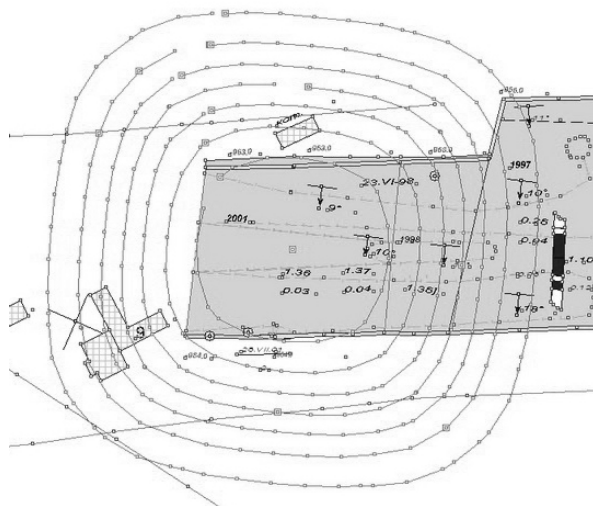


Рис. 2. Отображение результатов расчета оседаний земной поверхности на план горных работ

Допускается одновременный расчет для набора из 100 и более лав. При этом результат для данной точки поверхности формируется как сумма результатов по отдельным расчетам. Для реализации такой схемы после ввода данных по всему набору лав производится формирование единой регулярной сетки расчетных точек.

Программное обеспечение позволяет в максимально короткий срок обеспечить информационную поддержку принятия решений, связанных с охраной объектов в зоне подработки.

Литература

1. Гавриленко Ю. Н. Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности на больших площадях // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк: УкрНДМІ НАН України, 2013. – № 13 (частина I). – С. 271-287.
2. Галемский П. В. Разработка геоинформационной системы наблюдений за сдвигениями и деформациями земной поверхности вследствие влияния очистных работ. – Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2002/ggeo/galemsky/lib/galemsky.zip>.
3. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при добуванні вугілля підземним способом: ДСТУ 101.00159226.001-2003 : Затв. Мінпаливенерго України 28.11.2003. – Київ, 2004. – 128 с.

4. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных предприятиях. – Утв. МУП СССР 29.12.79. – М.: Недра, 1981.
Глухов А. А. Проектирование баз данных для информационного обеспечения разведки и эксплуатации месторождений полезных ископаемых // 36. науч. праць УкрДГРІ. – Київ: УкрДГРІ, 2003. – № 2. – С. 10-15.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДХОДА ФРЕНКЕЛЯ-БИО ПРИ АНАЛИЗЕ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В ТРЕЩИНОВАТОМ УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ

Глухов А.А., Анциферов В.А., Трофимов В.В.

*Республиканский академический научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт горной геологии,
геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ)
Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики*

Основным фактором, усложняющим обработку угольных пластов на шахтных полях Донбасса является дизъюнктивная нарушенность [1]. Тектонические разрывные нарушения угольных пластов вызывают целую серию геологических осложнений, связанных с зонами их влияния: устойчивость пород кровли угольных пластов, участки возможных прорывов подземных вод в горные выработки, напряженность массива горных пород и связанные с ней подвижки, внезапные выбросы угля и газа. При этом не только усложняются технологии выемки угля, но и резко снижается безопасность ведения горных работ. Разработка методов заблаговременного обнаружения и определения параметров тектонических нарушений является актуальной задачей первостепенной важности. Сейсмоакустические исследования, сопровождающиеся анализом волновых полей на основе методов математического моделирования являются одним из наиболее перспективных средств определения параметров тектонических нарушений [1]. В данной статье изложены результаты анализа данных математического моделирования с использованием уравнений Френкеля-Био при проведении сейсмоакустического эксперимента.

Поход Био основан на положениях классической теории упругости. Для случая двухфазной среды он ввел дополнительные параметры, учитывающие фактор взаимодействия фаз [1]. В работе [2] Био получены соотношения между напряжениями и деформациями в двухфазной среде, а чуть позднее Френкелем в работе [3] была впервые рассмотрена теория распространения акустических волн в насыщенной жидкостью пористой среде. Соотношения, полученные Био для пористых сред,

формально остались такими же, как и для упругих или вязкоупругих сред. При этом коэффициенты в соотношениях были заменены соответствующими операторами, учитывающими фактор пористости [4].

Био и Френкель теоретически обосновали существование в пористой среде трех типов волн – быстрой продольной (продольная волна I рода), медленной продольной (волна Био или продольная волна II рода) и поперечной волны. Быстрая продольная и поперечная волны подобны волнам в «классической» упругой среде. Они распространяются с небольшим затуханием, вызванным различными механизмами, в том числе взаимодействием фаз [4, 5]. Продольная волна II рода является особенностью пористо-упругой среды. Скорость её распространения существенно меньше, чем у быстрой продольной волны. К тому же, эта волна быстро затухает. Наиболее значительную роль волны Био играют в случае большой сжимаемости заполняющего поровое пространство флюида (например, для воздуха либо метана, заполняющего зоны трещиноватости в области влияния геологических нарушений углеводородных массивов) [5, 6]. При уменьшении пористости среды скорость волны Био снижается, в отличие от быстрой продольной и поперечной волн, для которых скорость увеличивается.

Для анализа возможности оценки состояния горного массива с учетом его пористости и трещиноватости, а также водо- и газонасыщенности, разработаны алгоритмы и программные модули для моделирования сейсмических волн в пористой среде по модели Био. С их помощью можно получать наборы теоретических сейсмотрасс для произвольно заданной расстановки сейсмоприемников, а также последовательные картины распределения смещения частиц упругого скелета и флюида в ходе процесса распространения колебаний. На основе этого были проведены расчеты, целью которых было установить, насколько данная модель работает в условиях угленосных формаций. При проведении исследований в качестве первоочередного выбран интервал петрофизического разреза Донбасса, вмещающий угли марки Ж, как наиболее типичный для основных обрабатываемых в настоящее время шахтных полей. В качестве флюида использовалась вода и воздух, в отдельных экспериментах – метан.

По результатам моделирования можно подчеркнуть тот факт, что выделить в пласте медленную продольную волну II типа как распространяющееся колебание чрезвычайно сложно. Спектр моделируемого источника выбирался таким, чтобы как можно шире охватывать область применения сейсмического метода в шахтных условиях. При этом очевидно, что только на части диапазона модель Био корректна. Кроме того, в пласте существенное значение имеет интерференция волн различных типов, существенно усложняющая картину. На рисунке 1 изображены усредненные спектры различных типов волн, полученные по ре-

зультатам расчетов. Видно, что волны II типа проявляются на высоких частотах как для воздуха, так и для воды. Однако их амплитуды как минимум в 10 раз слабее, чем амплитуды волн I рода.

Согласно расчетам обнаружить наличие флюида, используя модель Био, по изменению структуры сигнала ввиду слабости такового в рамках существующих методик затруднено. Тем не менее, тот факт, что в области сравнительно низких частот (до 500 Гц) волны II типа теоретически должны наблюдаться, требует в дальнейшем более детального анализа.

Таким образом, в настоящей работе сделана попытка оценки степени влияния газового фактора и водонасыщенности угольных пластов на сейсмоакустические параметры регистрируемых волновых полей. Апробирован подход Френкеля-Био для описания распространения сейсмических колебаний в трещиноватом углеродном массиве. Установлено, что продольные волны II типа более вероятно проявляются на высоких частотах как для воздуха, так и для воды. Однако их амплитуды на порядок слабее, чем амплитуды волн I рода. При этом, АЧХ продольных волн I рода и поперечных волн практически точно соответствуют наблюдаемым на практике. Природа порового флюида практически не изменяет величины модуля сдвига, так что характеристики S-волн меняются в слабой степени. Показано, что обнаружить наличие флюида используя модель Био по изменению структуры сигнала ввиду слабости такового в рамках существующих методик затруднено. То предположение, что в области сравнительно низких частот (до 500 Гц) волны II типа теоретически могут наблюдаться, требует в дальнейшем более детального анализа.

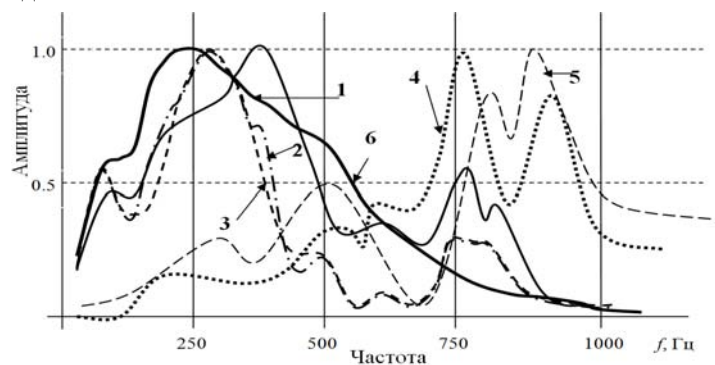


Рис.1. Усредненные нормированные спектры
1 – исходный сигнал; 2 – продольная волна по скелету угля, насыщенного водой; 3 – продольная волна по скелету угля, насыщенного газом; 4 – продольная волна II рода в воде; 5 – продольная волна II рода в газе; 6 – поперечные волны по скелету угля

Литература

1. Био М. А. Механика деформирования и распространения акустических волн в пористой среде // Механика. Период. сб. переводов иностр. статей. – 1963. – 6, N 82. – С. 103–134.
2. Biot M. A. General theory of three-dimensional consolidation // J. Appl. Phys. – 1941. – 12. – P. 155 – 164.
3. Френкель Я. И. К теории сейсмических и сей-смозлектрических явлений во влажной почве // Изв. АН СССР. Сер. географ. и геофиз. – 1944. – 8, N 4. – С. 133 – 149.
4. Tolstoy I. Acoustics, elasticity, and thermodynamics of porous media: Twenty-one papers by M. A. Biot. – New York: AIP Press, 1992. – 272 p.
5. Biot M. A. Theory of propagation of elastic waves in fluid-saturated porous solid. Part I. Low frequency range // J. Acoust. Soc. Amer. – 1956. – 28, N 2. – P. 168 – 178.
6. Chotiros N. P., Lyons A. P., Pace N. G. Normal incidence reflection loss from sandy semident // J. Acoust. Soc. Amer. – 2002. – 112, N 5, Pt 1. – P. 1831 – 1840.

РЕЗЕРВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ УГЛЕЙ ЯКУТИИ В ЦЕПОЧКАХ ПОСТАВОК

Гаврилов В.Л.

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН

В числе основных тенденций развития угольного комплекса страны и мира можно отметить ухудшение условий освоения и эксплуатации многих разрабатываемых или планируемых к освоению месторождений, а также сильную конкуренцию на внешних и внутренних рынках между различными видами топливно-энергетических ресурсов и между отдельными марками коксующегося и энергетического угля. Первая тенденция, как правило, способствует снижению качества добываемого и поставляемого потребителям угля и предопределяет рост объективных требований к его непрерывному улучшению. Вторая предполагает при реализации различных стратегий и тактик работы предприятий, входящих в многозвенные цепочки добычи, обогащения, транспортировки и потребления твёрдого топлива, которые функционируют на принципах, изложенных, например, в [1-2], необходимость постоянного поиска и последующего использования различных по характеру резервов, направленных на противодействие и нейтрализацию существующих и перспективных рисков и угроз.

Особую актуальность вопрос квалиметрии угля приобретает в цепочках, базирующихся на запасах сложных по строению и неоднород-

ных по потребительским свойствам месторождений. И/или расположенных в удалённых регионах с неразвитой инфраструктурой и трудными природно-климатическими и горно-геологическими условиями, приводящими к значительному удорожанию всех технологических процессов. Характерной иллюстрацией таких экстремальных сочетаний могут быть два класса цепочек поставок угля. Из Южно-Якутского угольного бассейна на рынки стран Северо-Восточной Азии (Япония, Южная Корея, Китай и др.). С ряда разрезов, расположенных в центральной и полярной зоне Республики Саха (Якутия), отгружающих свою продукцию для нужд предприятий жилищно-коммунального хозяйства и населения данного труднодоступного региона, имеющего очень сложную логистику для всех видов грузов.

Для южно-якутских цепочек в силу относительно более выгодного географического положения, наличия запасов ценных марок коксующихся углей и более развитой инфраструктуры существуют лучшие по сравнению в «северными» цепочками, предпосылки для нормального функционирования и развития. В тоже время спрос на коксующийся уголь внутри Якутии практически отсутствует. Перспективы расширения сбыта имеющихся, а, главное, перспективных объёмов добываемых в Южной Якутии углей на российском рынке, как показывает проведённый анализ, достаточно ограничены. Это связано с рядом причин. В их числе: значительные расстояния транспортирования до потенциальных мест сбыта в России; высокие тарифы на перевозку; уменьшение удельного расхода самых дефицитных марок угля на тонну получаемого кокса; ожидаемый избыток углей-аналогов на тех же сегментах рынка вследствие реализации программ строительства новых предприятий по добыче коксующегося угля в Кузбассе, Хакассии, Тыве, Забайкалье.

Внешний рынок, в первую очередь стран северо-восточной Азии, по оценкам [3-5 и др.] является более перспективным как в целом для российского угля, так и южно-якутского, в частности. Однако, для Японии, Южной Кореи и Тайваня будет характерно снижение темпов прироста объёмов потребления твердого топлива; дальнейшее изменение его структуры в сторону использования менее дефицитных и, следовательно, более дешёвых марок угля. Из крупных потребителей относительно высокую динамику будут демонстрировать Китай и Индия. Ряд отечественных предприятий делает ставку на Китай, привлекательность которого вытекает из географической близости и, на первый взгляд, значительного существующего и прогнозируемого, в том числе спекулятивного, спроса на импортный уголь. Специфические риски, связанные с этой страной, связаны с наличием здесь самой крупной угольной промышленности в мире, потенциалом выпуска широкой номенклатуры твёрдого топлива и возможностями планируемого государством соци-

ально-экономического развития, которое может, в случае необходимости, быстрыми темпами нарастить собственную добычу или директивно снизить объём потребления угля. Динамично развивающимся на среднесрочную перспективу будет индийский рынок. Но риски полноценного внедрения на него вытекают из сложной логистики, резко снижающей потенциал поставок, и наличия большого числа стран-поставщиков.

«Северные» цепочки уже на протяжении длительного промежутка времени функционируют в условиях неблагоприятной внешней среды. Основные причины такого положения: значительное сокращение объёмов хозяйственной деятельности в центральной и полярной зонах Якутии; реализация программы газификации; использование газового конденсата и сырой нефти для получения тепловой энергии; широкое применение дизельного топлива для выработки электроэнергии; появление элементов альтернативной энергетики.

В такой сложной для якутского угля внешней среде существует объективная потребность в поиске резервов, реализация которых позволит улучшить работу цепочек поставок твёрдого топлива. Одним из таких актуальных и важных направлений является работа по непрерывному улучшению качества добываемого и поставляемого угля с учётом не только текущего состояния предприятий, но и их долгосрочных перспектив.

Обеспечение регламентируемого рынком уровня потребительских свойств угля при этом может быть достигнуто путём комплексного управления [6-7], использующего как традиционные существующие резервы, так и новые. Последние вытекают из учёта всех потенциальных возможностей отдельных звеньев цепочек при рассмотрении их как единых систем «георесурс – потребитель», динамически изменяющихся во времени и пространстве [8]. Взаимосвязанные технологически, организационно, информационно и экономически звенья (подсистемы) могут создавать синергетический эффект, способствующий более рациональному использованию георесурсов, росту конкурентоспособности угольных предприятий и выпускаемой ими продукции. Использование данного подхода особенно целесообразно при реализации таких инвестиционных проектов, которые характеризуются повышенной чувствительностью даже к относительно небольшим изменениям состояния внутренней среды предприятий и/или конъюнктуры рынка.

Комплексное (тотальное) управление качеством угля в цепочках поставок включает решение ряда взаимосвязанных и взаимодополняющих задач. В их числе: анализ теории и практики управления спектром потребительских свойств; оценка влияния внешней среды; изучение условий и порядка перехода от технологических цепочек поставок угля к эффективно работающим цепочкам создания добавленной стоимости в рамках систем «георесурс – потребитель»; создание и использование

баз данных и знаний для информационно-аналитической поддержки принятия решений; исследование трансформации качественных и количественных параметров топлива при переходе от георесурса к угольным потокам; оценка эффективности процессов управления. Междисциплинарный характер рассматриваемой проблемы предполагает учёт результатов исследований в различных областях знаний для обоснования технологических и организационных резервов повышения качества коксующегося и энергетического угля и разработки теоретических и практических рекомендаций по совершенствованию методологии комплексного управления потребительскими свойствами поставляемой на конкурентные рынки угольной продукции.

В рамках решения поставленных задач выявлены и исследованы некоторые резервы совершенствования процессов управления качеством углей в цепочках поставок и получен ряд результатов.

На основе изучения особенностей развития базовых рынков сбыта и более точного позиционирования продукции, выпускаемой разрезами и шахтами региона, выполнена предварительная сравнительная оценка конкурентоспособности поставляемого с месторождений Якутии угля. Она показала, что при трудно прогнозируемых изменениях объёмов спроса на уголь и волатильности цен на него в условиях существующей конкуренции между видами топливно-энергетических ресурсов, сортами и марками угля требуется повышение роли и места систем управления качеством угля в общем менеджменте предприятий, входящих в цепочки поставок.

Предложены подходы к оценке изменчивости в недрах свойств угля, его природного и технологического разубоживания, учитывающие структуру и морфологию разрабатываемых пластов, пространственную изменчивость зольности угля в запасах. Методика включает: уточнённое в контексте комплексного управления качеством угля содержание понятия «сложноструктурное месторождение»; создание и государственную регистрацию цифровых баз данных (БД) для ряда месторождений коксующегося и энергетического угля региона; построение и анализ геологических моделей с использованием горно-геологических информационных систем МайнФрейм и Микромайн; усовершенствованные методы геостатистического и технико-экономического анализа; дифференциацию запасов по типам, сортам, зольности добываемого угля с учётом её составляющих. В совокупности это обеспечило получение новых знаний, позволяющих точнее идентифицировать георесурс, как базовый объект систем управления качеством угля в цепочках поставок.

Показано, что используемые средства управления качеством угля, как в «южно-якутских», так и в «северных» цепочках «месторождение – потребитель», не позволяют в полной мере компенсировать оценённую

изменчивость ряда свойств угля в недрах и ухудшение его потребительских характеристик в технологических и логистических потоках. Результаты получены путём изучения характера и степени трансформации свойств коксующегося угля и качественно-количественных изменений с энергетическим углем в «северных» цепочках поставок.

Для добывающих предприятий, расположенных в центральных и полярных районах Якутии и отгружающих свою продукцию на локальные, социально ориентированные рынки, рекомендован ряд геотехнологических, технических и организационных мероприятий, направленных на общее снижение количественных и качественных потерь угля при поставках. Разработанный подход даёт возможность с новых позиций рассмотреть вопросы повышения качества угля и обеспечения им труднодоступных районов, в том числе путём замещения дорогого привозного топлива местным углем на основе создания малых угольных разрезов в непосредственной близости от мест наибольшего потребления и их последующей интеграции в схемы поставок.

Отмеченные, а также оставшиеся за рамками статьи результаты могут способствовать повышению уровня адаптивности принимаемых решений по комплексному управлению качеством угля в цепочках поставок к постоянно изменяющимся горно-геологическим, производственно-техническим и рыночным условиям. Улучшение управляемости сложными цепочками поставок может быть достигнуто путём рационального сочетания как существующих, так и специально разработанных геотехнологических и организационных решений, схем и мер. В их числе дополнительно можно отметить планирование и оперативное управление добычными работами на основе выявленных и изученных особенностей георесурса; нормирование готовых и подготовленных в выемке запасов; применение схем валовой и селективной выемки угля; рациональное комбинирование технических и технологических средств усреднения, сортировки и первичного обогащения; регулирование технологических потоков с разным качеством между забоями разрезов, складами «на колёсах», промежуточных, обогатительных фабриках, готовой продукции; рациональное использование возможностей логистических звеньев, мест перевалки и хранения.

Литература

1. Каплински, Р. Распространение положительного влияния глобализации. Какие выводы можно сделать на основании анализа цепочки накопления стоимости?: Пер. с англ. – М.: ГУ ВШЭ, 2002. – 68 с.

2. Портер, М.Е. Конкурентное преимущество: как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость: Пер. с англ. – Альпина Бизнес Букс, 2005. – 715 с.

3. Coal Manual. 2016/2017 Edition / Editor Yasuhisa Miyamoto. – The Text Report Ltd, Tokio. – 2017. – 450 p.

4. Плакиткина, Л.С. Анализ мирового и российского экспорта угля в период 2000—2015 гг., тенденции и перспективы его развития / Л.С. Плакиткина, Ю.А. Плакиткин, К.И. Дьяненко // Горная промышленность. – 2016. – №6. – С.40-44.

5. Рубинштейн, Ю.Б. Современное состояние и тенденции развития углеобогашения в мире (обзор) / Ю. Б. Рубинштейн, Э. Свонсон, М.Е. Холужко и др. // Горный журнал. – 2016. – №6. – с. 4-55.

6. Гаврилов, В.Л. Подходы к управлению качеством в инновационном развитии предприятия // «Инновационная политика хозяйствующего субъекта: цели, проблемы, пути совершенствования»: материалы I Международной научно-практической конференции в рамках Международной специализированной выставки «Станкостроение – 2011».- М., 2011.- С. 100-108.

7. Фрейдина, Е. В. Методологические основы и инструментарий для развития робастного управления горными работами на карьерах. Ч. I: система принятия решений в контексте управления качеством добываемого полезного ископаемого / Е. В. Фрейдина, А. А. Ботвинник, А. Н. Дворникова // ФТПРПИ. – 2014. – №2.-С.110-124.

8. Батугин, С.А. Повышение эффективности освоения месторождений полезных ископаемых на основе системного подхода / С.А. Батугин, С.М. Ткач, Н.С. Батугина, В.Л. Гаврилов // ГИАБ. – 2012. – №9. – С. 104-114.

РАЗВИТИЕ АВТОНОМНОГО АППАРАТНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ААК12 ДЛЯ ШАХТНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Туманов В. В., Мартынов Г. П.

Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ) Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики

В современных условиях добычи угля, в т. ч. связанными с останковками и закрытием шахт, продолжают быть актуальными вопросы совершенствования аппаратно-методической базы шахтной геофизики и, прежде всего, шахтной сейсморазведки как ведущего метода выявления разнотипных геологических нарушений угольных пластов, надежного и оперативного опережающего прогноза условий ведения горных работ и получения в результате наиболее полной и достоверной горно-геологической информации. При этом особенности шахт, опасных по внезапным выбросам угля, газа и пыли, требуют особого исполнения шахтного сейсмического оборудования.

В рамках научно-технического проекта «Разработка автономного аппаратно-аналитического комплекса выявления геологических нарушений угольных пластов сейсмическими методами из горных выработок» в РАНМИ в 2012 г. был разработан и изготовлен взрывозащищенный опытный образец одноименного автономного аппаратно-аналитического комплекса, получивший название ААК12 [1].

Структурная схема комплекса, показанная на рис. 1, не претерпела изменений с момента разработки. В тоже время некоторые решения, улучшающие технические характеристики, внесли корректировку в принципиальные схемы. Также для удобства в практическом применении ААК12 и программной доступности к узлам блоков при отладке и совершенствовании сервиса блоков изменены микропроцессорные программы, в том числе и те элементы программ, которые отвечают за эргономические требования на уровне пользовательского интерфейса человек-прибор.

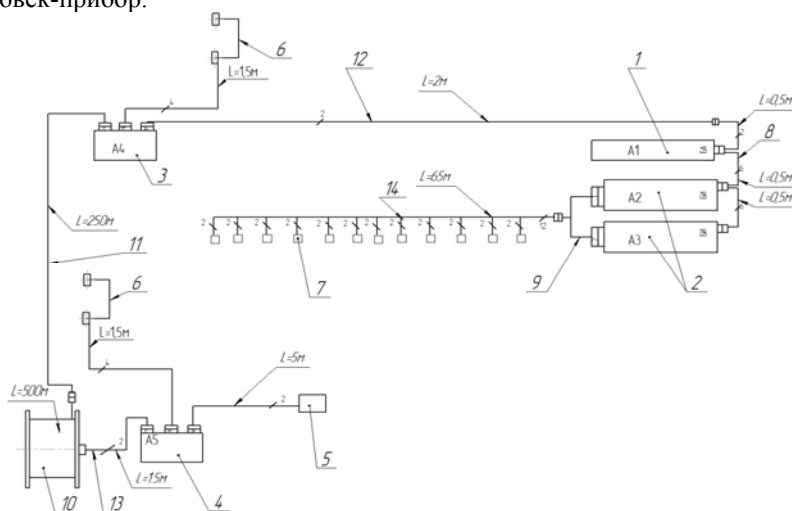


Рис. 1. Структурная схема автономного аппаратно-аналитического комплекса ААК12:

- 1 – блок анализа (А1); 2 – блоки измерительные (А2, А3);**
- 3 – блок связи центральный (А4); 4 – блок связи удаленный (А5);**
- 5 – отметчик момента; 6 – гарнитуры микрофонные;**
- 7 – геофоны; 8 – соединитель межблочный;**
- 9 – переходник; 10 – катушка; 11÷13 – соединители;**
- 14 – коса сейсмическая**

При работе комплекса в режиме накопления сейсмической информации важным фактором является время записи данных в измерительных блоках. В блоке анализа и блоках измерительных для энергонезависимого хранения данных используются SD карты памяти (Secure Digital Memory Card). Время записи оцифрованных сигналов не должно создавать временных ограничений на работу комплекса, вызывающих неудобства персонала. Для ускорения записи данных внесены изменения в согласование сигналов микропроцессора блоков с картой памяти. Полученные результаты, которые учитывают подходы изложенные в [2, 3], увеличили скорость в 16 раз. Это очень важный фактор, поскольку сокращается время ожидания готовности блоков очередного сейсмического сигнала, особенно в случаях, когда они следуют сериями.

Практика эксплуатации в институте сейсмического оборудования показала необходимость не только усовершенствования, но и создания новых компьютерных и микропроцессорных программ с целью улучшения, прежде всего, работоспособности и надежности аппаратуры в шахтных условиях, повышения удобства эксплуатации и информативности полученных данных. Новое микропроцессорное программное обеспечение написано по модульному принципу с использованием процедур и функций. Расширенное меню блока анализа ААК12 (рис. 2) и программный сервис всех блоков позволяет устанавливать параметры работы комплекса и записи файла данных сейсмического сигнала, просматривать файлы в графическом виде и проводить предварительный анализ. На этапе предварительной обработки данных отбраковываются трассы, какие не являются информативными. Сюда относятся: неработающие каналы; каналы, регистрирующие помеху при отсутствии полезного сигнала; каналы с нерегулярной помехой, что намного превышает полезный сигнал.

Разработанные компьютерные программы используют межблочный интерфейс ААК12, что позволяет совершать связь компьютера через адаптер с любым отдельным блоком комплекса как для чтения файлов данных и дальнейшей обработки геофизической информации, так и для анализа работы отдельных программных модулей и аппаратных узлов комплекса.

Таким образом, примененные технические решения и созданные компьютерные и микропроцессорные програм-



Рис. 2. Вид блока анализа ААК12

мы позволяют удобно совершенствовать сервис, развивать микропроцессорное программное обеспечение, обеспечивают контроль и независимое управление блоков анализа и измерения ААК12. Кроме того, созданы условия ремонтпригодности, программной доступности опроса узлов блоков рассматриваемого аппаратурного комплекса. Полученные результаты, в конечном итоге, позволят ожидать повышения качества получаемой информации и, соответственно, эффективности и удобства его использования в шахтных условиях практически любой сложности.

Литература

1. Автономный аппаратно-аналитический комплекс ААК12 для выявления геологических нарушений угольных пластов методами шахтной сейсморазведки / А. В. Анциферов, В. В. Туманов, А. А. Глухов, А. И. Архипенко // Наука та інновації. – 2014. – Т. 10, № 1. – С. 18-23.

2. Бобков П. Работа с SD картой. Подключение к микроконтроллеру. Ч 1. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://chipenable.ru/index.php/programming-avr/item/209-rabota-s-sd-kartoy-podklyuchenie-k-mikrokontrolleru-ch1.html>

3. Урок 23.1. Работа с внешней памятью [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://avr-start.ru/?p=1781>

УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИВОД ДЛЯ ВЕНТИЛЯТОРА МЕСТНОГО В ШАХТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

До Чи Тхань

*Информационных технологий и автоматизированных систем
управления институт НИТУ «МИСиС»*

В последние годы стремительно увеличивается интерес ученых к контроллерам, построенных на принципе нейронных сетей или имеющих их программную реализацию. Однако, большинство работ направлены на управление статическими объектами или объектами, параметры которых изменяются за значительное время в масштабе технологического процесса. В данной статье предлагается продемонстрировать использование нейронных сетей для управления сложным объектом с управлением скоростью асинхронного двигателя привод для вентилятора местного.

Практика показала, что попытки реализовать систему управления сложным объектом (преобразователем электрической энергии или электропривода) целиком на однородной нейронной сети не приводят к же-

лаемому результату – созданию нейросетевой системы управления, по эффективности близкой или превосходящей систему управления, построенную классическими методами. Причина кроется в том, что для построения такой системы необходима слишком большая сеть, практически трудно реализуемая на настоящем этапе и требующая предварительно обрабатываемой информации большой размерности. Такая сеть требует значительных объемов вычислений при моделировании и обучении. Поэтому целесообразнее использовать нейросетевое устройство в качестве одного из компонентов системы управления либо модуля принятия решений, передающего результирующий сигнал на другие элементы, не связанные непосредственно с искусственной нейронной сетью [3]. Проанализируем эффективность применения ИНС на примере использования нейросетевого наблюдателя потокосцепления ротора в системе асинхронного электропривода привод для вентилятора местного уголь шахта .

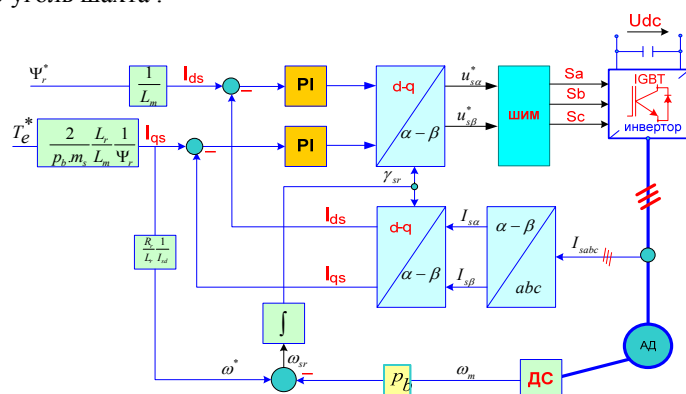


Рис 1. Блок-схема косвенная полевое управление (IFOC)

Разработка алгоритмов нейросетевой адаптации параметров ПИ-регулятора

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. Для решения данной проблемы можно применить методы адаптации параметров регулятора. Функциональная схема системы представлена на рисунке 2 [4].

В данной работе на основе модели нейроконтроллера с нейроумягителем, включающие многослойную нейронную сеть прямого распространения было реализовано управление скоростью асинхронного двигателя привод для вентилятора местного.

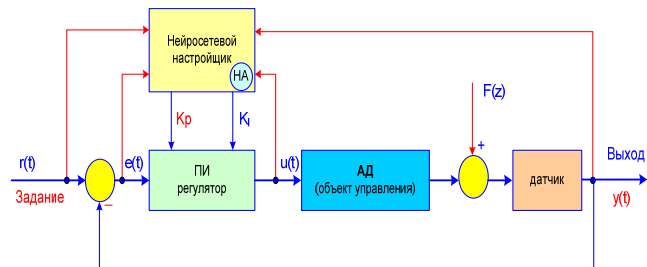


Рис 2. Схема управления с нейросетевым настройщиком параметров ПИ регулятора ($r(t)$ – задание, $e(t)$ – рассогласование, $u(t)$ – сигнал управления, $y(t)$ – выход объект управления, $F(z)$ – возмущающие воздействия)

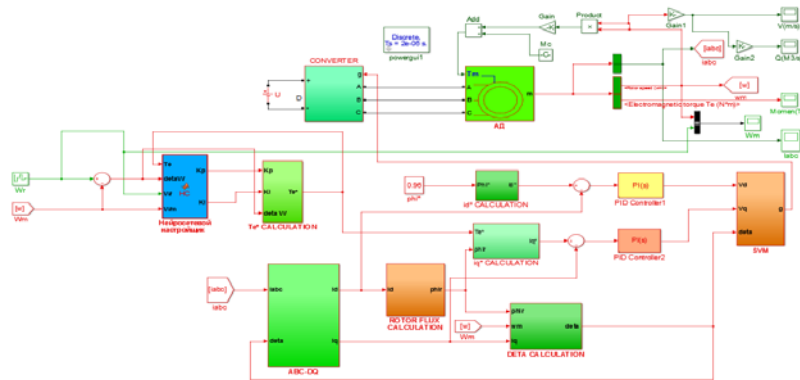


Рис 3. Simulink-модель следящей системы с нейро-ПИ управлением

Разработан алгоритм управления вентилятором местного проветривания обеспечивающий возможность адаптивной настройки параметров классического PID регулятора с использованием нейронного механизма.

Была доказана возможность использования искусственных нейронных сетей для решения задач, возникающих на этапах проектирования и дальнейшей эксплуатации асинхронных двигателей, о чем свидетельствуют полученные результаты. Была разработана методика, основанная на технологии ИНС, позволяющая исследовать АД при случайном моменте нагрузки.

Применение искусственных нейронных сетей в задачах электромеханики представляется очень перспективным как с точки зрения точности исследования самых разнообразных процессов, так и с точки зрения внедрения в производственный процесс последних достижений современной науки.

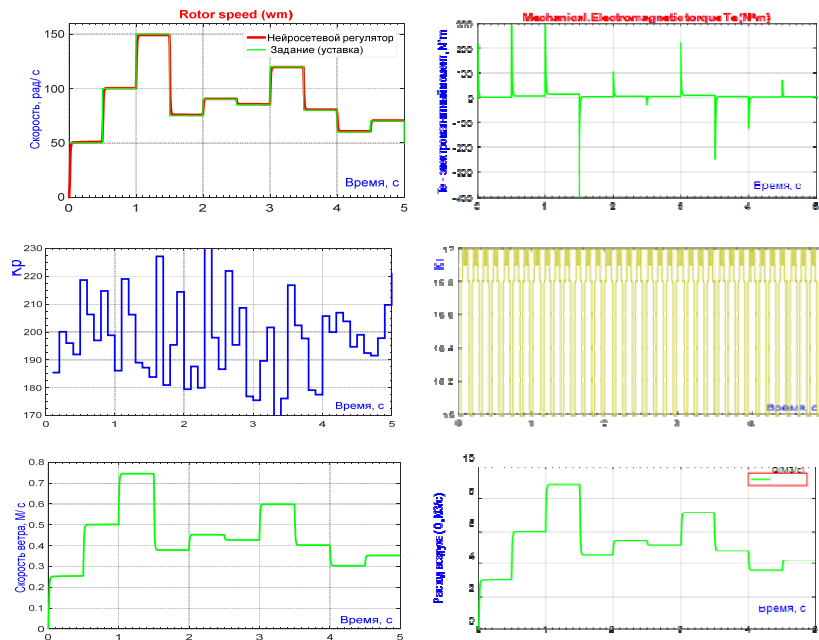


Рис.4. Результаты моделирования с нейроконтроллером

Применение модификации ПИД-регуляторов на основе нейронных сетей в системах управления вентиляции шахт позволит не только надежно решить техническую проблему создания нормальных атмосферных условий на горном предприятии, но и существенно снизить затраты на энергопотребление, за счёт потребления энергии ровно такого количества, какое требуется для снижения концентрации вредных веществ в подземных горных выработках до допустимого уровня.

Литература

1. А. И. Бобиков, к.т.н., доцент. Нейросетевое управление угловым положением двигателя постоянного тока. ISSN 1995-4565. Вестник РГРТУ. 2016. № 57. С.139.
2. А.М. Сагдатуллин. Нейросетевой контроллер для управления скоростью асинхронного двигателя. XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ. Москва 16-19 июня 2014 г. С. 4485.
3. Калачев Ю. Н. Векторное регулирование (заметки практика) 2013 г.
4. 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.

5. Kusuma Gottapu, U.Santosh Kiran, U.Srikanth Raju3 P.Nagasai, S.Prasad, P.Tejeswara Rao. Design And Analysis Of Artificial Neural Network Based Controller For Speed Control Of Induction Motor Using D T C. ISSN : 2248-9622, Vol. 4, Issue 4(Version 1), April 2014, pp.259-264. C.259.

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.

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В ШАХТЕ «ВЬЕТНАМА»

До Чи Тхань

*Информационных технологий и автоматизированных систем
управления институт НИТУ «МИСиС»*

В работе описывается использование двух моделей нейронных сетей для решения проблемы прогнозирования временных рядов. Скользящее окно использовалось вместе с исходным (начальным) методом обработки данных. В статье рассматривается сравнение возможностей прогнозирования моделей Эльмана и прямо распространённых нейронных сетей. Результаты были получены с использованием библиотеки Neural Network Toolbox IDE MatLab.

В последние годы, в прогнозировании широко используются методы искусственного интеллекта, такие, как экспертные системы, искусственные нейронные сети и т. д. Существует много моделей нейронных сетей. В прогнозировании чаще всего используются методы нейронной сети прямого распространения и нейронные сети Элмана с обратными связями,

в которых применяется скользящее окно над последовательностью [2],[5]. Целью данной работы является сравнение строения нейронных сетей Элмана и нейронной сети прямого распространения для прогнозирования временных рядов.

Нейронная сеть прямого распространения и нейронная сеть Элмана

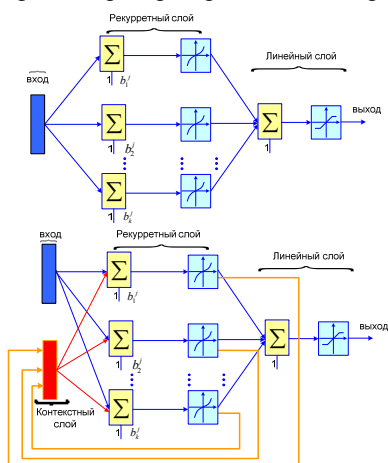
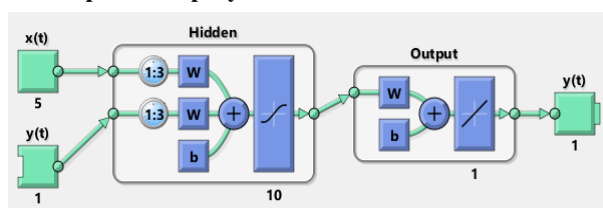


Рис 1. Строение нейронных сетей прямого распространения и сетей

Эксперименты

Для эксперимента, у нас есть набор данных временных рядов, который дает почасовую информацию о концентрации метана. Этот набор данных содержит информацию о концентрации метана в шахте Мао Хе (Вьетнаме) по минутам ($t = 120$ мин). Мы используем 85% данных для обучения сети и 15% данных для тестирования. Мы используем 85% данных для обучения сети и 15% данных для тестирования. В учебном процессе мы используем алгоритм метода обратного распространения Levenberg-Маркуарт. Результаты были получены с помощью библиотеки Neural Network Toolbox IDE MatLab. В MatLab есть специальные сети для прогнозирования временных рядов. К ним относятся: NARX (Нелинейная авторегрессия с внешним источником) сеть основанная на нейронной сети Эльмана, сеть NIO (Нелинейная ввода-вывода) на основе нейронной сети прямого распространения.

1. Прогнозирование результатов с сетью NARX



Для осуществления прогнозирования наиболее приемлемой оказалась сеть следующей структуры: $N(i_5, h_{10}^1, o_1)$, $\Delta t = 3$.

Рис 2. Структура сети NARX

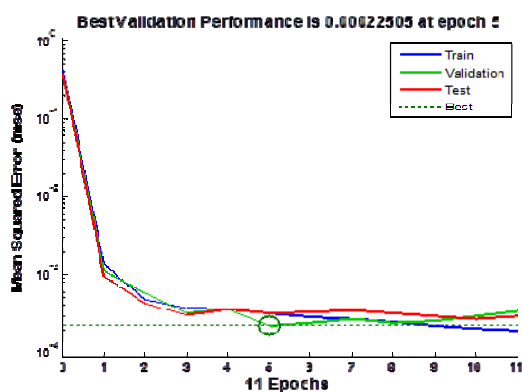


Рис 3. Процесс обучения нейросети с сетью NARX.

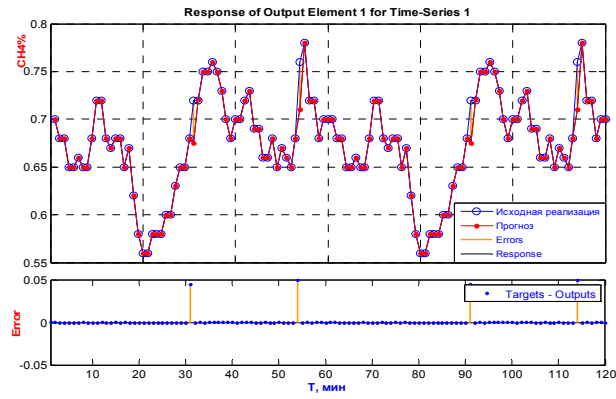


Рис.4. Результаты прогнозирования концентрации метана с сетью NARX.

2. Прогнозирование результатов с NIO сети.

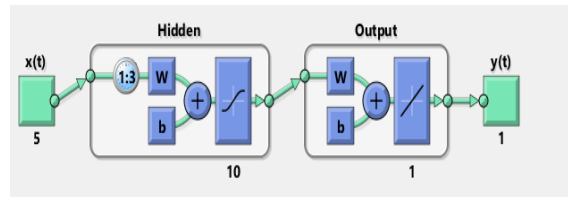


Рис 5. Структура сети NIO

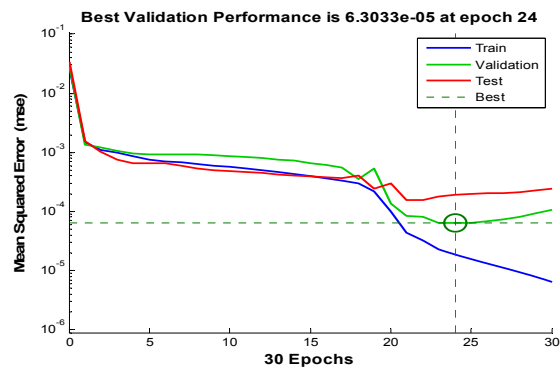


Рис 7. Процесс обучения нейросети с NIO сети

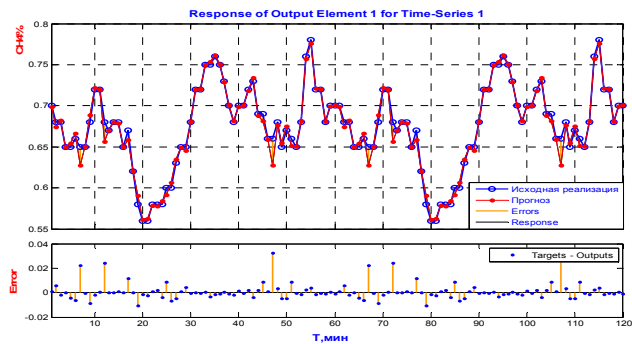


Рис.5. Результаты прогнозирования концентрации метана с NIO сети

Наше исследование показало, что нейронные сети прямого распространения и нейронные сети Эльмана хорошо применимы для прогнозирования временных рядов. Для обучения мы использовали алгоритм обратного распространения для нейронных сетей Levenberg-Marquart. Наши эксперименты показывают, что модель нейронной сети NARX более эффективна, чем модель нейронной сети NIO и, что процесс обучения также не занимает больше времени в модели нейронной сети NARX, чем в модели нейронной сети NIO. В нашем эксперименте наборов данных мы используем только последние 15 % данных в тестировании. Такой подход помогает нам выбрать наилучшую структуру сети для задач прогнозирования.

Данные результаты позволяют говорить о нейронных сетях как о мощном инструменте для решения задачи краткосрочного прогнозирования и альтернативой традиционным статистическим методам.

Литература

1. Хужаев О.К., Ядгаров Ш.А., Пак В.С. Сравнение моделей нейронной сети для прогнозирования временных рядов // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. XXXV междунар. науч.-практ. конф. № 6(31). – Новосибирск: СибАК, 2014.
2. Liang Yongchun. Application of Elman Neural Network in Short-Term Load Forecasting. International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence 2010.
3. Mehdi Khashei, Mehdi Bijari. A new class of hybrid models for time series forecasting. Expert Systems with Applications 39(2012) 4344—4357.
4. Mehdi Khashei, Mehdi Bijari. An artificial neural network (p.d.q) model for timeseries forecasting. Expert Systems and Applications 37(2010) 479—499 p.

5. Zaiyong Tang, Paul A. Fishwick. Feed-forward Neural Nets as Models for Time Series Forecasting. Department of Computer & Information Sciences, University of Florida

6. Armando Bernal, Sam Fok, Rohit Pidaparathi. Financial Market Time Series Prediction with Recurrent Neural Networks, December 14, 2012

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЙ В ХВОСТАХ ОБОГАЩЕНИЯ НА КАЧЕСТВЕННО-КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БАЛАНСОВЫХ И ЗАБАЛАНСОВЫХ ЗАПАСОВ КАРЬЕРА

Агабалян А.Ю.

ЗАО «Геоэкономика»

Введение. Эффективность деятельности горно-обогатительного комбината (ГОК) зависит от эффективности производства обеих составляющих: горной и обогатительной. Очевидно, что оптимизация производства концентрата будет неполноценной при неоптимальной технологии добычи руды. Точно так же, оптимизировав процесс добычи руды, работа ГОКа не будет эффективной при неоптимальном извлечении ценного компонента в концентрат. Известно, что качественно-количественные показатели добычи руды напрямую влияют на качественно-количественные показатели обогащения. Однако малоизученной является обратная связь: влияние качественно-количественных показателей обогащения на аналогичные показатели забалансовых и балансовых запасов руды в контурах карьера.

Постановка задачи и методы исследования. В первую очередь, рассмотрим влияние показателей обогащения на количество и качество забалансовых запасов. Если в определении верхнего предела диапазона содержаний забалансовых руд все очевидно и принимается минимальное промышленное содержание, то при определении нижнего предела – не все так однозначно. Существуют разные подходы в определении бортового содержания забалансовых запасов, разграничивающие забалансовые руды от вскрышных пород. Так, например, в российских Методических рекомендациях [1] по этому поводу отмечается: «Основным критерием для определения уровня бортового содержания таких запасов служит их технологичность, т.е. возможность получения из них товарной продукции. В качестве бортового содержания для таких руд устанавливается содержание, приближающееся к содержаниям в хвостах обогащения или шлаках (отходах) прямого металлургического (химического) передела руд, но не ниже.»

С приведенным подходом можно полностью согласиться, если принять, что фактические содержания хвостов обогащения конкретного

недропользователя (при переоценке запасов действующего комбината) имеют отвальное значение и дальнейшее доизвлечение полезного компонента либо технологически невозможно, либо экономически нецелесообразно. На практике, к сожалению, это не всегда соответствует действительности и в хвостохранилища нередко складываются отходы, из которых можно экономически обоснованно доизвлечь полезные компоненты.

Результаты исследования. Для рассмотрения технологического аспекта данной проблемы, воспользуемся прямолинейной зависимостью [2] между содержаниями полезного компонента в хвостах обогащения θ и в перерабатываемой руде α :

$$\theta = a\alpha + b, \quad (1)$$

где a и b – параметры регрессии прямолинейной аппроксимации данных.

Формулы определения параметров регрессии обоснованы в работе [3] и для действующих предприятий имеют следующий вид:

$$a = \frac{\theta_0}{2\alpha_0}, \quad b = \frac{\theta_0}{2}, \quad (2)$$

где θ_0 и α_0 – средневзвешенные за оцениваемый период фактические содержания полезного компонента в хвостах обогащения и в перерабатываемой руде, соответственно.

Учитывая, что склады забалансовых руд являются техногенными месторождениями будущих поколений и могут приобрести экономическую (балансовую) значимость через десятилетия, нижний предел содержания тахируд может быть определен [4] при нулевом извлечении ε . Произведя несложные преобразования известных соотношений баланса металла, с учетом уравнения (1) получим формулу (3) определения извлечения полезного компонента в концентрат

$$\varepsilon = \frac{\beta[\alpha(1 - a) - b]}{\alpha(\beta - a\alpha - b)}, \quad (3)$$

где β – содержание полезного компонента в концентрате.

Содержание ценного компонента в хвостах обогащения, по сути, представляет собой неизвлекаемое содержание α_n для данной технологии, т.е. при $\varepsilon = 0$ (выражение в квадратных скобках числителя равно нулю). Так как неизвлекаемое содержание α_n полностью переходит в хвосты обогащения, то практически оно выражает величину технологического минимума содержания хвостов обогащения θ_{\min}^T данной руды при применяемой технологии, т.е.:

$$\alpha_n = \theta_{\min}^T = \frac{b}{1 - a}, \quad (4)$$

Полученное значение является более объективным по сравнению с фактическими хвостами обогащения и может быть рекомендовано в качестве бортового содержания забалансовых руд.

Рассмотрим теперь влияние содержания в хвостах обогащения на качество и количество балансовых запасов карьера, которые являются функцией от одного из параметров кондиций – предельной глубины открытой разработки. Отмеченный, один из главных параметров карьера, определяется из условия равенства граничного и контурного коэффициентов вскрыши. В монографии [2] предложена методика определения граничного коэффициента ($K_{гр}$) вскрыши для открытого и комбинированного способов разработки. Формула определения $K_{гр}$ для первого случая имеет следующий вид:

$$K_{гр} = \alpha_{усл} b_1 - b_2, \quad (5)$$

где $\alpha_{усл}$ – содержание ценного компонента в перерабатываемой руде, % (г/т),

$$b_1 = \frac{U_K}{(\beta - \theta_{усл}) Z_B}, \quad (6)$$

$$b_2 = \frac{U_K \theta_{усл}}{(\beta - \theta_{усл}) Z_B} + \frac{Z_{д.п.}}{Z_B}, \quad (7)$$

где U_K – цена концентрата, дол/т; β – содержание ценного компонента в концентрате, %, (г/т); θ – содержание ценного компонента в хвостах обогащения, %, (г/т); Z_B – себестоимость удаления 1т вскрыши, дол/т; $Z_{д.п.}$ – себестоимость добычи (без вскрыши) и переработки 1 т руды, дол/т.

Для анализа уравнения (5), вернем ему первоначальный вид, без введенных обозначений (6) и (7):

$$K_{гр} = (\alpha - \theta) \frac{U_K}{(\beta - \theta) Z_B} - \frac{Z_{д.п.}}{Z_B} \quad (8)$$

Уравнение (8) представляет собой гиперболическую зависимость граничного коэффициента вскрыши от содержания ценного компонента в хвостах обогащения, т.к. остальные величины являются постоянными (стабильное содержание ценного компонента в перерабатываемой руде и концентрате – основное условие эффективной работы обогатительной фабрики).

Проведем анализ этой зависимости на примере добычи и обогащения двухкомпонентной руды Агаракского медно-молибденового горно-обогатительного комбината (Республика Армения). Средние за 5-ти летний период технико-экономические показатели приведены в таблице 1.

Таблица 1

№	Наименование показателей	Cu	Mo	Cu _{усл}
1	Содержание в перерабатываемой руде, %	0.322	0.017	0.378
2	Содержание в хвостах обогащения, %	0.089	0.0055	0.105
3	Содержание в одноименном концентрате, %	23.81	48.51	27.30
4	Выход концентрата, доли ед.	0.0098	0.0002	0.0100
5	Извлечение в концентрат, доли ед.	0.7253	0.6655	0.7240
6	Цена концентрата, дол/т	1077.5	8144.9	1237.7
7	Затраты на добычу и обогащение (без затрат на вскрышные работы), дол/т	7.6		
8	Затраты на вскрышные работы, дол/т	1.1		

Подставив в уравнение (8) соответствующие значения из табл.1, получим зависимость граничного коэффициента вскрыши от содержания условной меди в хвостах обогащения:

$$K_{гр} = (0.378 - \theta_{усл}) \frac{1237.7}{1.1(27.30 - \theta_{усл})} - 0.91 \quad (9)$$

С математической точки зрения, полученная зависимость является гиперболической, график которой состоит из двух ветвей.

С практической точки зрения интересующая нас область графика находится на нижней ветви гиперболы с положительными значениями функции и аргумента, т.е. проходящей через первую четверть координатной плоскости.

Отмеченная область гиперболы настолько мала и имеет настолько большой радиус кривизны, что практически не отличается от прямой на данном участке.

Определив точки пересечения прямой с осями координат, получим теоретически максимальное значение граничного коэффициента вскрыши при полном извлечении ($\theta=0$) условного компонента в концентрат (10) и содержание в хвостах обогащения (11), при котором удаление вскрышных пород убыточно ($K_{гр}=0$):

$$\lim_{\theta_{усл} \rightarrow 0} K_{гр} \rightarrow K_{гр}^{макс} = 8.68, \quad (10)$$

$$\lim_{K_{гр} \rightarrow 0} \theta_{усл} \rightarrow \theta_{усл}^{макс} = 0.212. \quad (11)$$

Уравнение прямой, проходящей через полученные две точки будет иметь вид

$$K_{гр} = K_{гр}^{макс} - \frac{K_{гр}^{макс}}{\theta_{усл}^{макс}} \theta_{усл} \quad (12)$$

Подставив рассчитанные показатели (10) и (11) в выражение (12), для рассматриваемого случая получим уравнение зависимости граничного коэффициента вскрыши от условного содержания основного компонента в хвостах обогащения:

$$K_{гр} = 8.68 - 40.94 \alpha_{хвст} \quad (13)$$

С использованием исходных данных табл.1, уравнение зависимости (5) граничного коэффициента вскрыши от условного содержания основного компонента в перерабатываемой руде примет следующий вид:

$$K_{гр} = 41.38 \alpha_{руд} - 11.27 \quad (14)$$

Совмещенный график прямых (13) и (14) представлен на рис.2.

Точки А и В соответствуют фактическим качественным показателям хвостов обогащения и перерабатываемой руды, при которых фактический граничный коэффициент вскрыши равен 4.38, т/т.

Точки С и D отражают содержания в хвостах 0.212% и в перерабатываемой руде 0.272%, при которых удаление вскрышных пород убыточно ($K_{гр}=0$).

Точка Е соответствует максимально достижимому граничному коэффициенту вскрыши при доведении величины содержания в хвостах до технологического минимума $\alpha_{хвст}^{\text{тех}} = 0.061\%$, которое равнозначно содержанию в перерабатываемой руде 0.421% (точка F).

Анализ графика зависимости (13) позволяет выделить 3 интервала:

- 1 – Технологически недостижимый – от нулевого значения содержания в хвостах обогащения до технологического минимума (точка Е);
- 2 – Технологически достижимый – от технологического минимума(Е) содержания в хвостах обогащения до фактического значения (А);
- 3 – Низкой эффективности – от фактического значения содержания в хвостах обогащения (А) до точки (С) убыточности вскрышных работ ($K_{гр}=0$).



Рис. 1. Графики зависимостей граничного коэффициента вскрыши от содержаний условной меди в хвостах обогащения и перерабатываемой руде

Выводы. Анализ известных и полученных зависимостей выявил степень влияния содержания в хвостах обогащения на величины балансовых и забалансовых запасов открытой разработки.

Предложена методика определения бортового содержания забалансовых руд, значительно расширяющая сырьевую базу месторождения.

Выявлено влияние содержания в хвостах обогащения на величину граничного коэффициента вскрыши. Показано, что снижение содержания в хвостах обогащения в интервале от фактического до технологического минимума приводит к значительному росту граничного коэффициента вскрыши, а, следовательно, к росту величины балансовых и забалансовых запасов в расширенных контурах карьера.

Литература

1. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). ФГУ ГКЗ РФ. Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р.- С. 49.

2. Агабалян Ю.А. Общая теория оптимального освоения недр (твердые полезные ископаемые). – Saarbrücken, Германия: Palmarium Academic Publishing, 2015. – С. 288.

3. Агабалян А.Ю. Математическое обоснование зависимостей технологических показателей обогащения от качества исходной руды / Недропользование – XXI век. — 2016. — №6(63). — С. 96-104.

4. Агабалян А.Ю. Техничко-экономическое обоснование полноты извлечения металлов в концентрат/ Вестник Национального Политехнического Университета Армении – Металлургия, Материаловедение, Недропользование – 2016 – №2 – С. 97-108.

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ НОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Кубрин С.С., Решетняк С.Н., Бондаренко А.М.

ИПКОН РАН, НИТУ МИСиС, АО «СУЭК-Кузбасс»

Уголь является одним из основных экспортных товаров Российской Федерации. В настоящее время, Российская Федерация, как производитель угля в мировом масштабе, по данным Министерства энергетики РФ, занимает 6 место. Первое место по производству угля занимает Китай, второе место – Соединенные штаты Америки, третье место – Индия, четвертое место – Австралия, пятое место – Индонезия. Несмотря на то, что по последние годы достаточно активно развиваются технологии по производству энергии из альтернативных источников, по прогнозам Министерства энергетики РФ к 2035 году производство тра-

диционных энергоносителей, в частности угля, будет только возрастать [1]. Следует отметить, что в связи со значительным падением цен на энергоресурсы, в частности на уголь, с 140 \$ (в 2014 году) до 51 \$ (в 2017 году) за тонну, угольные предприятия находятся в поиске современных технологий позволяющих снизить себестоимость продукции, с целью повышения конкурентоспособности продукции. В минерально-сырьевом кластере Российской Федерации значительную роль играет процесс добычи угля подземным способом [2]. Этот способ добычи достаточно энергозатратен. На угольных шахтах потребляется ряд энергетических ресурсов, таких как электрическая и тепловая энергия, природный газ, уголь (основные энергоресурсы), а также моторное топливо и т.д. (неосновные энергоресурсы). Однако, до 70 – 80 % в энергетическом балансе угольной шахты, достигает потребление электрической энергии, поэтому необходимо данному энергетическому ресурсу уделить достаточно большое внимание.

Для дальнейшего исследования влияния потребления энергетических ресурсов на выдачу продукции следует ввести понятие энергоёмкость производства. Под этим понятием следует понимать отношение потребленного энергетического ресурса на основные и вспомогательные технологические процессы по добыче полезного ископаемого, на единицу произведенной (добытой) продукции [3]. Основными мероприятиями по снижению энергоёмкости добычи угля является модернизация основного технологического оборудования, внедрения новых технологий по добыче угля, минимизация потерь энергоресурсов при их транспортировке, разработка современных средств и систем учета энергоресурсов, повышение уровня нормирования энергопотребления за счет внедрения современных методик в производство. Поэтому повышение уровня нормирования электропотребления, как основного энергетического ресурса угольной шахты, является актуальной и требующей решения задачей.

В большинстве случаев на угольных шахтах учет потребленной электрической энергии, подземными потребителями осуществляется, на фидерных ячейках Центральной понизительной подстанции. Анализ режимов работы электрооборудования, расположенного в подземных горных выработках угольных шахт, производится на основе оценки электрического баланса потребителей участковой понизительной подстанции при условии, что в ее состав входит «умная» ячейка, способная накапливать и передавать сведения об основных электрических параметрах работы понизительной подстанции [4]. Этого явно не достаточно для определения нормируемых показателей работы оборудования расположенного в различных технологических цепочках производства, и запитанных от одной «высоковольтной» ячейки. В качестве счетчиков электрической

энергии обычно выступают аналоговые индукционные счетчики энергии, у которых отсутствует возможность по архивированию показаний, поэтому для приведения режимов работы к определенным, нормируемым показателям электропотребления необходимо создание Автоматизированной информационно – измерительной системы технического учета электроэнергии. Данная система будет в автоматическом режиме отслеживать режимы потребления электроэнергии, что позволит оперативно производить корректировку режимы работы оборудования с целью обеспечения высокой производительности угледобывающих предприятий, в частности угольных шахт [5, 6, 7]. Кроме того, известно, что повышение производительности ряда горных машин практически всегда приводит к снижению удельных расходов электроэнергии [8, 9].

Существует несколько подходов к решению задачи по снижению удельных расходов при добыче полезных ископаемых подземным способом. Первый подход – рыночный. Этот подход предполагает что, рынок сам заставит вынудить производителя продукции, в данном случае угольной шахты, заниматься снижением удельных расходов электроэнергии при производстве для повышения конкурентоспособности продукции. Вторым подход – государственный. Этот подход подразумевает жесткое государственное нормирование удельных расходов энергоресурсов, в частности электроэнергии, на выдачу продукции и постепенное снижение удельных норм. В Российской Федерации в качестве приоритетного подхода принят второй подход, а именно государственное нормирование удельных расходов энергоресурсов. В соответствии с этим, Президентом Российской Федерации был подписан Федеральный закон №261 от 23 ноября 2009 года «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» в котором основная цель является создание правовых, экономических и организационных основ повышения энергетической эффективности [10].

Основоположником работ по анализу, расчету и нормированию электропотребления следует считать В.И. Вейца. Дальнейшие теоретические и практические исследования нормирования электропотребления были проведены И.В. Гофманом, которым была предложена методика нормирования энергопотребления на основе построения энергетических характеристик, связывающих расходы энергии с производительностью и некоторыми другими факторами энергоиспользования [11, 12].

В настоящее время имеется достаточно большое количество методик нормирования электропотребления, в том числе и угледобывающих предприятий [12], однако в практическом плане их использование достаточно проблематично ввиду наличия ряда специфических факторов, того или иного угольного предприятия. Не учет этих факторов приво-

дит к неприемлемо большим погрешностям при нормировании электропотребления конкретными потребителями. Наибольшее распространение на угледобывающих предприятиях получили несколько методов нормирования электропотребления:

- Расчетно-аналитический (основной) метод;
- Расчетно-экспериментальный (опытный) метод;
- Расчетно-статистический метод.

Расчетно-аналитический метод определения норм расхода электроэнергии базируется на теоретических расчетах, связывающих установленную (номинальную) мощность электроприемника с показателями его загрузки и режима работы. Этот метод положен в основу «Инструкции, по расчету норм расхода электроэнергии в угольной промышленности» [13].

Расчетно-экспериментальный (опытный) метод [14] основывается на опытном (экспериментальном) определении удельных расходов электроэнергии для операций, машин, механизмов и установок, соответствующих конкретным условиям и оптимальным режимам работы. Результаты экспериментальных исследований, как правило, представляются в виде энергетических характеристик, графиков, номограмм или эмпирических формул.

Расчетно-статистический метод [15] основан на использовании средних эксплуатационных отношений количества расходуемой электроэнергии к количеству добытого полезного ископаемого. Данный метод применяется в порядке исключения, при отсутствии необходимых условий для определения нормирования электропотребления по одному из двух первых методов.

В заключении следует отметить, что детальное рассмотрение всех трех методов определения удельных расходов электроэнергии применительно к современным условиям угольных шахт показало, что не один из выше представленных методов не в состоянии достоверно, с высокой степенью точности, определить удельные нормы электропотребления на конкретные виды оборудования или работ. Ввиду того, что современное угледобывающее предприятие – это многофакторная динамическая система, развивающаяся во времени и пространстве состояние которой от ряда горно-геологических, технологических и технико-экономических факторов, которые связаны между собой. Поэтому необходимо разработать новый метод по определению удельных норм электропотребления угольных шахт, с учетом положительных аспектов трех вышеперечисленных методов, и на основе разработанной методики повысить уровень нормирования электропотребления угольных шахт, тем самым повысить энергоэффективность и конкурентоспособность предприятия.

Литература

1. <http://minenergo.gov.ru/node/4912>
2. Fashilenko V.N., Reshetnyak S.N. Improving the energy performance of industrial enterprises. Miner's week-2015 // Reports of the XXIII International scientific symposium. 2015. pp. 570–573.
3. Пичуев А.В., Овсянников Н.Б. Методы прогнозирования электрической нагрузки на горнодобывающих предприятиях. ГИАБ (научно-технический журнал), 2015. – №1. – с.292 – 296.
4. Ляхомский А.В., Фащиленко В.Н. Теория и практика проведения энергетических обследований предприятий минерально-сырьевого комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 1. С. 525–529.
5. Кубрин С.С., Решетняк С.Н. Автоматизированная информационно-измерительная система технического учета электроэнергии для подземных горных работ. Горный журнал №1 2016 г. с. 87-90.
6. 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.
7. 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.
8. Басистый Е.Я. Возможности сокращения потребления электроэнергии на шахте // Энергосбережение (Украина). – 2002. – № 2. – С. 2-8.
9. Захарова А.Г. Энергосберегающие нагрузки устойчивой работы горных машин // Динамика и прочность горных машин: тез. докл. Междунар. конф., 21-24 мая. - Новосибирск, 2001. - С. 123-124.
10. Федеральный закон №261 от 23 ноября 2009 года «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
11. Гофман И.В. Нормирование потребления электроэнергии и энергетические балансы промышленных предприятий / И.В. Гофман. - М.: Энергия, 1966. – 319 с.
12. Захарова А.Г. Закономерности электропотребления на угольных шахтах Кузбасса: монография; Гос. учреждение Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2002. -198 с.
13. Инструкция по расчету норм расхода электроэнергии в угольной промышленности ВН 12.25.007-81. – М.: Минуглепром СССР, 1981.-75с.
14. Волощенко Н.И. Эффективное использование электроэнергии и топлива в угольной промышленности / Н.И. Волощенко и др. Под ред. Э.П. Островского, Ю.П. Миновского. - М.: Недра, 1990. – 407 с.
15. Олейников В.К. Анализ и планирование электропотребления на горных предприятиях. – М.: Недра, 1983. – 192с.

ГИБРИДНЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ АКТИВНОГО И ПАССИВНОГО ФИЛЬТРОВ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В УСЛОВИЯХ МНОГИНВЕРТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Абрамович Б.Н. Сычев Ю.А. Зимин Р.Ю.

Санкт-Петербургский горный университет

В настоящее время на промышленных предприятиях минерально-сырьевого комплекса внедряются электроприводы с многоинвертоным преобразователем частоты для уменьшения стоимости основного энергетического оборудования. Применение многоинверторного преобразователя частоты нашло место для питания электродвигателей с исполнительными механизмами различного функционального назначения. Структурная схема многоинверторного электропривода представлена на рисунке 1.

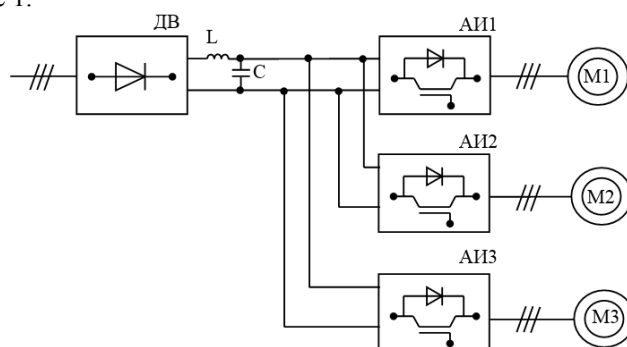


Рис.1. Структурная схема многоинверторного электропривода
*ДВ – диодный выпрямитель; С – конденсатор; L – индуктивный
фильтр; АИ – автономный инвертор; М – асинхронный
двигатель с короткозамкнутым ротором*

Многоинверторный электропривод насосных, водоотливных, вентиляторных и других технологических установок является одним из основных источников высших гармонических составляющих в системах электроснабжения предприятий минерально-сырьевого комплекса.

Для снижения величины высших гармонических составляющих необходимо применять различные специализированные устройства. Пассивный фильтр представляет собой последовательно соединенные индуктивность (L) и емкость (C), настроенный на устранение или уменьшение величины только отдельной гармонической составляющей, нахо-

дющейся в каждой фазе трехфазной системы электроснабжения. Фильтр обеспечивает компенсацию реактивной мощности и настраивается на частоту устранения необходимой гармонической составляющей. Активные фильтры используют для решения большинства задач качества электроэнергии — это и фильтрация гармоник, их подавление практически вплоть до полной ликвидации, а также управление реактивной мощностью для коррекции $\cos \varphi$.

Помимо типичных структур коррекции синусоидальных кривых тока и напряжения существуют и другие – гибридные структуры компенсации высших гармоник.

Для компенсации высших гармонических составляющих предлагается использовать общее звено постоянного тока для подключения автономных инверторов преобразователя частоты и гибридного электротехнического комплекса на основе активных и пассивных фильтров. Структурная схема устройства компенсации и многоинверторного электропривода представлена на рисунке 2.

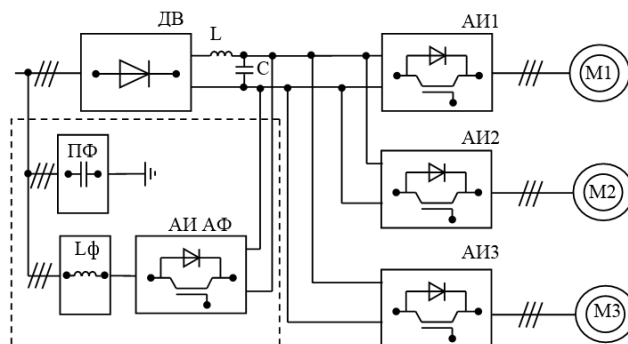


Рис. 2. Структура гибридного комплекса с многоинверторным преобразователем частоты и общим звеном постоянного тока
ДВ – диодный выпрямитель; С – конденсатор; L – индуктивный фильтр; АИ – автономный инвертор; М – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором; ГЭК – гибридный электротехнический комплекс; АИ АФ – инвертор активного фильтра; Lф – выходной дроссель для активного фильтра; ПФ – высокочастотный емкостной пассивный фильтр

Разработанный гибридный электротехнический комплекс (ГЭК) имеет ряд отличительных особенностей. Входящий в его состав активный фильтр подключен с состав звена постоянного тока многоинверторного преобразователя частоты, что значительно удешевляет стоимость разработанного фильтрокомпенсирующего устройства по сравнению с существующими в настоящее время аналогами.

Преимущества разработанной структурной схемы заключаются в следующем:

1. При использовании одного диодного выпрямительного моста используется только один активный фильтр для обеспечения компенсации высших гармоник и стремлении коэффициента мощности к 1.

2. Обеспечиваются перетоки электроэнергии от одного электродвигателя к другому при работе одного из них в генераторном режиме (режиме рекуперативного торможения).

3. Обеспечивается повышенный уровень электромагнитной и электроэнергетической совместимости.

4. Данная установка обладает наилучшими массогабаритными показателями.

Литература

1. Абрамович Б.Н., Устинов Д.А., Сычев Ю.А., Шклярский А.Я. Методы компенсации провалов и искажений напряжения в электрических сетях нефтедобывающих предприятий. // Нефтяное хозяйство. 2014. № 8. С. 110-112.

2. Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А., Мингазов А.С., Полищук В.В. О компенсации высших гармоник тока и напряжения, создаваемых источником бесперебойного питания. // Нефтяное хозяйство. 2013. № 10. С. 126-127.

3. Tenti P., Costabeber A., Mattavelli P., «Improving power quality and distribution efficiency in micro-grids by cooperative control of switching power interfaces», in: Proceedings of 2010 International Power Electronics Conference (IPEC-Sapporo 2010), Sapporo (Japan), June 2010, pp. 472-479.

4. Дмитриев Б.Ф., Галушин С.Я. Топологии корректоров коэффициента мощности в автономных системах электропитания. // Морской вестник. 2013. № 1S (10). С. 37-40.

5. Розанов Ю.К., Гринберг Р.П. Гибридные фильтры для снижения несинусоидальности тока и напряжения в системах электроснабжения. // Электротехника. 2006. № 10. С. 55.

6. Salmeron P., Litran S. P., «Improvement of the electric power quality using series active and shunt passive filters», IEEE transactions on power delivery 25-2 (April) (2010) 1058-1067.

7. Costabeber A., Erseghe T., Tenti P., Tomasin S. (2011). Optimum control of distributed energy resources in residential micro-grids. IEEE PowerTech Conference, Trondheim (Norway), 19-23 June 2011, p. 1, ISBN: 9781424484195, doi: 10.1109/PTC.2011.6019445.

8. Патент № 2514439, Российская Федерация, МПК H02J3/01. Устройство компенсации высших гармоник, адаптированное к электроприводу переменного тока / Мещеряков В.Н., Безденежных Д.В., Хабибулин М.М., Мещерякова О.В. – № 2012133840/07; заявл. 07.08.2012; опубл. 27.04.2014, Бюл. №12.

9. Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А., Зимин Р.Ю. Оценка эффективности гибридных систем коррекции формы кривых тока и напряжения в электрических сетях с распределенной генерацией. // Промышленная энергетика, № 8, 2015 г., с. 49-53.

10. Rozanov Y.K., Lapanov M.G., Kiselev M.G. Multifunctional controller based on a power electronic converter. Russian Electrical Engineering. 2014. vol. 85. № 8. pp. 527-535.

ВЛИЯНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ШАХТНОЙ СЕТИ

Буй Чунг Кьен¹, Кубрин С.С.², До Ван Ванг³

¹ НИТУ «МИСиС»; ² ИПКОН РАН;

³ Куангниньский промышленный университет, Вьетнам

В настоящее время, требование эффективного использования энергоресурсов становится все более актуальной в промышленности и при большом расходе энергии особенно для угольных шахт. Таким образом, эффективное использование энергии принесёт значительную экономическую выгоду, будет способствовать снижению себестоимости производства угля. Для развивающихся стран (в том числе Вьетнама), на открытых работах и шахтах, большинство единиц технологического оборудования разработано в 80-е годы прошлого века, которые не обеспечивают удаленного управления горным производством. Высокоэффективный способ использования электроэнергии предприятием основывается на применении современных технологических систем управления.

С развитием науки и технологий, несколько компаний в мире выпускают взрывобезопасные преобразователи частоты, которые используются на горных предприятиях. Управление двигателем может быть основано на использовании интерфейса преобразователя частоты, а также с помощью иных устройств для мониторинга и управления на расстоянии. Кроме этого, для подключения взрывобезопасного преобразователя частоты к периферийным устройствам (ПЛС, Датчик), обеспечена поддержка интерфейсов в соответствии с стандартами Modbus, Profibus-DP и Ethernet.

У использования преобразователей частоты есть достоинства: экономия энергоресурсов, увеличение сроков службы технологического оборудования, снижение затрат на плановые, предупредительные и ремонтные работы, обеспечение оперативного управления и достоверного контроля за ходом технологических процессов и др. Регулирование скорости вращения асинхронного электродвигателя производится путем изменения частоты и величины напряжения питания двигателя. КПД

такого преобразования составляет от 96 до 98%, из сети потребляется практически только активная составляющая тока нагрузки, микропроцессорная система преобразователей частоты обеспечивает высокое качество управления электродвигателем и контролирует его параметры, предотвращая возможность развития аварийных ситуаций.

С помощью преобразователя частоты, можно управлять системами приводов и обеспечить автоматизацию их работы, включая пуск, торможение, реверс и изменение скорости вращения электродвигателя и т.д. Преимущества преобразователей частоты автоматический пуск, который обеспечивает плавное включение пусковых сопротивлений электродвигателя, возможность изменения тока в допустимых пределах, что значительно уменьшит развитие неблагоприятных процессов, возникающих при пуске, что повысит производительность системы привода. То же самое относится к реверсу и торможению. При использовании преобразователей частоты устраняется один из существенных недостатков электродвигателей с короткозамкнутым ротором — независимость скорости вращения ротора электродвигателя от нагрузки. Преобразователь частоты, позволяет управлять скоростью электродвигателей в соответствии с характерами нагрузки. Это в свою очередь позволяет избегать сложных переходных процессов в электрических сетях, обеспечивая работу оборудования в наиболее экономичном режиме.

Ограничения использования преобразователей частоты

На сегодняшний день, на промышленных предприятиях используются преобразователи следующих производителей ABB, FUJI, TOSHIBA, MITSUBISHI, OMRON (Японии), SIMENS, LENZE (Германии), LS (Южной Кореи), DANFOSS (Дании) и т.д. К их достоинствам можно отнести маленький размер, простоту установки, подключения и регулирования параметрами в соответствии с изменением режима электродвигателя и низкое энергопотребление. Кроме этого, у них имеется интерфейс связи с программируемым логическим контроллером управления, и возможен мониторинг сложных современных электроприводов.

Для горных предприятий, из особенности нагрузки, характерны большие мощности электродвигателей. Взрыво-искробезопасный преобразователь частоты может управлять запуском двигателя, обеспечивать устойчивость работы при большом моменте, гибкий запуск, а синхронного двигателя, регулировку скорости адаптации к любым нагрузкам. На сложном электроприводе (электропривод электродвигателей), преобразователь частоты может управлять по режиму ведущий-ведомый (master-slave), позволяющий балансировку нагрузки между двигателями системы.

Горные предприятия республики Вьетнам, например: МонгЗьонг КокШау ТхонгНхат НуйБео ХаЛам УонгБй КуангХанг МаоХе ХаЛонг ДеоНай КуангХанг ХонгТхай и обогатительная угольная Фабрика КыаОнг, применяют преобразователи частоты, которые управляют системами электроприводов: насосами, вентиляторами, ленточными конвейерами, подъемниками, скребковыми конвейерами и т.д. В последнее время несколько компаний сделали взрывобезопасные преобразователи частоты, которые работают в метановой среде и при наличии угольной пыли (пылеметановоздушная смесь), например, ПЧ ВРЛ1 – производитель Китай, ПЧ МСВ – производитель Дания, ПЧ СНУ – производитель Китай (технология Германии) напряжения 660/1140В. Эти типы ПЧ, которые применяются на некоторые горные предприятия Вьетнама.

Преимущества использования преобразователя частоты при управлении электродвигателями на шахте:

- Простой запуск и остановка системы электрического привода;
- Уменьшение пускового тока;
- Уменьшение момента;
- Увеличение коэффициент мощность $\cos\phi$;
- Снижение энергопотребления при запуске и работе электродвигателя;
- Автоматическая регулировка скорости двигателя в соответствии с требованиями нагрузки;
- Удалённый контроль, мониторинг и управление.

Оценка качества электроэнергии сети шахты при применении преобразователи частоты для управления электродвигателями

Гармоническая волна, влияющая для электрооборудования в сети, снижает качество электроэнергии и порождает ряд проблем, связанных с электродвигателями (увеличение температуры; снижение производительности; потеря электроэнергии; вибрация и генерирование шума при работе).

Произведено моделирование работы короткозамкнутого двигателя с использованием преобразователя частоты. Результаты моделирования представлены на рис. 1-2.

Результаты показало, что при использовании преобразователя частоты, в сети возникают несинусоидальны колебания тока. Результат анализа частот гармонических волн тока фазы А свидетельствует, что уровень искажений гармонической составляющей тока (ТНД_i%) примерно 58,64%, гармоническая волна появляются на большинстве уровней, но в основном на уровне 3, 5, 7. Фазы В уровень искажений гармонической составляющей тока примерно 25,21% гармоническая волна появляются на большинстве уровней, но в основном на уровне 5, 7. Фаз С уровень искажений гармонической составляющей тока примерно 46,72%, гармоническая волна появляются на большинстве уровней, но в основном на уровне 3, 5, 7.

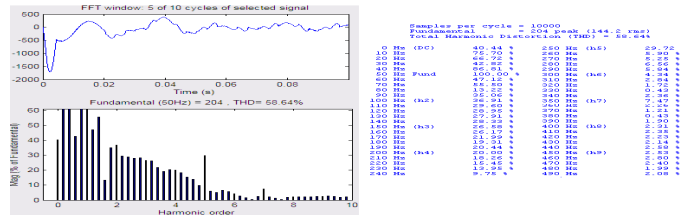


Рис 1. Результаты анализа спектра гармонических волн тока фаза А

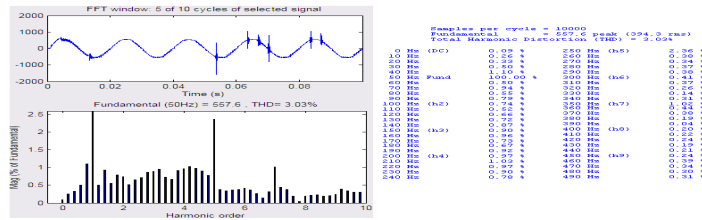


Рис 2. Результаты анализа спектра гармонических волн напряжения фаза А

Результаты анализа гармонических волн напряжения фаза 1, общая сумма элементы уровень искажений гармонической составляющей напряжения (THD_u%) примерно 3,03%, фаз 2: Общая сумма элементы уровень искажений гармонической составляющей напряжения примерно 4,54% и фаз 3: Общая сумма элементы уровень искажений гармонической составляющей напряжения примерно 2,86%.

Моделирование показало, что в сети горного предприятия генерируется ряд гармонических волн (степень 3,5,7,11,13,15...), если для снижения необходимо использовать регулируемый фильтр обходного соединения. Результаты исследования показали, что большинство гармонические волны степени 5 и 7. Следовательно, необходимо использовать фильтр низких частот – LC.

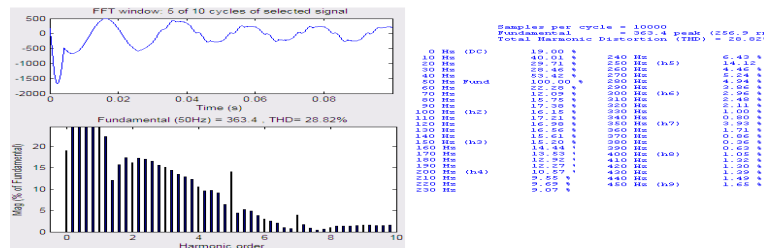


Рис 3. Результаты анализа спектра гармонических волн тока фаза А при присоединении активного фильтра LC

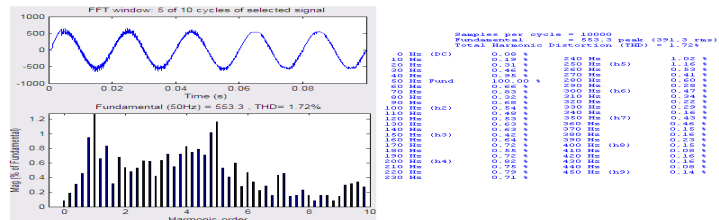


Рис 4. Результаты анализа спектра гармонических волн напряжения фаза А при присоединении активного фильтра LC

Результаты анализа гармонических волн тока на основе моделирования с помощью Simulink (Matlab) представлено в таблице.

Таблица

	Без преобразователя частоты		С преобразователем частоты		С преобразователем частоты и активного фильтра LC	
	THD _i ,%	THD _u ,%	THD _i ,%	THD _u ,%	THD _i ,%	THD _u ,%
Фаз А	57,14	2,71%	58,64%	3,03%	28,82%	1,72%
Фаз В	22,54%	3,72%	25,21%	4,54%	8,54%	3,13%
Фаз С	38,86%	2,41%	46,72%	2,86%	28,17%	1,69%

Заключение

Применение преобразователя частоты в управлении системами проводами горного предприятия принесёт экономическую эффективность. Однако, наличие высших гармонических волн, порождает неблагоприятные явления для оборудования, например, перегрев электродвигателей, трансформаторов, кабелей и потерю электроэнергии. Следовательно, применение преобразователя частоты в электрической сети шахты должно сопровождаться использованием рационального активного фильтра LC, сопряженного с, мощностью электродвигателей.

Литература

1. Барри В. Кеннеди, 2005. Праймер качества электроэнергии, Холм МакГроу.
2. Дерек А. Пейс, 1995. Многоимпульсные методы для чистой энергии, IEEE.
3. Плащанский. А. Л, Основы электроснабжения горных предприятий, Издательство московского государственного горного университета, 2005.
4. Малколм Барнес, 2003. Практические приводы с регулируемой скоростью и силовая электроника, Elsevier.
5. Matlab Help, 2010.

6. Нгуен Фунг Куанг, Matlab & Simulink, Издательство научных и технический Ханой 2004.

7. Ч.К. Буй, С.С Кубрин, Применение преобразователей частоты путь повышение эффективности работы оборудования на шахте, 13 Международная научная школа молодых ученых и специалистов, 2016.

СПОСОБЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Лесков А.К.

Санкт-Петербургский горный университет

Целесообразность добычи полезных ископаемых определяется не только конечными себестоимостью и выгодой, но также технической и технологической возможностью их извлечения из недр.

Для открытых горных работ: карьеров и разрезов, - существует реальное ограничение по глубине отработки. Ограничение связано как с экономическими причинами (например, увеличенный объем вскрышных работ), так и с экологическими (повышенная загазованность на дне карьера и или разреза).

Решением уменьшения объема вскрышных работ может быть увеличение угла уклонов и бортов карьера или разреза [0] с последующим применением гусеничной техники.

Источниками экологического загрязнения являются буровзрывные работы и техника, работающая от двигателей внутреннего сгорания. Такой техникой являются карьерные автосамосвалы с дизельным двигателем. Карьерные автосамосвалы производят наибольшую долю выбросов в атмосферу среди всей горной техники, так как работают в непрерывном режиме, особенно на этапе подъема полезного ископаемого на поверхность.

В [2] автором рассмотрены основные пути модернизации электромеханической трансмиссии карьерного автосамосвала типа БелАЗ. На рисунке 1 представлена модернизированная электромеханическая трансмиссия карьерного автосамосвала.

В существующей схеме электромеханической трансмиссии предлагается замена генерирующей установки (создание связки асинхронный генератор (АГ) – активный выпрямитель (АВ)), а также установка вентильно-индукторных двигателей (ВИД) вместо традиционных тяговых асинхронных двигателей. Кроме замены существующих узлов, предполагается установка двух дополнительных системы.

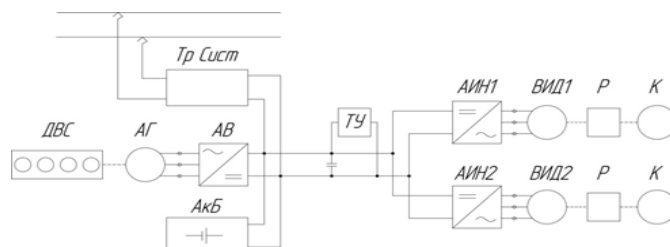


Рисунок 1 - Модернизированная электромеханическая трансмиссия карьерного автосамосвала

Первая – троллейная система электропитания (Тр Сист) – позволит обеспечить электропитание трансмиссии от сети воздушных линий (троллеев) и избавиться от огромного объема вредных выбросов при работе на подъем полезного ископаемого. Кроме этого она обеспечит необходимый уровень генераторной мощности, необходимой для полноценной работы электродвигателей на подъем, которая и не всегда обеспечивается дизельным генератором, установленным на борту карьерного автосамосвала. Данная система уже применяется на карьерных автосамосвалах компании Siemens [3].

Второй системой является система питания от аккумуляторной батареи, установленной на борту карьерного автосамосвала. Использование накопителя электрической энергии позволит автосамосвалу осуществлять маневры при спуске (возможен заряд аккумуляторов) и на дне карьера до момента подключения к троллейной сети [4].

Использование двух вышеупомянутых систем обеспечит возможность работы автосамосвала внутри карьера без использования дизельного двигателя в процессе работы. При этом дизельный двигатель остается как основной источник питания при работе на поверхности и резервным источником при работе внутри карьера.

Для исследования возможности применения в качестве генерирующей системы связки асинхронный генератор – активный выпрямитель автором была создана имитационная модель в среде MatLab. В результате моделирования было получено подтверждение целесообразности установки данной системы, так как она обеспечивает оптимальный режим работы для дизельного генератора и снижает расход топлива за счет большего коэффициента мощности, чем у системы синхронный генератор – диодный выпрямитель.

Литература

1. Сокращение загазованности карьерного пространства при применении новых видов карьерного транспорта / П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев, Е.В. Фефелов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2008. – №2. – С.260-271.

2. Лесков, А.К. Обзор путей модернизации карьерных самосвалов, оборудованных электромеханической трансмиссией / А.К. Лесков // Естественные и технические науки. – 2017. – № 7 (109). – С.95-99.

3. SIMINE Truck powerful drive for electric mining truck – Siemens <http://www.industry.siemens.com/verticals/global/en/mining-industry/transport/mining-truck/pages/default.aspx>

4. Обоснование параметров транспортирования горной массы карьерными автосамосвалами с комбинированной энергосиловой установкой Журавлев Артем Геннадиевич Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Екатеринбург – 2007.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Лаврик А.Ю., Яковлева Э.В.

Санкт-Петербургский горный университет

Одной из проблем, возникающих при освоении удалённых от существующих сетей электроснабжения месторождений полезных ископаемых, является необходимость использования автономных источников энергии. Значительно удалённые объекты добычи и транспортировки полезных ископаемых, обладаемые малой электрической мощностью, как правило, снабжаются автономными электростанциями, в качестве которых применяют дизель-генераторные подстанции.

В последние годы наметился тренд к построению систем электроснабжения таких объектов на основе альтернативных источников энергии – в первую очередь, солнечных и ветряных электростанций. В качестве примера можно привести установку в 2015 г. солнечно-ветряной электростанции на нефтегазоконденсатном месторождении им. С.Т. Короткова в Краснодарском крае и установку в 2017 г. Аналогичной электростанции на Новопортовском месторождении на Ямале.

Эксплуатация солнечных электростанций на месторождениях, расположенных в южной полосе России, связана с рядом проблем. Несмотря на огромный потенциал, использование солнечной энергии оказывается ограниченным, т.к. не менее 80% солнечного излучения отражается от поверхности панели или преобразуется в тепловую энергию [1]. Нагрев солнечной панели негативно сказывается на её производительности: для кристаллических кремниевых элементов относительное снижение КПД составляет порядка 0,45% на каждый градус °С [2]. Кроме того, проведены исследования, доказывающие негативное влияние температуры на долговечность системы: установлено, что при нагреве модуля на каждые 10°С процесс старения кристаллов кремния удваивается [3].

Определение фактической температуры солнечного модуля при конкретных условиях является важной задачей, необходимой для строительства эффективной и надёжной системы генерации электроэнергии, а также для исследований в области повышения КПД панелей. Для её оценки введено понятие номинальной эксплуатационной температуры элемента (NOCT – Nominal Operating Cell Temperature). NOCT – это температура фотоэлектрического элемента при мощности солнечного излучения 800 Вт/м^2 , температуре окружающего воздуха 20°C , скорости ветра 1 м/с и открытой задней поверхности панели. NOCT большинства панелей составляет около 48°C ; чем ниже данное значение, тем большую мощность выдаст элемент при работе в реальных условиях.

Определить фактическую температуру солнечного элемента можно по формуле [4]:

$$T_{\text{Cell}} = T_{\text{Air}} + \frac{\text{NOCT} - 20}{80} S,$$

где T_{Cell} – температура солнечного модуля [$^\circ\text{C}$], T_{Air} – температура воздуха [$^\circ\text{C}$], S – мощность солнечного излучения [мВт/см^2].

Рабочая температура солнечного модуля на практике, обычно, составляет $50\text{-}55^\circ\text{C}$ и выше [5], что соотносится с результатом, полученным по формуле: мощность инсоляции 800 Вт/м^2 соответствует пиковой мощности в солнечный летний день, когда температура воздуха может составлять порядка 30°C , тогда температура фотоэлектрического модуля составит

$$T_{\text{Cell}} = \frac{48 - 20}{80} \cdot 80 + 30 = 58 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

В настоящее время известно множество вариантов охлаждения солнечных модулей. Их можно разделить на пассивные и активные методы.

Пассивные методы предполагают установку радиаторов охлаждения с тыльной стороны панели, либо покрытие модулей отражающими [6] или излучающими [7] инфракрасное излучение материалами различной конфигурации. Так, в одной из работ [7] предложено покрывать кремниевую панель слоем излучающего инфракрасные волны диоксида кремния пирамидальной формы толщиной до 120 мкм .

Активные методы подразумевают обеспечение принудительной циркуляции жидкостей или газов по каналам охлаждения панелей и, как правило, применяются редко. Известны исследования в части охлаждения панелей потоком воды, стекающей тонкой плёнкой по лицевой поверхности модуля [8, 9], распылением воды над поверхностью модулей [10], а также погружением модулей в дистиллированную воду на различную глубину [11].

Также в последнее время активно применяются комбинированные системы, позволяющие получать электроэнергию и горячую воду [12].

Для принятия решения о целесообразности разработки и применения пассивной или активной системы охлаждения необходимо осуществлять расчёт снижения КПД солнечных панелей для определённого места их установки и выбрать критерий оценки.

В качестве примера ниже приведён расчёт снижения эффективности солнечных модулей для одного из городов России с самой высокой среднемесячной температурой июля и большой величиной инсоляции – Астрахани.

Среднемесячная температура воздуха в Астрахани в светлое время суток в июле 2016 г. изменялась от 22,1°C до 31,6°C, и составила 27,5°C (рис. 1) [13].

Месячная суммарная солнечная радиация в Астрахани в июле при наклоне панели под углом 35° составляет 184,5 кВт·ч/м² [14]. Тогда средняя величина мощности инсоляции в течение всего светового дня (около 15 ч в июле для данного региона) составит

$$S = 184500 / (31 \cdot 15) = 397 \text{ Вт} / \text{м}^2 = 39,7 \text{ мВт} / \text{см}^2$$

Тогда температура стандартной солнечной панели по приведённой выше формуле составит

$$T_{\text{Cell}} = 27,5 + \frac{48 - 20}{80} \cdot 40 = 41,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

В таком случае относительное снижение КПД солнечной установки с кристаллическими кремниевыми панелями, установленными под углом 35° к горизонту (без системы слежения) в июле 2016 г. в Астрахани в среднем составит 7,4% [2]. Тогда при номинальном КПД солнечной панели 20% она будет работать с электрическим КПД, равным

$$\eta = 20 \cdot (100 - 7,4) = 18,5\%,$$

а скорость старения кремния по сравнению с нормальными условиями возрастёт более, чем в 2 раза [3].

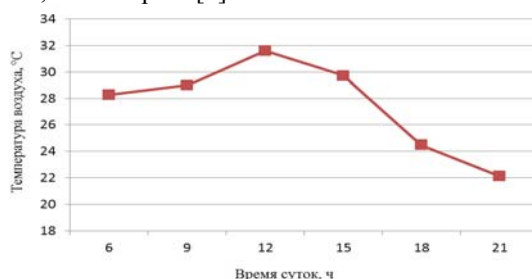


Рис. 1. Среднемесячный суточный ход температуры воздуха в Астрахани в июле 2016 г

При этом стоит отметить, что величина снижения фактического КПД на 1,5% получена исходя из допущения равномерности инсоляции в течение светового дня. В действительности же мощность солнечного излучения изменяется и в общем виде имеет вид, представленный на рис. 2 [15]. Это говорит о том, что потеря КПД неравномерна и в полдень без учёта метеорологических факторов может достигать величины, более чем в два раза превышающей среднюю. Это особенно важно при исследовательских работах по созданию систем активного охлаждения, которые должны предотвращать наибольшие потери КПД, имеющие место лишь в определённое время суток.

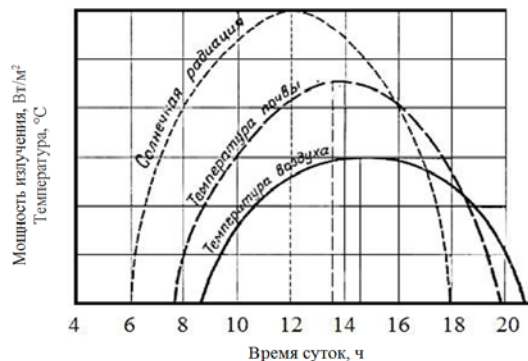


Рис. 2. Характер изменения мощности солнечного излучения в зависимости от времени суток

В результате можно сделать вывод о необходимости исследований в области охлаждения панелей солнечных электростанций южной полосы России и анализа экономической целесообразности данных мероприятий, поскольку это позволит увеличить эффективность и степень надёжности автономных систем электроснабжения удалённых месторождений и объектов транспортирования полезных ископаемых.

Литература

1. T.T. Chow, «A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology.» Applied Energy 87, 2010, pp. 365–379.
2. E. Skoplaki and J. Palyvos, «On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: a review of efficiency/power correlations.» Sol. Energy 83, 614–624 (2009)
3. D. Otth and R. E. Ross Jr., «Assessing photovoltaic module degradation and lifetime from long term environmental tests.» Proceedings of the 1983 Institute of Environmental Sciences 29th Annual Meeting, Los Angeles, CA, April 19–21 1983, pp. 121–126.

4. R. G. Ross, «Flate-Plate Photovoltaic Array Design Optimization», 14th IEEE Photovoltaic Specialists Conference. San Diego, CA, pp. 1126-1132, 1980.
5. A. Jones and C. Underwood, «A thermal model for photovoltaic systems,» Sol. Energy 70, 349–359 (2001).
6. T. M. Nilsson, G. A. Niklasson, «A solar reflecting material for radiative cooling applications: ZnS pigmented polyethylene,» Sol. Energy Mater. Sol. Cells 28, 175–193 (1992).
7. L. Zhu, A. Raman, «Radiative cooling of solar cells» OSA Publishing: Optica, Vol. 1, Issue 1, pp. 32-38 (2014).
8. Krauter. S. «Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels», Solar Energy Materials & Solar Cells, 2004, vol. 82(1-2), pp. 131-137.
9. L. Dorobantu, M. O. POPESCU, «Increasing the Efficiency of Photovoltaic Panels Through Cooling Water Film», U.P.B. Sci. Bull., Series C, 2013, vol. 75, Iss 4, pp- 223-230.
10. R. Hosseini, N. Hosseini, «An experimental study of combining a photovoltaic system with a heating system», World renewable energy congress 2011, vol 8, pp- 2993-3000.
11. S. A. Abdulgafar, O. S. Omar, «Improving the Efficiency of Polycrystalline Solar Panel via Water Immersion Method», International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology 2014, vol. 3, Iss. 1.
12. H. Jouhara, J. Milko, The performance of a novel flat heat pipe based thermal and PV/T (photovoltaic and thermal systems) solar collector that can be used as an energy-active building envelope material. Energy, 2015.
13. Погода и климат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/>, свободный – (28.01.2017)
14. Солнечная инсоляция по регионам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://solar-batarei.ru/tablica-solnechnaya-insolyaciya.html>, свободный – (28.01.2017).
15. Половинкин А.А. Основы общего землеведения / А.А. Половинкин. – М.: Учпедгиз, 1958.

РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МИНЕРАЛЬНО- СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА

Бабанова И.С.

Санкт-Петербургский горный университет

Одной из наиболее весомых затрат в себестоимости продукции предприятий минерально-сырьевого комплекса (МСК) является составляющая оплаты стоимости электроэнергии. Повышение энергоэффективности на основании правильного выбора ценовой категории с последующим применением нейросетевых систем прогнозирования,

286

показанной в работе [1], обусловили проведение дополнительных исследований для прогнозирования электрических нагрузок МСК. Актуальность разработки закономерностей электропотребления, построение моделей прогнозирования является одной из главных задач при нормировании и планировании расхода электроэнергии, а также для дальнейшей оптимизации режима работы горных предприятий. Точность прогнозирования энергопотребления, полученная на этом этапе, в большей степени определяет обоснование экономических показателей производства в целом.

На МСК накладываются определенные ограничения, с одной стороны, являясь участниками рынка электроэнергии и мощности, они должны соблюдать ряд требований, определяемых на основании законодательной базы России [2], и регулирующих рынок электроэнергии, с другой – стремиться к минимизации расходов, связанных с покупкой электроэнергии за счет правильного выбора ЦК и тарифа на электроэнергию. Если для населения, и приравненных к нему категорий потребителей, тарифы на электроэнергию фиксированы в течение года и имеют в пределах три составляющих (пиковая зона, полупиковая и все остальное время суток), для юридических лиц ситуация существенно более сложная. Выбирать тариф из шести ЦК для расчетов, согласно законодательству, обязан сам потребитель. Согласно законодательству РФ для юридических лиц существует шесть ЦК свободных (нерегулируемых) цен на электроэнергию и мощность [3]. Внутри каждой ЦК оплаты электроэнергии существует разделение потребителей по максимальной мощности энергопринимающих устройств, а также уровню питающего напряжения.

Цель исследования – повышение энергоэффективности горного предприятия с учетом сравнительного анализа методов прогнозирования электрической нагрузки с последующим обоснованием применения интеллектуальной системы прогнозирования для рационального выбора тарифа на электроэнергию и ЦК.

В ходе исследования использовались методы математического моделирования и прогнозирования временных рядов, статистический и регрессионный анализ, теория искусственных нейронных сетей, математический пакет STATISTICA, Matlab, Simulink, методы экспертного анализа.

Реализация системы управления энергопотреблением включает следующие основные этапы: представление объекта в виде структурно-функциональной модели; установление зависимостей функционирования; выявление факторов, влияющих на энергопотребление; построение искусственной нейронной сети; оценки ошибки прогнозирования; анализ результатов; выработка и обоснование проектных решений.

Исследование включало в себя следующие задачи:

- 1) анализ годового прогнозирования электрической нагрузки в точках учета электроэнергии с помощью традиционных методов прогнозирования (множественная регрессия, сезонная декомпозиция временного ряда, мультипликативная модель с последующей сезонной корректировкой временного ряда);
- 2) сравнительный анализ расчета по выбору тарифа на электроэнергию и ЦК;
- 3) разработка нейросетевых прогнозных моделей электрической нагрузки;
- 4) сравнительный анализ методов прогнозирования различных типов искусственных нейронных сетей с учетом оценки средней абсолютной ошибки прогнозирования (MAPE) для оперативных и среднесрочных прогнозов.

Было выявлено, что повышение энергоэффективности горного предприятия возможно за счёт рационального выбора ЦК и тарифа на оплату электроэнергии, с дальнейшим созданием интеллектуальной системы мониторинга учета электроэнергии за счет введения функций прогнозирования на основе искусственных нейронных сетей. В рамках проведения исследования для прогнозирования энергопотребления горного предприятия использовался алгоритм обратного распространения ошибки, учитывались факторы-влияния на энергопотребление. Были получены лучшие модели прогнозирования искусственной нейронной сети с функцией активации гиперболический тангенс, архитектуры MLP 24-18-1, ошибка прогнозирования составила 0,906 % [4].

Суммарная плата за потребленную электроэнергию для предприятия - участника рынка складывается из платы за фактически потребленный объем электроэнергии и платы за отклонение фактически потребленного ее объема от заявленного (спрогнозированного). Чем выше ошибка прогноза, тем больше отклонение фактически потребленного объема электроэнергии от заявленного (спрогнозированного) и тем больше дополнительные расходы предприятия на оплату электроэнергии. Таким образом, снижение ошибки прогноза позволит горному предприятию уменьшить дополнительную плату за электропотребление, вызванную неточностью прогнозирования для соответствующих ЦК.

Разработка нейросетевых моделей прогнозирования электрической нагрузки позволила произвести оптимальное планирование и контроль выполнения планируемого графика нагрузки горного предприятия; полученная информация является эффективным инструментом воздействия на оптимизацию тарифной политики и дальнейших правильных и своевременных действий персонала по улучшению договорной работы

и минимизации расходов на оплату за потребляемую электроэнергию с учетом разработанных моделей искусственных нейронных сетей, учитывающих характер и параметры электропотребления.

Литература

1. Устинов Д.А., Бабанова И.С. Обоснование выбора ценовой категории оплаты за электроэнергию с учетом потребителей-регуляторов// Д.А.Устинов, И.С.Бабанова//Промышленная энергетика. –2016. –№11- С. 9-16.
2. Постановление Правительства РФ «Об утверждении правил оптового рынка электрической энергии и мощности и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам организации функционирования оптового рынка электрической энергии и мощности» (утв. 27.12.2010 г. №1172, ред. от 29.02.2016 г).
3. Постановление Правительства РФ «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» (утв. 04.05.2012 г. № 442, ред. 22.02.2016 г).
4. Абрамович Б.Н., Бабанова И.С. Система прогнозирования энергопотребления с применением искусственной нейронной сети/ «Горные науки и технологии», вып. №2, 2016,С.66-77.

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСНОВАНИЙ МОСТОВ, ПУТЕПРОВОДОВ И ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ МОСКВЫ

Варганов А.З., Федаш А.В.

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

Геологическое пространство мегаполиса является сложной открытой природно-технической системой, для которой характерно постоянное пространственно-временное развитие и взаимодействие её природных и антропогенных составляющих, как между собой, так и с веществом-энергетическими полями более глубоких слоев литосферы и наземной инфраструктуры города. Последствием указанного взаимодействия является неизбежное расходование исходного ресурса зданий и сооружений и возможная потеря ими функциональной и структурной устойчивости, то есть способности сохранять изначально заданные параметры и режимы функционирования. В результате возникают значительные потери социального и экономического характера, а в ряде случаев – серьезные аварийные ситуации и даже катастрофы. Для обеспе-

чения устойчивости подземных конструкций зданий и сооружений необходим анализ принимаемых проектных, управленческих, технических и технологических решений на всех стадиях реализации строительства и эксплуатации соответствующих объектов. Условием эффективности таких решений является надежное информационное обеспечение, а также включение процессов контроля и диагностики в строительную геотехнологию в качестве обязательных элементов. Главной составляющей указанного информационного обеспечения являются сведения о совокупности инженерно-геологических, геоморфологических, климатических, гидрогеологических и других особенностей геологической подосновы города. Решение задачи изучения этих особенностей реализуется комплексом геологических и геофизических методов [1, 2, 3].

Геологическая среда в Московском регионе неплохо изучена. Однако природная среда под антропогенным воздействием настолько быстро и радикально изменяется, что требует постоянного обновления всего комплекса объективных данных о свойствах и состоянии массива, для чего выполняются инженерно-геологические изыскания и разрабатываются принципы геомеханического обеспечения функционирования сооружения. [4, 7, 8, 9]

Наиболее распространенная конструкция фундаментов мостов, тепловодов и высотных сооружений в этих условиях включает свайное основание, выполненное из буронабивных свай диаметром от 600 до 1500 мм с цементацией подсвайного пространства на глубину до 10 м. и монолитную фундаментную плиту мощностью до нескольких метров, сооружаемую над оголовками свай.

При *определении строения, физико-механических и гидрогеологических свойств вмещающего массива* в границах планируемого к строительству сооружения и в зоне его влияния физико-технические методы исследований, контроля и мониторинга применяются для решения следующих задач:

- определения строения массива, установление границ между слоями различного литологического состава и состояния в скальных и дисперсных породах, в том числе выявление засыпанных долин;
- выявления зон трещиноватости и тектонических нарушений и оценки их современной активности;
- определения параметров и характеристик водоносных горизонтов;
- изучения в массиве состава и свойств связанных и дисперсных грунтов;
- исследования в массиве гидрологических параметров и характеристик грунтов.

В соответствующих работах приведен перечень наиболее распространенных физико-технических методов исследований, контроля и мониторинга, применяемых для решения задач, оптимальных для Московского региона. [5, 6]

Определение параметров напряженно-деформированного состояния массива в границах проектируемого сооружения и в зоне его влияния является одной из важнейших задач обеспечения безопасности ведения горных работ при строительстве горных предприятий и разработке месторождений полезных ископаемых. В городском подземном строительстве актуально проводить исследования и мониторинг напряженно-деформированного состояния массива в связи с существенным возрастанием геометрических размеров сооружений и переходе на большие глубины заложения фундаментов. [10, 11, 12] Арсенал привлекаемых методов аналогичен применяемым в горном деле и включает в себя как прямые, так и косвенные (геофизические) методы и их комбинации (табл. 1).

Таблица 1 – Физико-технические методы мониторинга напряженно-деформированного состояния массива горных пород при подземном городском строительстве

Задачи	Методы	
	Прямые (геологические и механические)	Косвенные (геофизические)
Измерение напряжений	Методы разгрузки. Различные виды датчиков напряжений. Тензометрия	Сейсмические исследования методом преломленных волн, вертикальное сейсмическое профилирование. Межскважинное сейсмоакустическое и ультразвуковое просвечивание. Различные виды каротажа – ультразвуковой и электрический. Регистрация естественного импульсного электромагнитного поля Земли. Исследования акустической эмиссии. Эманационная съемка
Измерение деформаций и расслоений	Различные виды реперов и деформометров. Геодезические и маркшейдерские измерения. Инклинометрия. Скважинное телевидение. Дистанционные измерения	Межскважинное сейсмоакустическое и ультразвуковое просвечивание. Различные виды каротажа – ультразвуковой и электрический. Исследования акустической эмиссии.

Для ответственных сооружений и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях, целесообразно формирование полномасштабной стационарной системы геоконтроля с использованием современных систем сбора, обработки, хранения передачи информации и ее визуализации. Ядром этой системы должна служить подсистема контроля напряженно-деформированного состояния вмещающего массива и параметров взаимодействия сооружения и массива. [13, 14, 15]

Активные геологические процессы на территории и в массиве горных пород в районе размещения сооружения, включая зоны его влияния и близлежащие окрестности, определяют конструктивные решения, закладываемые в процессе проектирования сооружения, и комплекс защитных мероприятий, разрабатываемых для обеспечения долговременного безаварийного функционирования сооружения. Прогнозирование возможности активизации таких процессов следует вести с опорой на знания о строении и свойствах массива, наличии характерных признаков существования таких процессов в настоящем, характере и уровне антропогенного воздействия на массив.

К наиболее опасным и часто наблюдаемым процессам относят:

- *проседание поверхности;*
- *карстообразование;*
- *образование пьезунов;*
- *оползнеобразование.*

Отдельной крупной задачей при проектировании и строительстве подземных сооружений является защита от сейсмических явлений, в том числе выполнение микросейсмораионирования, и учет возможностей динамического проявления горного давления при большой глубине заложения сооружений. [13, 14, 15]

Рациональным является использование единой системы измерительных сетей на всех этапах жизненного цикла сооружения. Типовой комплекс привлекаемых методов во многом аналогичен упомянутым ранее и включает в себя как прямые, так и косвенные (геофизические) методы и их комбинации.

Определение фактического положения картированных и выявление некартированных подземных сооружений и коммуникаций выполняют на этапе проектирования подземного сооружения с целью оптимизации принимаемых проектных решений и выполнения комплекса проектных (а в дальнейшем и строительно-монтажных работ) по выносу инженерных сооружений из области строительства.

Важными практическими задачами являются:

- поиск кабелей различного назначения бесколлекторной прокладки;
- поиск трубопроводов;
- выявление пустот, коллекторов, некартированных горных выработок.

Эти мероприятия должны обеспечивать высокоэффективное и безаварийное выполнение строительно-монтажных работ при безусловном сохранении работоспособности действующих инженерных коммуникаций и сооружений и ликвидации выявленных, отслуживших свой срок, коммуникаций и сооружений после проведения соответствующих экспертиз и получения соответствующих разрешений.

Литература

1. Вартанов А.З., Гладун Ю.В., Федоров Е.В. Опыт внедрения природосберегающих бестраншейных технологий прокладки инженерных коммуникаций в условиях города. В кн. Рациональное природопользование. – М.: Махита, 2005. – С.213.
2. Вартанов А.З., Рубан А.Д., Захаров В.Н., Ковпак И.В. Геоконтроль и геомеханическое обеспечение задач освоения подземного пространства города Москва. Сборник трудов Международной научно-практической конференции по вопросам освоения подземного пространства города Москвы. – М.: ЗАО «Мир», 2008. – С. 48-53.
3. Вартанов А.З. Рубан А.Д. Шкуратник В.Л. Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг. – М.: Горная книга, 2009. – 640 с.: илл.
4. Вартанов А.З. Геофизические изыскания в условиях мегаполиса. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2011. – №8. – С. 174-180.
5. Вартанов А.З., Ямщиков В.С., Шкуратник В.Л., Данилов В.Н. Способ возбуждения упругих волн в массиве горных пород. Авт. свид. 1195004, Б.И. №44, 30.11.85.
6. Вартанов А.З., Ковпак И.В., Рубан А.Д., Шкуратник В.Л., Ермолин А.А. Ультразвуковое устройство для контроля качества материалов. Заявка №2008 109 727 от 17.03.2008. Решение от 14.05.2008.
7. Иофис М.А. Проблемы комплексного освоения территорий и подземного пространства крупных городов и пути их решения. // Маркшейдерский вестник, 2006. – № 4. – С. 20.
8. Каргозия Б.А., Корчак А.В., Левченко А.Н., Федунец Б.И., Дмитриев А.Н. О перспективах разработки нормативных документов по освоению городского подземного пространства. // Метро и тоннели, 2007. – № 4. – С. 4.
9. Трубецкой К.Н., Иофис М.А. Состояние и проблемы освоения подземного пространства города Москвы. // Маркшейдерский вестник, 2007. – № 4. – С. 27-30.

10. Варганов А.З., Петров И.В., Федаш А.В. Основные тенденции подземного строительства и освоения недр городов и проблемы проектирования подземных объектов в мегаполисах и зонах градопромышленных агломераций. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2015. – № 10. – С. 160-164.

11. Варганов А.З., Петров И.В., Федаш А.В. Особенности исследования недр при освоении подземного пространства в мегаполисах и зонах градопромышленных агломераций. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2015. – № 10. – С. 165-171.

12. Варганов А.З., Кобяков А.А., Петров И.В., Романов С.М., Федаш А.В. Методологии исследования горного массива при проектировании, строительстве и эксплуатации подземных сооружений с целью учета возможных рисков при оценке эффективности проектов освоения недр градопромышленных агломераций. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2015. – № 10. – С. 284-289.

13. Варганов А.З., Петров И.В., Федаш А.В. Исследования, мониторинг и контроль на различных этапах жизненного цикла подземного сооружения, создаваемого на урбанизированной территории. // Мониторинг. Наука и технологии, 2015. – № 3. – С. 24-31.

14. Захаров В.Н., Малинникова О.Н., Варганов А.З., Федаш А.В., Петров И.В., Ахмедгариев Р.А. Исследования, мониторинг и контроль строения и свойств недр мегаполисов и зон градопромышленных агломераций. Часть 1. Общие правила производства работ: Методические рекомендации. – М., 2015 – 88 с.

15. Захаров В.Н., Варганов А.З., Малинникова О.Н., Петров И.В., Федаш А.В., Федоров Е.В. Исследования, мониторинг и контроль строения, физико-механических и гидрогеологических свойств недр мегаполисов и зон градопромышленных агломераций. Выпуск 2. Общие правила производства работ: Методические рекомендации. – М., 2016. – 204 с.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АНКЕРА ФРИКЦИОННОГО ТИПА

**Зубков А.А.¹, Калмыков В.Н.², Кутлубаев И.М.²,
Мухамедьярова М.С.²**

¹ ООО «УралЭнергоРесурс», Магнитогорск

² ФГБОУ ВО «МГТУ им.Г.И.Носова», Магнитогорск

Основным фактором обеспечения безопасности работ, проводимых в выработанном пространстве шахт, является надежное крепление обнаженных поверхностей. Наряду с традиционными технологиями крепления ведется разработка новых способов, в частности развитие крепления анкерами. При этом основным аспектом является обеспечение мак-

симальной механизации процесса установки, снижения затрат и сокращение времени до рабочего нагружения анкера.

Активно развивается технология крепления с использованием анкеров, фиксирующихся в шпуре по всей длине, без применения дополнительных компонентов – песчано – цементных, смол и т.п. [1]. В настоящее время применяется два способа создания усилия на поверхности шпура. В первом конструктивном решении усилие на сопряженной поверхности обеспечивается за счет упруго деформированных стенок полого, цилиндрического стержня с продольным пазом (рис.1). Во втором варианте за счет усилия создаваемого давлением внутри замкнутой полости стержня анкера [2].

Технология, использующая первый способ, была реализована в РФ ООО «УралЭнергоРесурс» (УЭР) в 2008 г. Известная конструкция анкера фрикционного типа (патент US №3922867, 1975) была усовершенствована. В частности разработана новая конструкция опорного узла [3]. Первая партия анкеров собственного производства была установлена в декабре 2008 г. на руднике «Озерный» (АО «Учалинский ГОК»). Сохранение несущей способности анкеров, в соответствии с требованиями ГОСТ 31559 – 2012, была подтверждена при проведении испытаний в марте 2017 г.

В ООО «УЭР» освоен выпуск размерного ряда самозакрепляющихся анкеров (СЗА) диаметром от 36 до 48 мм, сопутствующего оборудования и оснастки. Специалистами фирмы ведется непрерывный мониторинг состояния установленных анкеров. Несущая способность анкеров, установленных в марте 2015 в штреках рудников «Таймырский», «Кайерканский» («ПАО «ГМК «Норильский никель») составила, через час после установки, 9,8 – 10,36 кН. При повторных испытаниях, проведенных в июле 2017 г., несущая способность сохранилась на уровне 5,2-7,0 кН.

Успешное применение анкеров типа СЗА показало их эффективность [4]. Вместе с тем, дальнейшее совершенствование конструкции и выбор рациональных параметров возможен на основе предварительного анализа эксплуатационных свойств от параметров СЗА и горно – геологических условий пород.

Основными параметрами определяющими конструкцию стержня являются внешний диаметр стержня D_c , при заданном диаметре шпура $D_{ш}$ (рис.1), толщина стенки – t , ширина паза – b_0 . В исходном состоянии выполняется условия $D_c > D_{ш}$. За счет упругой деформации стенок стержня на поверхности контакта стержень – шпур создается сила трения, равная по величине несущей способности. Математическая модель, позволяющая определить силовое взаимодействие стенок стержня и шпура, строится на ряде допущений:

- характер силового взаимодействия по всей длине стержня является постоянным;

- в зоне контакта стенок стержня и шпура отсутствует разрушение последнего;
- стержень деформируется упруго;
- исходный профиль поперечного сечения стержня и шпура представляет собой окружность;
- рассматривается стержень условно единичной длины.

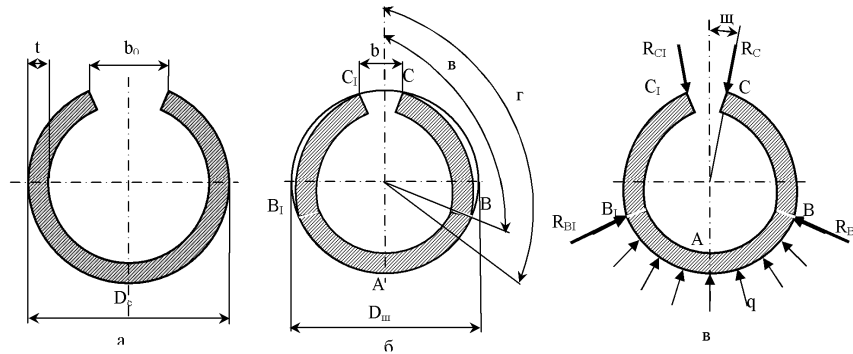


Рис.1. Поперечные сечения стержня анкера: до установки в шпур (а); после установки (б), схема нагружения (в)

Принципиальным моментом, для дальнейших расчетов, является выбор и обоснование схемы нагружения. Для ее составления предлагается принять схему деформации стержня, представленную на рисунке 1,б:

1. На участке $ВВ_1$ обеспечивается полное сопряжение стенок стержня и шпура. Внешний радиус стержня на участке $ВВ_1$ равен радиусу шпура $0,5 D_{ш}$.

2. На участках $ВС$ ($В_1С_1$) контакт между стержнем и шпуром отсутствует. Внешний радиус стержня увеличивается с $0,5D_{ш}$ до $0,5D_c$.

3. В точке $С$ ($С_1$) реализуется контакт между кромкой стержня и шпуром.

Введение участка $ВС$ обусловлено тем, что сила возникающая в т. $В$ создает в пределах этого участка изгибающий момент необходимый для создания напряжений обеспечивающих упругую деформацию. Однако его величина определяется не только усилием, но и плечом – кратчайшее расстояние от т. $С$ до линии действия силы в т. $В$. Очевидно, что его необходимая величина находится на удалении от т. $В$. Таким образом, в т. $В$ создается напряжение необходимое и достаточное для обеспечения упругой деформации стенок стержня с исходного диаметра D_c до величины $D_{ш}$.

Принятая схема деформации стержня и определяет схему его нагружения:

1. По всей длине дуги BB_1 действует распределенная нагрузка q . Граница участка – т.В (B_1) определяется углом ν .

2. На участке BC (B_1C_1) внешних нагрузок нет.

3. В точках C (C_1) и B (B_1) приложены соответственно сосредоточенные силы RC (R_{C1}) и RB (R_{B1}).

Схема нагружения (рис.1,в) определяется параметрами: q , ν , R_C и R_B . Их зависимость от геометрических параметров основывается на выполнении схемы деформации поперечного сечения стержня и уравнения равновесия.

На участке BB_1 имеет место изменение кривизны стенки стержня $\rho^I = \frac{2 \cdot (D_C - D_{III})}{D_C \cdot D_{III}}$. С учетом того, что деформация стержня в попе-

речном сечении $S = D_C - D_{III}$ изменение кривизны определяется выражением $\rho^I = \frac{2 \cdot (D_C - D_{III})}{D_C \cdot D_{III}}$.

Постоянная величина радиуса кривизны на участке BB_1 возможна при неизменной величине изгибающего момента во всех сечениях в пределах данного участка:

$$M_{BB_1} = E \cdot J \cdot \rho^I, \quad (1)$$

где E – модуль упругости материала стержня, Па; J – момент инерции стержня стенки толщиной t , m^4 ; $J = \frac{l \cdot t^3}{12}$, l – единичная длина стержня,

$l = 1$ м; t – толщина стенки стержня, м.

Исходя из выполнения условия равновесия, в произвольном сечении положение которого определяется углом γ , имеем

$$M_{BB_1} = \frac{R_C \cdot D_{III}}{2} \sin(\gamma - \omega) + \frac{R_B \cdot D_{III}}{2} \sin(\gamma - \beta) + \frac{q \cdot D_{III}^2}{4} ((\gamma - \beta) \sin(\gamma - \beta) / 2), \quad (2)$$

где ω – угол, определяющий положение края стержня после введения в шпур:

$$\omega = \arcsin\left(\frac{b}{2D_{III}}\right)$$

Регистрация характера взаимодействия анкера осуществлялась на второй и четвертой секциях. Макет шпура имел диаметр равный 46 мм. Стержень анкера диаметр 48 мм.

В результате проведенной серии введения анкера в макет шпура установлено, что ширина продольного паза уменьшается с 23 мм до 15,1 – 15,7 мм, угол в составляет 117° - 123° . Максимальное усилие установки –

48 кН (толщина стенки анкера 3 мм, Ст 20). Усилие необходимое для смещения анкера (несущая способность) из макета шпура – 32,6 кН.

Результаты экспериментальных исследований хорошо согласуются с расчетными данными: угол $\alpha = 128^\circ$, $b_0 = 16,2$ мм. Это позволяет сделать вывод о адекватности математической и физической модели.

Аналитическая модель позволяет оценить влияние изменения параметров на усилие на поверхности сопряжения (несущую способность).

Наиболее существенным оказалось влияние ширины паза b_0 на несущую способность. Повышение несущей способности можно обеспечить за счет уменьшения ее величины. Кроме того, при снижении значения величины b_0 обеспечивается перераспределение усилий. Увеличивается величина распределенной нагрузки q при одновременном снижении сосредоточенных: R_C, R_B .

Уменьшение сосредоточенных нагрузок снижает вероятность разрушения стенок шпура, что в свою очередь обеспечивает неизменной величину расчетной деформации стержня, обеспечивая штатное функционирование стержня.

Аналитическая модель взаимодействия стержня анкера и шпура позволяет определять на стадии проектирования технологии крепления определять несущую способность. Кроме того, модель позволяет определять основные направления совершенствования конструкции крепи.

Литература

1. Максимов А.Б. Перспективы применения анкерной крепи в рудных выработках Яковлевского рудника./ В.Ф. Пахалуев, Ю.Н. Огородников, А.Б. Максимов.// Записки горного института. СПГИ (ТУ), СПб, 2006 г. Т 168, С. 181-183.

2. Дользак В., Гланштнегг. Д. Разработка автоматизированного оборудования для установки саморезных фрикционных анкеров // Глюкауф на русском языке. -2014. – №2. – С. 18 – 24.

3.Зубков А.А., Зубков А.В., Кутлубаев И.М., Латкин В.В. Совершенствование конструкции и технологии установки крепей с фрикционным закреплением //Горный журнал. 2016. № 5. С. 48-52.

4. Зубков А.А., Латкин В.В., Неугомонов С.С., Волков П.В. Перспективные способы крепления горных выработок на подземных рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельные статьи (специальный выпуск). 2014. № 10. С. 106–117.

5. Феодосьев В.И. Соппротивление материалов. – 8-е изд. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 560 с.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МИКРОСЕТЕЙ К КАСКАДНЫМ АВАРИЯМ С ПОМОЩЬЮ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Кузнецов П.А.

Санкт-Петербургский горный университет

Электросети горных предприятий имеют сложную структуру и часто находятся в местах, расположенных далеко от объектов инфраструктуры. В последнее время все больше вопросов уделяется теме их децентрализации [1]. Внедрение компактных генераторов, работающих на попутном газе, биологическом топливе или метане позволяет не только сократить число вредных выбросов в атмосферу, но и повысить устойчивость сетей к аварийным режим и каскадным авариям, что может быть очень актуально для потребителей, работающих в режиме резко переменной нагрузки. Работы [2-3] рассматривают перспективы применения и демонстрируют экономический эффект от внедрения подобных станций. Однако, в данной статье основное внимание уделяется вопросам повышения устойчивости микросетей каскадным авариям.

С развитием технологий распределенной генерации значительно увеличилась надежность изолированных децентрализованных систем, содержащих распределенные генераторы (РГ), что делает возможным использование РГ в качестве модулей начального старта при возникновении локального или общего веерного отключения.

Наблюдая за увеличивающимся внедрением распределенной генерации в энергосети среднего и малого напряжения (до 10 кВ), микросетевые технологии привлекают много внимания из-за своего потенциала по уменьшению выбросов парниковых газов и увеличению надежности бесперебойного питания финальных потребителей [4]. Микросеть (МС), обычно, состоит из нагрузок и малых систем генерации (топливные ячейки, микротурбины, ветряные генераторы, фотоэлектрические ячейки) вместе с устройствами хранения (маховики и аккумуляторы), которые работают совместно с помощью встроенных систем управления и контроля.

Эти прогрессивные микросетевые технологии и аппаратура управления значительно увеличили надежность распределенных генераторов, что делает возможным их использование в качестве модулей начального запуска во время локального или глобального веерного отключения. Если может быть обеспечен быстрый начальный восстановительный запуск, позволяющий изолированной микросети питать своих потреби-

телей, то время перебоя в снабжении электрической энергией потребителей может быть значительно уменьшено.

Процедура восстановления энергосети после полного или частичного веерного отключения может быть разделена на 3 этапа: перезапуск модуля начального запуска, перенастройка сети и восстановление питания нагрузки. Модули начального запуска – это генераторы, которые допускают старт местных потребителей без какого-либо источника питания из внешней сети. Этими потребителями на горных предприятиях, обычно, являются насосы водоотлива, вентиляторы центрального проветривания, двигатели конвейерных лент и проходческих комбайнов, а в некоторых случаях – паровые турбины [5]. Распределенные генераторы с устройствами накопления энергии представляют собой новый выбор как устройства начального старта, т.к. некоторые из них имеют встроенные пусковые емкости. До настоящего времени, большинство исследований по восстановлению питания после аварий фокусировалось на разработке и оценке оптимальных схем начального запуска для высоковольтных сетей. Выбор такой схемы – это очень сложная проблема оптимизации. Экспертные системно-ориентированные подходы, иерархические аналитические процессы, основанные на нечеткой логике, самообучающиеся модели, основанные на данных процессов и многие другие оптимизационные алгоритмы, применялись для достижения надежных схем начального пуска энергосистем [6-9]. Тем не менее, эти модели и алгоритмы не соответствуют и не эффективны для разработки и выбора схем начального пуска в микросетях с распределенными генераторами. Многие факторы, применяемые для программ начального запуска для высоковольтных сетей, такие как конвертация частоты напряжения, длина линии и т.д. не подходят для восстановления питания у микросетей. Более того, в сетях с распределенной генерацией процедура восстановления питания потребителей гораздо проще из-за меньшего количества контролируемых переменных (нагрузки, выключатели и микроисточники) в сравнении с восстановлением высоковольтных сетей с большим количеством оборудования.

На рисунке 1 показан пример предлагаемой микросети с распределенной генерацией, которая, включает низковольтную электрическую сеть, потребителей, различные типы управляемых и неуправляемых распределенных генераторов, и устройства хранения.

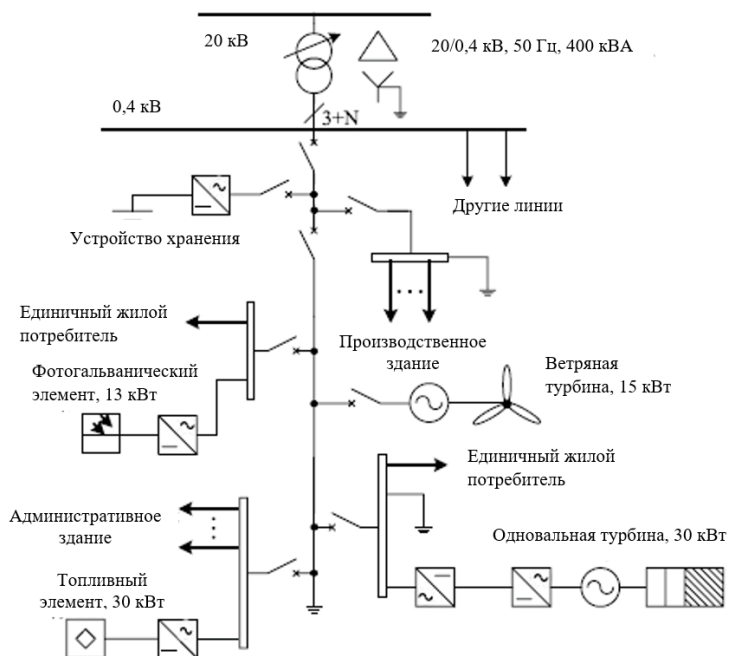


Рис. 1. Микросеть с несколькими распределенными генераторами, нагрузками и устройствами хранения

Модель оптимизации для определения возможности холодного запуска описывается как [9]:

$$F = \min \sum_{i=1}^n \alpha_i F_i(X, U_c)$$

$$s.t. X = f(x, U_c, U_d)$$

$$g(X, U_c, U_d) = 0$$

$$h(X, U_c, U_c) \leq 0$$

где F – это полная цель по оптимизации, относящаяся к некоторым индексам объектов оптимизации F_i . В этом случае F_i включает F_1 , индекс максимальной возможности восстановления нагрузки, F_2 , минимальный индекс стартового времени для понижающего трансформатора (при создании сети низкого напряжения необходимо запитать понижающий трансформатор как можно быстрее, после того как восстановится соединение с землей в нейтральной точке трансформатора [9]), F_3 , индекс минимальной реактивной индуктивной нагрузки. N – это число индек-

сов. α_i - это значимость каждого индекса. X – это вектор статических переменных, который включает вектор напряжений шины, вектор тока и т.д. Uc – это вектор контролируемых переменных, который включает активную и реактивную выходную мощности генераторов, статус выключателей и т.д. Ud – это вектор неконтролируемых переменных. x – это характеристические параметры системы, определенные параметрами устройств, сетевой структурой системы и т.д. Вектор статических переменных X определен вектором контролируемых переменных Uc , вектором неконтролируемых переменных Ud и характеристическими параметрами системы x . g и h – это равные и неравные ограничивающие условия восстановления. Для упрощения модели, Uc включает только статус выключателей x , и справочные значения команд преобразователей. Равные ограничивающие условия действуют до тех пор, пока модуль холодного старта не станет перегружен. Неравные ограничивающие условия h включают:

Ограничения по выходной мощности генератора $P_{i\min} \leq P_i \leq P_{i\max}$,

а для РГ с преобразователем $S_{i\min}^2 \leq P_i^2 + Q_i^2 \leq S_{i\max}^2$.

Исходя из описанного выше могут быть сформированы следующие ограничивающие требования, которых необходимо придерживаться при запуске микросетей с распределенной генерацией.

1. В сетях с четким распределением источников генерации и модулей начального запуска те станции, которые располагают данными мощностями должны запускаться и формировать вокруг себя изолированные группы из критических потребителей. Эти изолированные группы потом соединяются между собой в заранее определенных местах, где имеется возможность для синхронизации. Скорость восстановления ускоряется с увеличением числа установок для начального запуска и их распределения. Необходим тщательный контроль при объединении изолированных групп, из-за наличия небольшого коэффициента жесткости.

2. Во время добавления нагрузки (подключения потребителей) необходим тщательный мониторинг для обеспечения пошагового изменения всех сетевых параметров: изменения величины нагрузки в соответствие с частотой, напряжением и коэффициентом жесткости изолированной группы. Во время подключения нагрузки внезапный запуск двигателя или вспомогательного генератора может вызвать скачок напряжения из-за высоких пусковых токов. Необходимая нагрузка может подключаться последовательно, небольшими шагами, не превышающими 50 кВт. Предпочтительно изначально восстановить потребителей, имеющих в своем составе двигателя, т.к. это связано с

моментом инерции изолированной группы. При подключении любых других величин мощности, колебания частоты не должны превышать 0,5 Гц в изолированной группе.

3. Третье правило может быть использован в случае, если модули начального запуска имеются в наличии только на нескольких электростанциях или мощность для старта должна транспортироваться из соседних регионов через одну или две точки подключения. В этом случае необходимое количество стартовой мощности должно быть передано всем генераторам по критерию приоритетности для изначального запуска нескольких потребителей и восстановления контроля напряжения. Стартовая мощность, доступная из соседних стабильных сетей, должна подаваться стабильно в подключаемые изолированные группы, чтобы не допустить возможных скачков и переходных процессов, приводящих к каскадным авариям.

Следует также отметить тот факт, что время восстановления питания в микросети может быть снижено из-за переходных процессов, возникающих при подключении нагрузки.

Литература

1. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Децентрализованные системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 100с.
2. Кузнецов П.А., Борщевский С.В. Преимущества создания когенерационных станций в сравнении с традиционными электростанциями. Проблемы недропользования: Сборник научных трудов. Часть I/ Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2014. 247 с.
3. Кузнецов П.А., Булах И.В. Экономия средств от модернизации производственного процесса системы охлаждения газа. Материалы I Международной научно-теоретической конференции молодых ученых и студентов «Менеджмент и маркетинг: современные глобальные вызовы». В 2 ч. – Донецк, ДонНТУ, 2014. – 361 с.
4. Feltes J W, Grande-Moran C. Black start studies for system restoration: Power and Energy Society General Meeting – Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE, Pittsburgh, PA, 2008[C].20-24 July 2008.
5. Weijia L, Zhenzhi L, Fushuan W. Analysis and optimisation of the preferences of decision-makers in black-start group decision-making [J]. Generation, Transmission & Distribution, IET, 2013,7(1):14-23.
6. Yi-Ting C, Chih-Wen L, Yi-Jen W, et al. Development of a Black Start Decision Supporting System for Isolated Power Systems[J]. Power Systems, IEEE Transactions on, 2013,28(3):2202-2210.
7. Datta S, Kolluri S, He T, et al. Development of an Alternative Black-Start Plan for System Restoration: Power Systems Conference and Exposition,

2006. PSCE '06. 2006 IEEE PES, Atlanta, GA, 2006[C]. Oct. 29 2006-Nov. 1 2006.

8. Saraf N, McIntyre K, Dumas J, et al. The Annual Black Start Service Selection Analysis of ERCOT Grid[J]. Power Systems, IEEE Transactions on, 2009,24(4):1867-1874.

9. Y J Wang, X Z Dong, B Wang, J Liu, A X Guo Black Start Studies for Micro-grids with Distributed Generators. 12th IET International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2014).

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВОК ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Касьянова А.Н.

Санкт-Петербургский горный университет

Большинство новых месторождения газа в России значительно удалены от крупных потребителей. Газ транспортируется на значительные расстояния. При этом трение о стенки трубопроводом приводит к потере давления. Поэтому эффективная подача природный газ на большие расстояния невозможна без компрессорных станции (КС), которые устанавливаются на трассе газопровода через каждые 100-150 км. Для обеспечения технологического процесса очистки, осушки и подачи газа в магистральные трубопроводы необходимо учитывать переменный режим работы газопровода. Количество газа, перекачиваемого через КС, можно регулировать включением и отключением числа работающих газоперекачивающих агрегатов (ГПА), изменением частоты вращения силовой турбины у ГПА с газотурбинным приводом и т.п.

Во всех случаях при производстве стремятся к тому, чтобы необходимое количество газа перекачать меньшим числом агрегатов, что бы уменьшить расход топлива на нужды перекачки и, соответственно увеличения подачи товарного газа по газопроводу.

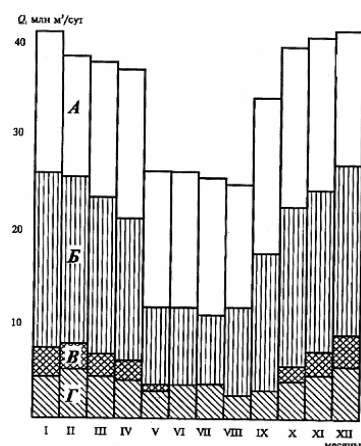


Рис. 1. Схема сезонного колебания расхода газа крупного промышленного центра:
А – ТЭС; Б – промышленность (включая котельные); В – отопление; Г – коммунально-бытовые потребители

Графиков расхода газа при переменном режиме работы газопровода, с учетом изменения его производительности, показан на рис.1. Из рисунка видно, что наибольшее влияние на режим работы КС и отдельных ГПА оказывают сезонные изменения производительности газопровода. Обычно максимум подачи газа приходится на декабрь-январь, а минимум – на летние месяцы года [1].

Существующие способы регулирования оцениваются по следующим показателям эффективности технологических решений: эффективность теплообмена; точность поддержания температуры газа на выходе; равномерность температур газа на выходе; регулирование производительности вентилятора; зимний и летний режимы эксплуатации; пуск вентилятора; резонанс; электромагнитная совместимость; эффективность работы электродвигателя; ресурс; надежность; безопасность; потребляемая мощность; диагностика; экономическая эффективность; перспектива внедрения [2].

Наиболее перспективными являются системы автоматизированного управления (САУ) рис.2. Назначение САУ:

- обеспечение безопасной работы КС;
- улучшение условий труда обслуживающего персонала;
- снижение затрат на эксплуатацию КС.

Система автоматизированного управления включает в себя:

- систему автоматизированного управления компрессорными установками;
- систему автоматизированного управления осушкой газа;
- систему учета природного газа, поступающего на КС;
- систему коммерческого учета газа (СКУГ), отпускаемого потребителям;
- систему контроля загазованности;
- систему пожарной сигнализации;
- систему автоматизированного управления оборудованием КС (краны, вентиляторы и т.д.).

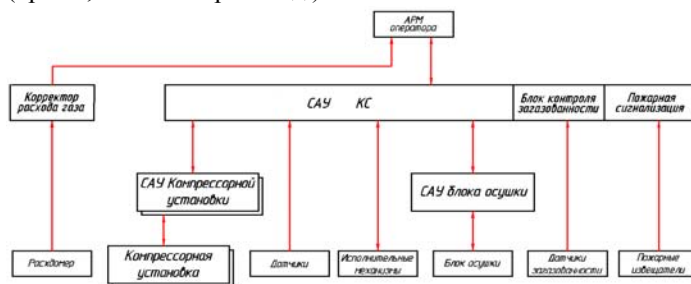


Рис.2. Системы автоматизированного управления КС

Важной составляющей в систему управления КС является процесс охлаждения газа, так как требуется значительного расхода энергетических ресурсов – аппараты воздушного охлаждения газа АВОГ могут включать от 14 до 28 вентиляторов мощностью порядка 30-40 кВт. Ниже приведены результаты исследования режимов работы АВОГ.

В основном режиме работы вентиляторов АВОГ на КС – в режиме дискретного регулирования с устройством плавного пуска, т.е. использованием САУ для последовательного включения вентиляторов по ходу течения газа – не учитываются индивидуальные характеристики вентиляторов и теплообменных секций АВОГ. А так же не учитывается режим работы КС – а в частности температура газа на выходе из КС. При вводе дополнительных критериев учета энергопотребления в зависимости от последовательности работы вентиляторов и выходных параметров газа и включение данного анализа в алгоритмы САУ АВОГ может быть достигнуто снижения энергопотребления.

Вторым способом регулирования работы АВОГ на КС является частотно-регулируемый привод (ЧРП) вентиляторов. При данном способе изменяется расход воздуха, прокачиваемого через теплообменник, путем изменения частоты вращения вентилятора для регулирования температуры газа на выходе из КС [3].

Максимальная эффективность работы АВОГ заключается в максимальной пропускной способности воздуха, зависящей от угла установки лопаток вентилятора, и в минимальном электропотреблении при заданной температуре газа на выходе из АВОГ.

Для достижения максимальной эффективности работы АВОГ необходимо обеспечить определенный угол установки лопаток и применение частотного регулирования. При данной оптимизации происходит снижение электропотребления электродвигателями АВОГ. В результате экономия электрической мощности АВОГ достигает 60% полной электрической мощности цеха АВОГ [4].

Литература

1. Отт К.Ф. Основы технической эксплуатации компрессорных цехов с газотурбинным приводом (ОТЭ). ИРЦ Газпром М.: 1996.
2. Щуровский В.А., Зюзьков В.В. Энергоэффективность магистрального транспорта газа и потребности в газоперекачивающей технике. Компрессорная техника и пневматика. 2011, №1, С.38-41
3. Алимов С.В., Прокопец А.О., Кубаров С.В., Маланичев В.А., Устинов Е.В. Модернизация вентиляторов АВО газа при реконструкции КС МГ Газовая промышленность. 2009. №4.
4. Устинов Е.В. Расчет охлаждения газа в АВОГ при частотном регулировании скорости вращения вентиляторов.

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С АКТИВНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ДЛЯ МОЩНЫХ УСТАНОВОК ПОСТОЯННОГО ТОКА

Лях Д.А., Веприков А.А.

Санкт-Петербургский Горный Университет

В условиях горной промышленности широкое применение находят преобразовательные установки большой мощности в составе различных технологических комплексов. [1] При добыче, транспортировке и переработке твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых интенсивно используются установки частотно-регулируемого электропривода на основе преобразователя частоты со звеном постоянного тока. В металлургической промышленности широкое распространение получили рудноутермические печи с управляемыми выпрямителями. В цехах электролиза эксплуатируются мощные вентильные преобразователи для обеспечения высокопроизводительных и энергосберегающих технологий. Применение силовых полупроводниковых преобразователей, являющихся нелинейной нагрузкой, обуславливает наличие высших гармонических составляющих в спектре тока и напряжения, что ведет к снижению параметров качества электроэнергии, искажению кривой питающего напряжения и снижению коэффициента мощности. В связи с этим возникает необходимость совершенствования упомянутых комплексов.

Общий вид системы электроснабжения с активными выпрямителями тока для питания серии электролиза цветных металлов представлен на рис. 1.

Групповой трансформатор 3 получает от двух взаимно резервируемых линий высокого напряжения (220 кВ). Стабилизация напряжения на шине среднего напряжения (10 кВ) осуществляется устройством РПН в групповом трансформаторе, наличие второго группового трансформатора обусловлено требованиями к надёжности электроснабжения электролизёра [7 из статьи в ЦМ]. К шине среднего напряжения подключено N_C преобразовательных секций, каждая из которых состоит из преобразовательного трансформатора 4 и N_A активных выпрямителей тока 5. Схема замещения электролизной серии включает в себя активное сопротивление $R_{CЭ}$ и индуктивность $L_{CЭ}$ ошиновки и электролизных ванн, в сумме с суммарной противо-ЭДС серии $E_{CЭ}$, которая учитывает процесс электрохимического разложения.

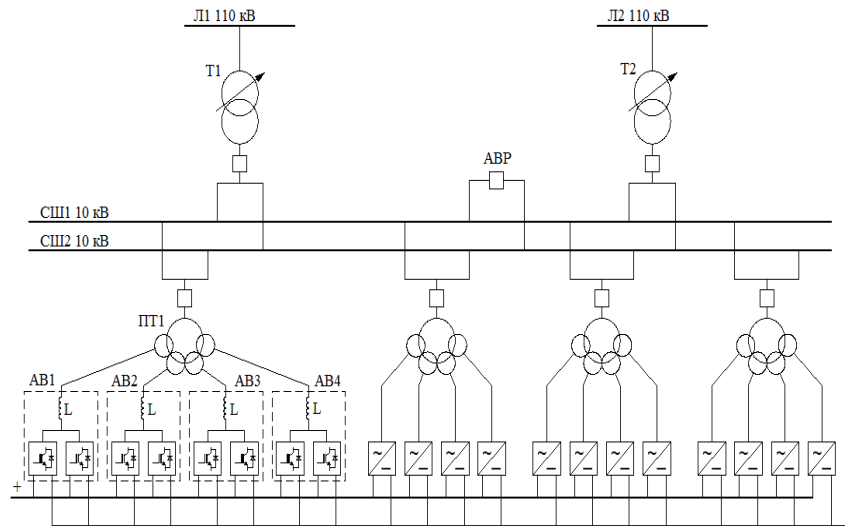


Рис. 1. Система электроснабжения серии электролиза с активными выпрямителями

Число секций N_C определяется величиной номинального выпрямленного тока одной секции I_C и номинальным током нагрузки $I_{CЭ}$:

$$N_C = \frac{I_{CЭ}}{I_C} + 2, \quad (1)$$

Дополнительные секции добавляются с учётом того, что преобразовательный комплекс должен обеспечивать номинальный ток нагрузки даже в случае выхода одной секции из строя во время профилактического ремонта другой, как следствие, в нормальном режиме секции загружены не на номинальную величину [Галевский 2008, 16 сальников].

Количество активных выпрямителей в составе секции определяется соотношением мощности преобразовательного трансформатора $S_{ПТ}$ и мощности полупроводникового преобразователя S_A :

$$N_A = \frac{S_{ПТ}}{S_A}, \quad (2)$$

Система управления активным преобразователем должна выполнять стабилизацию параметров нагрузки, при этом создавая форму потребляемого тока близкую к синусоиде с минимальным сдвигом отно-

сительно напряжения. Большинство используемых алгоритмов для синхронизации опираются на обобщённый вектор сетевого напряжения системы, который вращается с заданной частотой, однако в реальной сети возможны отклонения частоты.

В этой связи используется система управления преобразователем с автоматической фазовой синхронизацией питающего напряжения и модулирующего сигнала системы управления, использующая блок фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) для синхронизации фаз. Построенная модель активного выпрямителя тока показала, что активный преобразователь способен устойчиво работать на номинальном напряжении, его коэффициент мощности составляет около 0,985 при коэффициентах суммарных гармонических искажений по току 2,8% и 3% по напряжению.

Экспериментальные исследования проводились на предприятии, оборудованном двумя вакуумными дуговыми печами типа 833Д, их рабочий ток составляет 16 кА на напряжении до 60 В. Преобразователи реализованы в модульном исполнении на IGBT элементах: каждый модуль CM 40x200 способен регулировать ток в диапазоне 5ч180 А (максимальный ток до 200 А) на напряжении 45 В, поддерживая коэффициент мощности на уровне 0,98. Такая система электроснабжения позволяет увеличить коэффициент мощности, уменьшить мощность установленного трансформаторного оборудования и затраты на электроэнергию.

После модернизации СЭС коэффициенты искажений фазных токов и напряжений выросли на 10-15%, однако ток дуги в номинальном режиме увеличился с 9,7 кА до 12 кА. Таким образом $\lambda_{АП} = 0,77$. Стоит также отметить существенно сократившееся время плавки, модернизированная система электроснабжения позволила ускорить процесс более чем на 30%.

Литература

1. Горная промышленность // Горная энциклопедия / Главный редактор Е.А. Козловский. — М.: Советская энциклопедия, 1986. — Т. 2. — стр. 92-95.
2. Журавин Ю.Д., Минцис М.Я., Музыченко И.И. Электроснабжение цехов электролиза алюминия / Ю.Д. Журавин, М.Я. Минцис, И.И. Музыченко, под ред. М.Я. Минциса // Новокузнецк, 2000, 111 стр.
3. Абрамович Б.Н. Повышение эффективности электротехнических преобразовательных комплексов для питания электролизёров алюминия / Б.Н. Абрамович, А.А. Веприков, Ю.А. Сычёв, К.А. Хомяков // М.: изд. дом. Руда и Металлы, Цветные металлы, 2016, №10.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ
В ГОРНОТРАНСПОРТНЫХ МАШИНАХ,
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ**

Малахов В.А.

*Национальный исследовательский технологический университет
МИСиС*

Малахова И.М.

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

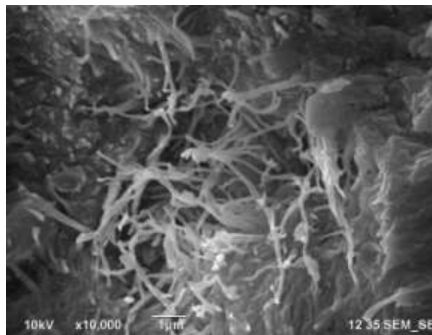
Объем использования пластичных смазок в ближайшие несколько лет в значительной степени будет определяться тенденциями развития отраслей отечественной экономики, выступающих крупнейшими потребителями продукции. Однако для того, чтобы продукция пользовалась спросом у предприятий – потребителей нужно обеспечить небольшую стоимость смазочных материалов и постепенное повышение качества продукции, с последующим выпуском перспективных смазок. Одним из важных направлений в разработках новых пластичных смазок является исследование их трибологических свойств, которые являются основными эксплуатационными показателями качества смазочных материалов.

Основное трибологическое свойство – уменьшить износ поверхностей трения и продлить тем самым срок службы деталей машин и механизмов [1]. В отдельных случаях смазки не столько уменьшают износ, сколько упорядочивают его, предотвращают трение и заклинивание смежных поверхностей, препятствуют проникновению агрессивных жидкостей, абразивных частиц, газов и паров. Смазки, которые практически не изменяют своих показателей качества весь период работы в узле трения, относятся к «вечным» (т.е. закладываются одноразово на весь период работы техники) или долго работающим (с большим периодом замены).

По составу смазки сложные коллоидные системы, состоящие из жидкой основы, которая называется дисперсионной средой, и твердого загустителя – дисперсной фазы, а также наполнителей и присадок. В качестве дисперсионной среды используют различные масла и жидкости.

Определяющее влияние на структуру и свойства пластичных смазок оказывают загустители, из частиц которых построен структурный каркас смазки. Они сильно различаются между собой по химической природе и по взаимодействию с жидкой средой смазки. Рис. 1 иллюстрируется микрофотография структура пластичной смазки, загущенная комплексным литиевым мылом.

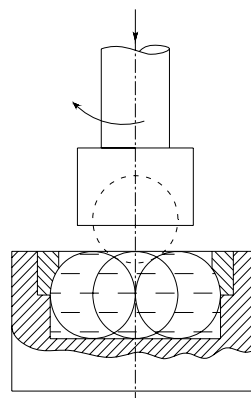
**Рис. 1. Структура
пластичной смазки,
загущенная комплексным
литиевым мылом**



***Анализ исследований трибологических свойств
пластичных смазок***

Свойства, характеризующие современные пластичные смазки являются: температура каплепадения; температура плавления; механическая стабильность; смазочная способность; вязкость базового масла и т.д. Однако во время эксплуатации смазок наиболее важными выступают трибологические свойства, которые классифицируются по различным характеристикам таким, как антифрикционные, противоизносные, противопиттинговые, противоскачковые и противозадирные. Для оценки трибологических свойств пластичных смазок широкое распространение получил метод испытания смазок на четырехшариковой машине трения (ЧШМ) (Рис. 2). Данный метод испытания позволяет измерить такие показатели смазок, как критическая нагрузка, нагрузка сваривания, диаметр пятна износа, индекс задира.

В результате анализа было установлено, что на сегодняшний момент исследованиями по сравнению трибологических свойств отечественных и импортных смазок с целью импортозамещения занимается небольшое число исследователей. К примеру, в работе [2] описывается сравнительное исследование образцов распространенных импортных смазок и лабораторного образца смазки на ЧШМ по определению



**Рис. 2. Схема четырёхшариковой
машины трения, применяемой
для оценки противоизносных
и противозадирочных свойств
пластичных смазочных
материалов**

трибологического показателя диаметра пятна износа. Испытания показали (табл. 1), что лабораторный образец значительно превосходит товарные смазки по значениям показателя диаметра пятна износа. Однако в приведенном выше эксперименте не учитывались другие трибологические характеристики, а именно критическую нагрузку, нагрузку сваривания и индекс задира.

Таблица 1 – Результаты сравнительных испытаний

Показатель	Уровень требований	Лабораторный образец	Смазка Элесма	Смазка Gadus S5 V1002	Метод испытания
Трибологические характеристики на 4-х шариковой машине трения при (20±5)°С при 20 кг – диаметр пятна износа, $D_{из}$, мм	не более 0,50	0,45	0,47	0,49	ГОСТ 9490

В рамках объявленного руководством страны курса на импортозамещение, в результате которого ожидается увеличение объема потребления товаров отечественного производства, становится актуальным проведение исследований современных пластичных смазок российского производства по всем трибологическим показателям. Результаты этих исследований могут быть использованы при разработке новых сортов отечественных смазок. Согласно аналитическим прогнозам Центра макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования проведение мероприятий в данном направлении на протяжении 5 – 7 лет способно обеспечить промышленному производству России 10 – 15 % роста [3].

Текущее состояние производства и потребления пластичных смазок в Российской Федерации.

Мировое производство пластичных смазок за период 2001 – 2012 гг. не превышает 1,0 млн т/год (по данным NLGI, ELGI, Japan Grease Institute), то есть приблизительно составляет 3,0% от общего потребления смазочных материалов [2, 4, 5,6].

Большая часть смазок вырабатывается с использованием нефтяных масел при незначительном, однако постоянном, увеличении части смазок на синтетической основе. Особое внимание уделяется разработке, производству и потреблению биоразлагаемых смазок, где дисперсионной средой служат растительные масла или их производные [7].

Структура выпуска смазок по типу загустителя определяет уровень их качества в целом. По типам загустителя 75% рынка составляют ли-

тивные и kLi-смазки. Увеличивается производство перспективных пластичных смазок. Так, в 2010 г. объем производства безводных кальциевых смазок в мире увеличился на 63% и более чем на 100% в Китае, сульфонатных кальциевых смазок на 24% и полимочевинных на 32% (в основном в Японии, Китае и Северной Америке).

В настоящее время России вырабатывается примерно 150 наименований пластичных смазок объемом 27-40 тыс. тонн в год. По ассортименту производимых смазок Россия еще в 2000 г. значительно отставала от промышленно-развитых стран Западной Европы и США, так как доля выпуска литиевых смазок оставалась небольшой – 23,3%, но к 2010 г. объем производства литиевых смазок превысил 40% (табл. 2) [8,9].

Таблица 2 – Структура выпуска пластичных смазок в РФ, тыс. т, %

Тип загустителя	1992 г.		2000 г.		2008 г.		2010 г.	
	%	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т
Литиевые	20,50	16,80	23,30	9,83	34,30	10,50	40,30	9,00
Комплексные литиевые	0,20	0,16	0,10	0,04	3,60	1,10	4,00	0,90
Натриевые и натриево-кальцевые	2,70	2,22	30,90	13,03	10,80	3,30	7,00	1,60
Кальциевые гидратированные	74,40	61,10	44,40	18,72	32,50	9,90	34,20	7,80
Кальциевые безводные	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-
Кальциевые комплексные	0,50	0,41	1,05	0,42	10,80	3,30	8,00	1,80
Алюминиевые	1,00	0,80	0,02	0,01	-	-	-	-
Прочие мыльные	0,59	0,48	0,20	0,07	0,80	0,20	0,50	0,10
Неорганические	0,10	0,08	0,02	0,01	3,60	1,10	3,00	0,70
Органические	-	-	0,01	0,01	3,60	1,10	3,00	0,70
ИТОГО	100,00	82,06	100,00	42,14	100,00	30,50	100,00	22,60
Углеводородные	-	6,30	-	3,00	-	2,00	-	1,50
Полужидкие	-	9,00	-	0,02	-	3,70	-	3,00
ВСЕГО	-	97,36	-	45,16	-	36,20	-	27,10

Большинство выпускаемых в нашей стране в настоящее время мас-
совых пластичных смазок морально устарело еще 30-40 лет назад, а по-
полнение ассортимента новыми высококачественными смазками проис-
ходит очень медленно.

Впервые в СНГ высокоэффективные кLi -смазки были выпущены в
1987 г. (смазка ЛКС-2). Работоспособные в более широком интервале
температур по сравнению с простыми литиевыми, кLi -смазки находят
все более широкое применение в оборудовании текстильной, станко-
строительной, автомобильной и других отраслей промышленности [10].

По своей природе комплексные литиевые смазки представляют со-
бой сложную загущенную систему, обладающую высокой температурой
каплепадения и при этом сохраняющую подвижность при относительно
низких температурах.

Производство этого типа смазок в России постепенно растет. Если в
1992 г. их доля в общем объеме выпуска смазок составляла 160 т (0,2%),
в 2000 г. – только 42 т (0,1%), в 2004 г. их доля выросла до 310 т (1,0%),
то к 2007 г. она впервые превысила 1000 т (Табл. 3) [6, 11].

В целом, по объему производства кLi -смазок Россия существенно
отстает от ведущих зарубежных стран. Так как объемы потребления
данного типа смазок значительно превышают объемы производства,
дефицит компенсируется за счет импорта из Европы и США.

В целом, по объему производства кLi -смазок Россия существенно
отстает от ведущих зарубежных стран. Так как объемы потребления
данного типа смазок значительно превышают объемы производства,
дефицит компенсируется за счет импорта из Европы и США.

Таблица 3 –Динамика производства литиевых смазок (2004-2007 гг.)

Страна	Литиевые смазки, тыс. т., %					
	всего		в том числе традиционные		в том числе комплексные	
	2004 г.	2007 г.	2004 г.	2007 г.	2004 г.	2007 г.
Китай	79,71	85,41	73,82	74,55	5,89	10,86
Индия	84,27	87,46	77,21	82,93	7,06	4,52
Северная Америка	68,46	68,02	35,16	31,39	33,29	36,63
Европа	70,46	66,98	60,58	54,85	9,88	12,13
Япония	59,97	61,52	58,20	59,51	1,77	2,00
Россия	48,52	62,50	47,52	60,90	1,00	1,60

Самые распространенные импортные аналоги, представленные сегодня на рынке пластичных смазок:

- пластичные смазки серий Mobilith SHC и Mobilgrease фирмы ExxonMobil;
- пластичные смазки Gadus фирмы Shell;
- пластичные смазки LMX Li-Komplexfett фирмы Castrol;
- пластичные смазки Multis Complex фирмы Total Lubricants.

Смазки на комплексных литиевых мылах являются конкурентоспособными и характеризуются высоким уровнем эксплуатационных свойств, увеличение их доли в общем объеме производства пластичных смазок в России является своевременным и актуальным [2].

Литература

1. Малахов В.А. Горная механика и транспорт: Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск №6. М.: «Горная книга». 2014, с. 78-91.
2. Повх И. С. Влияние рецептурно-технологических факторов на характеристики комплексных литиевых смазок с улучшенными низкотемпературными свойствами. М., 2015. 126 с.
3. Бизнес России. Импортозамещение: две стороны одной монеты. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://businessofrussia.com/dec-2014/item/975-kondratyev.html>.
4. Любинин, И.А. Состояние и перспективы производства пластичных смазок в России и странах СНГ. И.А. Любинин. ХТТМ. 2012. №1. С.3-6.
5. Официальный сайт NLGI. Grease production survey report for the calendar years 2012, 2011, 2010 and 2009. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: www.nlgi.org
6. Евдокимов, А.Ю. Смазочные материалы в техносфере и биосфере. Киев: Атика-Н, 2012. 292 с.
7. Hydrocarbon Processing. 2005. №3. Vol.84. P.21-23.
8. Обзор рынка пластичных смазок в России 2001-2020 гг., 4 изд. отчет. М.: ООО «Исследовательская группа «Инфомайн», 2011. 208 с.
9. Любинин, И.А. Высокотемпературные пластичные смазки: состояние и перспективы производства в странах СНГ. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2013. №7. С.30-35.
10. Чепурова, М.Б. Состояние производства пластичных смазок в России. Мир Нефтепродуктов. 2005. № 3. С.3-10.
11. Погодаев, Л.И. Новый пластичных материал. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2006. № 6. С.34-48.

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ВЗРЫВАНИЯ СУЛЬФИДНОЙ ПЫЛИ И СПОСОБОВ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ*

Рыльникова М.В., Айнбиндер И.И., Митишова Н.А.

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

Для повышения эффективности добычи сульфидных руд, отработка которых осложняется опасностью возникновения взрывов сульфидной пыли, весьма важной является разработка методов предотвращения возникновения аварийных ситуаций. Взрывы сульфидной пыли возникают при подземной разработке месторождений колчеданных руд: медно-цинковых, свинцово-цинковых, медно-никелевых, антимонитовых и др. В результате взрыва сульфидных аэрозвесей ухудшаются санитарно-гигиенические условия труда (выделение ядовитых газов, повышение температуры воздуха в выработках, травматизм), наносится значительный экологический ущерб окружающей среде. Инициатором возникновения взрыва сульфидной пыли являются взрывные работы, а также нарушение правил безопасности персоналом рудника [1].

Специфичность условий ведения взрывных работ на колчеданных рудниках обусловлена, прежде всего, взрывоопасностью образовавшегося облака сульфидной пыли. Безопасность производства взрывных работ при проведении горных работ в забоях, опасных по взрыву пыли, обеспечивается осуществлением ряда специальных мероприятий, выбор которых в современных условиях требует серьезного научного подхода на базе фундаментальных исследований по различным направлениям [2].

Решению этих проблем способствовали теоретические и экспериментальные исследования, проводившиеся в нашей стране и за рубежом.

Первые исследования взрывчатых свойств сульфидной пыли проведены в Горном бюро США в 1926 г. Толчком к проведению исследований послужил взрыв пыли на шахте "United Verde", повлекший за собой человеческие жертвы и большие разрушения. На Урале первые взрывы колчеданной пыли были зафиксированы в 20-х годах прошлого столетия на Калатинском, Белореченском и Карабашском медноколчеданных рудниках. К 1934-1936 гг. число взрывов колчеданной пыли значительно возросло, что было связано с применением взрывчатых веществ большой мощности. По данным 3-го отряда ВГСЧ Урала только на од-

* Исследования выполняются при поддержке РФФИ (грант №14-37-00050)

ном Гайском руднике при производстве массовых взрывов за период с 1994 по 1998 гг. зафиксирован 81 взрыв сульфидной пыли, что составило в среднем 32 % от всех взрывов каждый год [3]. Последнее воспламенение сульфидной пыли произошло летом 2017 г. на подземном руднике Сибайского филиала “Учалинского ГОКа”. Причиной всех зарегистрированных взрывов колчеданной пыли являлись взрывные работы, причем взрывы пыли наблюдались при использовании всех типов ВВ, применяемых на колчеданных рудниках.

Важно отметить, что взрывы пыли были зафиксированы во всех странах, разрабатывающих медноколчеданные месторождения полезных ископаемых с высоким содержанием серы. Имеют место случаи возникновения рудничных пожаров. Несмотря на это, исследования в области взрывов сульфидной пыли, как в России, так и за рубежом, в последнее время практически не развиваются. Хотя, ряд вопросов, связанных с природой и характером взрывов пыли, не получил своего окончательного решения. Эксперименты по изысканию эффективных способов предотвращения взрывов пыли, проводимые различными исследовательскими организациями и рудниками, не позволили снять остроту вопроса. Противовзрывные мероприятия, применяемые в данный момент на рудниках, разрабатывающих серосодержащие руды, не являются достаточно эффективными. Требования к ведению взрывных работ, изложенные в действующей “Инструкции по предупреждению взрывов сульфидной пыли на подземных рудниках, разрабатывающих пиритосодержащие колчеданные руды” (1991), вошли в противоречие с современной технологией горных и взрывных работ [4].

В современных условиях на рудниках применяют инновационные системы разработки, высокопроизводительные технологии очистных и горнопроходческих работ, новые технологии буровых работ и взрывчатые материалы, новые способы взрывания. С учетом остроты возникших проблем обеспечения безопасности работ и формирования экологически сбалансированной среды обитания, изыскание нетрадиционных эффективных способов борьбы со взрывами сульфидной пыли и создание безопасных условий ведения горных работ в проходческих и очистных забоях при разработке месторождений колчеданных руд является весьма актуальным.

Большой объем экспериментальных исследований по изучению взрывов сульфидной пыли и способов их предупреждения, методов определения пылеотложения, изучению предохранительных ВВ для рудников опасных по сульфидной пыли, влиянию горнотехнических факторов на взрывы сульфидной пыли при скважинном взрывании, проводились сотрудниками институтов УНИПРОМЕДЬ, УНИХИМ, МакНИИ, ЦНИГРИ, Свердловский горный институт им. В.В. Вахрушева

и др. Первые исследования, в 60-х годах прошлого века, были выполнены институтом УНИПРОМЕДЬ Э.И. Чернявским, А.С. Алешиним, В.Н. Бекчиу, Н.С. Бахаревичем, а также Магнитогорским горно-металлургическим институтом под руководством проф. В.М. Огиевского. Значительный вклад в изучение данного вопроса также внесли В.И. Смирнов, В.А. Ярцин, В.Н. Рыжков, Л.М. Ягнышева, и др. [5,6,7,8,9,10]. В ходе этих исследований изучен химический и дисперсный состав пыли, отобранной из взрывоопасных забоев, были проведены экспериментальные взрывы, показавшие возможность воспламенения сульфидной пыли шпуровыми зарядами.

В исследованиях доказано, что основным источником воспламенения сульфидной пыли являются нагретые газообразные продукты детонации, имеющие температуру 2000-3000°C, образующиеся при взрывных работах. Взрывчатость сульфидной пыли зависит от: содержания серы, размера частиц и влажности. Известно, что наиболее характерная минимальная температура вспышки сульфидной пыли находится в пределах 400-600°C, то есть ниже температуры воспламенения угольной пыли или метана (650-750°C) и выше, чем у серной пыли (270-340°C). Наиболее взрывоопасной является мелкодисперсная сульфидная пыль (50-250 мкм), с увеличением влажности и инертных добавок (сухая глина 65-70%) взрывчатость сульфидной пыли снижается (при влажности 9-9,5% сульфидная пыль становится взрывобезопасной). Согласно российским нормам нижний взрывоопасный предел содержания серы в руде находится на уровне 35%, минимальная взрывоопасная концентрация сульфидной пыли в воздухе составляет 80-100 г/м³[5]. Вместе с тем, исследования [11] показали, что пиритные руды с содержанием серы более 18% уже способствуют взрыву пыли. При содержании кислорода в воздухе 8-9% и менее, взрывов сульфидной пыли не происходит. Все это указывает на необходимость индивидуального подхода применительно к оценке взрывоопасности сульфидной пыли на каждом месторождении.

Для повышения надёжности оценки взрывоопасности пылевого облака необходимо изучить состав добываемой руды и склонность ее к разрушению с формированием гранулометрического состава, включающего крупности частицы опасного размера – сульфидной пыли.

При оценке возникновения и распространения взрыва облака сульфидной пыли следует учитывать, что:

- 1) наиболее взрывоопасными являются трудновзрываемые монокристаллические пиритосодержащие руды, имеющие коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодьяконова более 16, так как в этих рудах наблюдается явление “прострела” шпуров (скважин) [5];

2) наиболее сильные взрывы происходят в очистных блоках, обрабатываемых системой подэтажных штреков (ортов), особенно на последней стадии их обработки при наличии больших объемов пустот в камерах [5];

3) согласно Руководству по безопасности горючей сульфидной пыли при подземных горных работах (Австралия) во всем мире за последние 20 лет наблюдается все большее число взрывов сульфидной пыли, которые, по-видимому, совпадают с нарастанием использования взрывных работ со скважинами увеличенного диаметра [11];

4) величина заряда не оказывает большого влияния на максимальную концентрацию пыли непосредственно в месте его взрыва, но от нее существенно зависит величина зоны распространения облаков со взрывоопасными концентрациями пыли [6];

5) с увеличением глубины разработки увеличивается содержание серы в обрабатываемых рудах [7];

6) применение более прогрессивных систем разработки и современной технологии очистных и горнопроходческих работ связано с необходимостью значительного увеличения скорости проведения подготовительных выработок и увеличения объема буровзрывных работ, вследствие чего возрастает потенциальная опасность взрывов сульфидной пыли [4].

При разработке колчеданных руд с содержанием серы свыше 12% на большинстве рудников в той или иной степени проводятся мероприятия по предупреждению взрывов сульфидной пыли. При этом выбор профилактических мероприятий производится, как правило, экспериментальным путём без достаточного теоретического обоснования и без учета степени взрывчатости сульфидных аэрозолей, что в значительной степени снижает эффективность борьбы с пылью.

На данный момент на рудниках, опасных по взрыву сульфидной пыли рекомендуется применять мероприятия, направленные на снижение возникновения и распространения взрывов пыли:

- для шахт I группы (содержание серы более 35% при коэффициенте крепости пород не более 16 по шкале проф. М.М. Протодяконова) обязательными являются смывание серной пыли со стенок выработок и орошение забоя перед взрыванием;
- для шахт II группы (содержание серы более 35% при коэффициенте крепости пород более 16 по шкале проф. М.М. Протодяконова), наряду с орошением серной пыли со стенок выработок предусматривается применение предохранительных ВВ, электродетонаторов мгновенного и короткозамедленного действия и электрооборудования во взрывоопасном исполнении.

На всех шахтах, опасных по взрывам сульфидной пыли является обязательным:

- наличие забойки, как при шпуровом, так и при скважинном взрывании, основным назначением которой является подавление образующихся при взрыве ВВ ядовитых газов и пыли (в качестве забойки применяют гидропасту или водонаполненные ампулы);
- введение ингибиторных частиц в состав ВВ (10-15% карбоната кальция в составе ВВ);
- мониторинг содержания пыли в рудничной атмосфере, что является чрезвычайно важным условием для контроля взрыво- и пожароопасности.

Для предотвращения взрывов пыли перспективно применение внутренней забойки, которая препятствует свободному выбросу продуктов взрыва из шпура (скважины) и не допускает непосредственного контакта газов с атмосферой забоя в начальный момент взрыва [2]. Также предложен способ борьбы со взрывами сульфидной пыли на колчеданных рудниках, основанный на инертизации забойной зоны газами, не поддерживающими горение. Для этой цели используются газообразные продукты детонации зарядов ВВ, предназначенные для отбойки руды. Учитывая, что при взрывчатом разложении ВВ образуется до 1 м³/кг газов, представленных в основном азотом и углекислым газом. После детонации зарядов эти газы выбрасываются в атмосферу, заполняя компенсационную камеру и прилегающие к ней выработки. При этом происходит перемешивание таких газов с рудничным воздухом, и, как следствие этого, – снижение содержания кислорода [1].

Применение описанных мероприятий позволяет предотвратить взрывы сульфидной пыли на колчеданных рудниках, улучшить санитарно-гигиенические условия, сократить время проветривания выработок и простой из-за аварий, обеспечить безопасность ведения горных работ.

Для предотвращения на рудниках по добыче колчеданных руд взрывов сульфидной пыли в ИПКОН РАН в лаборатории Экологически сбалансированного освоения недр организовано проведение исследований, направленных на выявление факторов опасности, вызывающих взрывы, сульфидной пыли определение механизмов и условий возникновения взрыва, мер по предотвращению взрывов сульфидной пыли, по локализации и устранению последствий взрыва, разработке технологических способов снижения вероятности взрывов. Для этого предусмотрены исследования вещественного состава колчеданных руд с применением комплекса минералогических исследований SIAMS, мобильного рентгенофлуоресцентного анализатора X-5000 MOBILE XRF. Выполняется анализ концентрации пылевых частиц в рудничной атмосфере и модельных средах с использованием приборов экологического контроля DT-9881M с диапазоном измерений концентрации пылевых частиц размером от 10 до 0,3 мкм, портативного анализатора частиц диаметром

10-700 нм DiSCmini для мониторинга наличия частиц концентрацией 10^3 - 10^6 частиц/см³ воздуха, в том числе, с возможностью оценки их токсичности. Кроме того, применяется вспомогательное оборудование пирометр высокотемпературный DT-9862; анализатор влажности SARTORIUS MA -150, оборудование для подготовки материалов к проведению лабораторных исследований.

Исходя из вышесказанного, план исследовательских работ Лаборатории предусматривает:

1. Оценку результатов функционирования подземных рудников, разрабатывающих месторождения сульфидных руд, имеющих склонность к самовозгоранию, или рудная пыль в которых склонна к воспламенению от внешних термических воздействий.

2. Проведение анализа методик идентификации опасных производственных объектов с подземным способом разработки в части установления класса опасности объекта

3. Обеспечение проведения исследований в Лаборатории экологически сбалансированного освоения недр [12,13] в соответствии и на уровне мировых стандартов качества.

Литература

1. Кузнецова Д.А., Тетерев Н.А. Анализ способов борьбы со взрывами сульфидной пыли на медноколчеданных рудниках // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам» 2015. с. 391-392.

2. Параманов Г.П. Повышение безопасности взрывных работ на колчеданных рудниках // Записки горного института. Т.148(2). С. 76-84.

3. Параманов Г.П. Физические основы предотвращения взрывов сульфидной пыли на колчеданных рудниках: дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург 1999. 282 с.

4. Ермолаева А.И., Тетерев Н.А. Анализ исследований в области взрывов пыли и их предупреждения на подземных рудниках // Известия вузов. Горный журнал. 2015. №8. С. 75-80.

5. Инструкция по предупреждению взрывов сульфидной пыли на подземных рудниках, разрабатывающих пиритосодержащие колчеданные руды 1991.

6. Алешин А.С., Ярцев В.А. Исследование пылеобразования при дроблении взрывоопасных колчеданных руд накладными зарядами ВВ // Известия высших учебных заведений. 1969. №3. С. 56-59.

7. Чернявский Э.И., Алешин А.С. и др. Взрывы сульфидной пыли и способы их предупреждения // Труды института УНИПРОМЕДЬ. 1967. Выпуск X. с. 89-95.

8. Чернявский Э.И., Бекчиу В.Н. и др. Забойка как основное средство борьбы со взрывами сульфидной пыли при скважинном взрывании // Труды института УНИПРОМЕДЬ. 1969. Выпуск XI. с. 72-75.

9. Бахаревич Н.С., Романов А.И. и др. Предохранительные ВВ для рудников, опасных по сульфидной пыли // Сборник 49/6 – Взрывное дело. 1962. с. 190-201.

10. Рыжков В.Н., Ягнышева Л.М. и др. Способы борьбы с пылью на медноколчеданных рудниках // Труды института УНИПРОМЕДЬ. 1970. Выпуск XIII, с. 119-123.

11. Department of Industry and Resources Safety Management of UG Combustible Sulphide Dust, Guideline safety management of underground combustible sulphide dust // Document No: ZMI578XC, 1997.

12. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Создание в России научного центра по изучению экологически сбалансированного цикла комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых // Горный журнал, 2014. -№ 12. -С. 4-7.

13. Рыльникова М.В., Галченко Ю.П., Радченко Д.Н. Методика проведения мониторинга современного состояния горнотехнических систем и окружающей среды в регионах их функционирования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № S12. С. 11-33.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Пеленев Д.Н., Бабырь К.В.

Санкт-Петербургский горный университет

Эффективность деятельности горнодобывающих предприятий определяется уровнем надежности и безопасности эксплуатации распределительных электрических сетей 6-10 кВ, представляющих собой сложные динамические системы с изменяющейся структурой и параметрами. Выполненный анализ эксплуатационных данных этих сетей установил, что наибольшее количество аварийных повреждений (70-80 % от общего числа аварийных случаев) связано с однофазными замыканиями на землю (ОЗЗ), количество которых зависит от конфигурации и протяженности сети, числа электроустановок, климатических условий и т.д. [1,2]. Если возникшее ОЗЗ своевременно не локализовать, то оно может привести к ряду негативных последствий, таких как:

- перенапряжения высокой кратности (2,5-3,5 по сравнению с фазным напряжением), распространяющиеся по всей электрически связанной сети и являющиеся причиной перехода режима однофазного замыкания в двойные или двухместные замыкания на землю;
- феррорезонансные процессы, которые являются причиной выхода из строя измерительных трансформаторов напряжения и малонагруженных силовых трансформаторов;

- разрушение железобетонных опор и возникновение пожаров в кабельных помещениях;
- опасность поражения обслуживающего персонала напряжениями прикосновения и шага.

Согласно [3] при надежно функционирующей защите от ОЗЗ уровень электротравматизма в электрических сетях 6-10 кВ удалось бы снизить более чем на 20 %. В этой связи организация эффективной защиты от однофазных замыканий на землю на предприятиях горнодобывающей отрасли является одной из приоритетных задач в части обеспечения надежности и безопасности электроснабжения потребителей.

На объектах распределительных сетей 6-10 кВ угольных предприятий широкое распространение получили защиты от однофазных замыканий на землю, основанные на контроле токов нулевой последовательности в установившемся режиме ОЗЗ. Однако обеспечить высокую селективность и чувствительность действия таких защит в условиях непостоянства конфигурации и высокой неоднородности распределительных сетей вследствие нестационарности электротехнических комплексов при ведении горнодобывающих работ не всегда представляется возможным. Для устойчивого функционирования токовых защит от ОЗЗ необходимо соблюдение условий, при которых значение суммарного емкостного тока сети, протекающего по поврежденному присоединению, превышает значения собственных емкостных токов неповрежденных линий в 3–5 раз и более [4].

Проведенный анализ устойчивости функционирования токовых защит от однофазных замыканий на землю распределительных сетей угледобывающих предприятий выявил низкую чувствительностью и селективностью их действия, что обуславливает высокую вероятность возникновения аварийных ситуаций, связанных с опасностью поражения обслуживающего персонала электрическим током и значительными экономическими ущербами из-за нарушений электроснабжения электроустановок.

Для повышения чувствительности действия защиты от однофазных замыканий на землю на примере объекта электрической сети угледобывающего предприятия ОАО «Шахта «Полосухинская» (рис. 1) было предложено использовать разделительные трансформаторы, предназначенные, в первую очередь, для потенциальной развязки электрической сети 6-10 кВ поверхностного и подземного комплекса [6]. Разделительные трансформаторы следует устанавливать на линиях с большим коэффициентом долевого участия, что позволит увеличить соотношение между собственным емкостным током линии и суммарным током замыкания на землю сети, вследствие чего повысится чувствительность действия защиты (табл. 1).

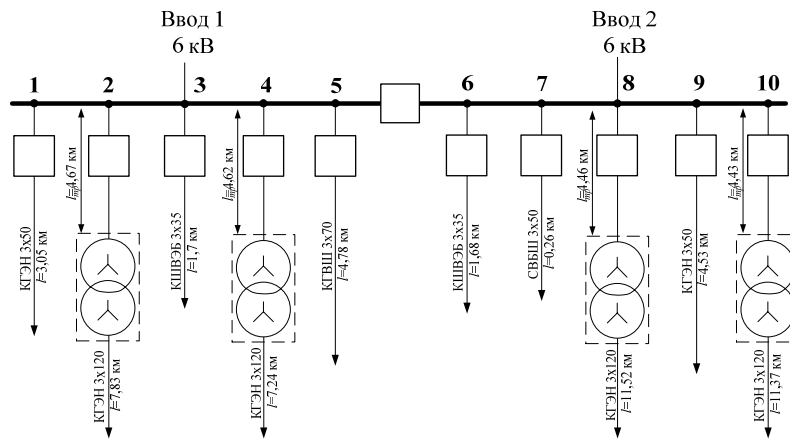


Рис 1. Принципиальная схема объекта распределительной сети 6 кВ ОАО «Шахта «Полосухинская»

Таблица 1 – Результаты аналитических исследований чувствительности токовых защит от ОЗЗ распределительной сети 6 кВ после до и после введения разделительных трансформаторов (Р.Т.)

№ линии	До Р.Т. $I_{л.с.}, A$	После Р.Т. $I_{л.с.}, A$	До Р.Т. $K_{ч}$ $K_{отс}=1,8$	После Р.Т. $K_{ч}$ $K_{отс}=1,8$	До Р.Т. $K_{ч}$ $K_{отс}=2,7$	После Р.Т. $K_{ч}$ $K_{отс}=2,7$
1	1,940	1,940	4,264	3,133	2,843	1,919
2 (Р.Т.)	5,252	3,13	1,227	1,653	0,818	1,251
3	0,891	0,891	9,937	7,477	6,624	4,614
4 (Р.Т.)	5,064	3,18	1,291	1,738	0,860	1,257
5	3,691	3,691	1,978	1,383	1,319	0,833
6	0,879	0,879	11,483	5,633	7,655	2,533
7	0,154	0,154	68,444	34,76	45,629	16,23
8 (Р.Т.)	7,819	3,03	0,798	1,326	0,532	1,115
9	2,758	2,758	3,284	1,417	2,189	1,264
10 (Р.Т.)	7,446	3,14	0,866	1,316	0,577	1,031

В результате проведенных исследований, была получена аналитическая зависимость для выбора места установки разделительных трансформаторов, основанная на правилах безопасности в угольных шахтах и применимая к защите от ОЗЗ:

$$l_{mp} = \frac{I_{\Sigma} - I_{л.с.}}{(K_{омс} K_{\epsilon} + 1) \cdot I_{уд.}}$$

где l_{mp} – требуемая длина линии, определяющая место установки разделительного трансформатора, км; I_{Σ} – суммарный емкостной ток замыкания на землю всех электрически связанных линий сети, А; $I_{л.с.}$ – собственный емкостной ток линии, А; $K_{омс}$ – коэффициент отстройки защиты; K_{ϵ} – коэффициент чувствительности; $I_{уд.}$ – удельный емкостной ток относительно земли i -ой линии, определяемый ее параметрами, А/км.

Однако обеспечение необходимой чувствительности действия защиты от ОЗЗ не гарантирует устойчивости ее функционирования в условиях неполных замыканий фазы электрической сети на землю. Такой режим ОЗЗ характеризуется возникновением переходного сопротивления в месте замыкания на землю, величина которого носит стохастический характер и может достигать 5 кОм и более [3]. Широко применяемые в распределительных сетях угольных предприятий токовые защиты направленного и ненаправленного действия в условиях возникновения в сети неполных замыканий на землю оказываются неработоспособными вследствие того, что переходное сопротивление, как параметр контура нулевой последовательности, приводит к снижению рабочих сигналов, контролируемых для целей защиты [4].

Для обеспечения селективного действия защиты при неполных замыканиях на землю необходимо использовать инвариантную защиту от ОЗЗ, в которой предусмотрена оценка величины переходного сопротивления в месте замыкания фазы на землю и последующая автоматическая коррекция сигнала тока нулевой последовательности защищаемой линии с учетом неполноты замыкания. Экспериментальные исследования на физической модели распределительной сети опытного образца устройства защиты подтвердили ее высокую работоспособность в условиях вариации переходного сопротивления в месте замыкания [5].

Литература

1. Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А. Проблемы обеспечения энергетической безопасности предприятий минерально-сырьевого комплекса // Записки Горного института. – т. 217. – 2016. С. 132-139.

2. Кудрявцев А. Исследование аварийности в сетях 6-10 кВ горно-металлургических предприятий // Новости электротехники. – № 6(60). – 2009.
3. Бухтояров В.Ф., Маврицын А.М. Защита от замыканий на землю электроустановок карьеров. – М.: Недра, 1986. 184 с.
4. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – СПб.: ПЭИПК, 2003. 350 с.
5. Пеленев Д.Н. Инвариантная защита от однофазных замыканий на землю для электрических сетей 6-35 кВ // Горное оборудование и электромеханика. Изд.: Новые технологии – №9, 2014, С. 16-20.
6. Пеленев Д.Н., Бабырь К.В., Бабырь В.В. Повышение чувствительности защиты от однофазных замыканий на землю электрических сетей угольных предприятий // Горное оборудование и электромеханика. Изд.: Новые технологии – №3, 2017, С. 24-27.

**ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ УТИЛИЗАЦИИ ХВОСТОВ
ОБОГАЩЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД В ЗАКЛАДКЕ
ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПРОМЫШЛЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ОСВОЕНИЯ КОЧКАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ***

Рыльникова М.В.

ИПКОН РАН

Струков К.И.

АО «УК ЮГК», ИПКОН РАН

Гоготин А.А.

ФГБОУ «МГТУ им. Г.И. Носова»

В настоящее время отработка запасов Кочкарского месторождения ведется системой разработки «подэтажные штреки» с мелкошпуровой отбойкой. Данная система разработки применяется в связи с незначительной мощностью рудных жил, которая колеблется от нескольких сантиметров до одного-двух метров, в среднем составляет 0,7 м. Оруденение прослеживается до глубины 1200 м [1]. В ряде случаев вмещающими породами являются золотосодержащие прокварцованные граниты, мощность таких оруденений достигает 10-14 м при среднем содержании золота 3 г/т. В связи с ростом цен на драгоценные металлы доработка данных оруденений стала рентабельной. Для их отработки на глу-

* Исследования выполняются при поддержке РФФИ (грант 14-37-00050)

бинах 470 – 700 м была предложена система разработки подэтажные штреки со скважинной отбойкой, которая позволит повысить производственную мощность рудника и снизить себестоимость добываемой рудной массы [2].

Перспективный переход на добычу руд на больших глубинах влечет риск увеличения удароопасности на месторождении, что ужесточает требования к управлению состоянием массива горных пород. Наиболее эффективным способом управления состоянием массива в данных условиях является закладка выработанного пространства. Это обусловило выполнение комплекса научно-исследовательских работ, связанных с обоснованием параметров закладки выработанного пространства на Кочкарском месторождении. На базе технико-экономических расчетов установлено, что рентабельная отработка запасов обеспечивается только в случае применения недорогих местных наполнителей закладочных смесей, преимущественно, на основе отходов собственного производства. Несомненно, наиболее доступными и предпочтительными материалами для приготовления закладочной смеси являются хвосты обогащения руд, используемые повсеместно на месторождениях черных и цветных металлов. Вместе с тем, при переработке руд коренных золоторудных месторождений для извлечения золота применяется процесс цианирования, что накладывает ограничения на использование хвостов обогащения в закладке выработанного пространства.

Исследования, проводимые в области утилизации химически опасных отходов, свидетельствуют, что технологии закладки должны обеспечивать изолированное складирование отходов от гидро- и атмосферы подземных выработок [3-5]. Анализ данных мировой практики указывает на перспективность создания технологий складирования цианидсодержащих отходов обогащения с использованием процессов глубокого обезвоживания, позволяющих на начальных стадиях приготовления закладочных смесей отделить жидкую фазу, направляя ее в процесс обогащения в режиме замкнутого оборота. Кек обезвоживания подвергают обезвреживанию путем дополнительного введения химических добавок [6].

Для обоснования условий утилизации хвостов обогащения золото-содержащих руд в закладке выработанного пространства проведен комплекс исследований, включающих изучение вещественного состава отходов, совершенствование параметров технологий их обезвоживания и обезвреживания, подбор состава закладочных смесей с обеспечением требуемых технологических свойств, а также разработку новых технологий формирования закладочных массивов.

В настоящее время в хвостохранилище двух обогатительных фабрик – золотоизвлекательной и фабрики законченного цикла обогащения им. Артема поступают объединенные хвосты цианирования. Тонина

помола коллективных хвостов обогащения, поступающих на хвостохранилище, составляет 70-73 % фракции -0,044 мм. Содержание твердого в отвальных хвостах – на уровне 30-34 %.

В ходе исследования процессов сгущения хвостов цианирования была определена оптимальная марка флокулянта – Rheomax DR 1050. Данный флокулянт при прочих равных условиях формирует наиболее крупные флокулы, характеризуется получением плотного осадка и отделением воды высокой степени чистоты при минимальном времени осаждения взвешенных частиц. Исследования показали, что оптимальная плотность пульпы, подаваемой на сгущение, находится в диапазоне 9,5-10,5% твердого, а рациональный расход флокулянта составляет 15-20 г/т. В целях обеспечения требуемой транспортабельности хвостов определено, что оптимальная степень сгущения хвостов цианирования составляет 60 % твердого при растекаемости 18-20 см по прибору Суттарда.

В лабораторных условиях были проведены исследования по определению содержания цианидов в текущих хвостах, в сливах этих хвостов, в усредненном сгущенном кеке и в сливе, полученном после сгущения; изучена кинетика испарения цианидов усредненным сгущенным кеком и твердеющей смесью с вяжущим компонентом; выбраны целесообразные способы обезвреживания хвостов цианирования перед подачей в подземное выработанное пространство; разработаны технологические схемы обезвреживания сливов после сгущения методом нейтрализации с регенерацией цианида натрия, обезвреживания сгущенного кека методом хлорирования.

Исследования показали, что предпочтительным с технологической и экономической точек зрения решением проблемы по снижению содержания цианидов в песковом продукте до уровня ниже установленных экологических норм являются следующие варианты обеззараживания:

- разбавление текущих хвостов обогащения свежей водой, до необходимой для эффективного протекания процесса сгущения плотности;
- отмывка хвостов с выводом основной части цианидов со сливом;
- регенерация цианидов из сливов сгустителя.

Для обеспечения безопасных условий отработки запасов руд Кочкарского месторождения, приняты два основных состава смеси (в расчёте на 1 м³) при нормативной прочности 1 Мпа:

- 1) на основе цементно-золяного вяжущего с содержанием:
 - портландцемент М500 – 62 кг;
 - зола ТЭЦ – 247 кг;
 - хвосты обогащения – 742 кг;
 - вода – 523 л;

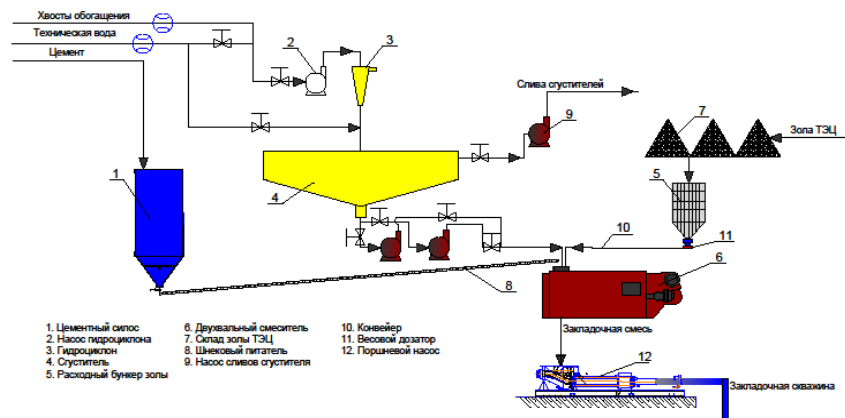
2) на основе цементного вяжущего, включающего:

- портландцемент М500 – 160 кг;
- хвосты обогащения – 755 кг;
- вода – 745 л.

Приготовление закладочной смеси для ликвидации пустот при отработке Кочкарского месторождения осуществляется по безмельничной технологии (рис.1). В соответствии с данной схемой текущие хвосты содержанием твердого 33% поступают на участок гидроциклонирования. Для эффективного разделения в гидроциклонах и снижения содержания циана в песковом продукте пульпа разбавляется водой до содержания твердого 19%. Полученная пульпа подается на гидроциклонирование, где выделяется слив, содержащий частицы крупностью 90% класса менее 44 мкм. Затем песковый продукт проходит вторую стадию отмытки от цианидов в сгустителе.

Проведенными исследованиями установлено, что для эффективного протекания процесса обезвоживания в сгустителе и для снижения содержания цианидов в хвостах, исходное питание необходимо разбавить до 10% твердого свежей водой. После процедуры отмытки хвостового продукта, он перекачивается насосами разгрузки в смеситель.

Приготовленная на закладочном комплексе, расположенном на поверхности твердеющая смесь транспортируется к отработанным камерам в шахте по трубопроводам – горизонтальному и вертикальному самотеком за счет статистического напора столба смеси в вертикальном стае. В случае недостаточного напора предусмотрено применение врезок для подачи сжатого воздуха.



- | | | |
|--------------------------|----------------------------|---------------------|
| 1. Цементный силос | 6. Двойной смеситель | 10. Конвейер |
| 2. Насос гидроциклона | 7. Слив золь ТЭЦ | 11. Бункер |
| 3. Гидроциклон | 8. Шнековый питатель | 12. Поршневой насос |
| 4. Сгуститель | 9. Насос сливов сгустителя | |
| 5. Расходный бункер золь | | |

Рис. 1. Схема цепи аппаратов приготовления твердеющей закладочной смеси

Вертикальный став трубопровода для подачи закладки с поверхности в шахту размещается в специально пробуренных скважинах, обсаженных стальными трубами. Для Кочкарского подземного рудника диаметр горизонтального трубопровода определен равным 159 мм, толщина стенки – 12 мм. Принятый диаметр обеспечит часовую производительность закладочного комплекса 45 м³/час. Параллельно закладочному трубопроводу прокладывается трубопровод сжатого воздуха наружным диаметром 108 мм, который используется для ликвидации возможных «пробок», а также для пневмотранспортирования закладочной смеси, в случае необходимости продувки трубопровода после прекращения подачи смеси.

Для обеспечения закладки выработанного пространства подземных камер месторождение делится на этажи, этажи на блоки, блоки на камеры. Отработка ведется снизу вверх. В первом случае, если используется монолитная закладка, сначала обрабатываются камеры первой очереди, во время их отработки, роль междукамерных целиков играют массивы камер второй очереди. Когда закладка набирает нормативную прочность в течение 90-180 суток, начинается отработка камер второй и последующих очередей. При их отработке роль междукамерных целиков играют заложенные камеры.

При отработке камер первой очереди управление горным давлением осуществляется за счет естественного поддержания очистного пространства, а при отработке остальных – искусственными целиками, сформированными из закладочных материалов. Для равномерной передачи веса налегающих пород на искусственный массив рекомендуется трехстадийный порядок выемки запасов этажей (рис. 2).

Для изоляции выработанного пространства используются глухие бетонные перемычки, расположенные в подэтажных штреках и откаточных выработках.

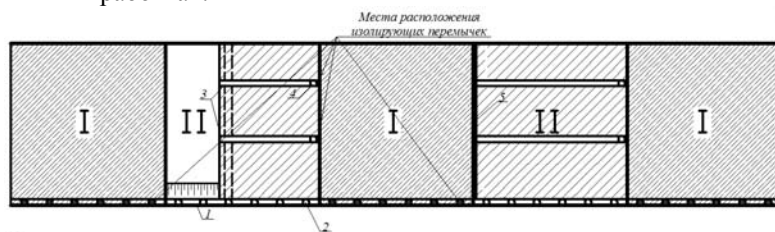


Рис. 2. Схема расположения и порядок отработки камер I, II, очереди камерной системы разработки с твердеющей закладкой:

1 – траншейный штрек; 2 – заезд; 3 – подэтажный буровой штрек; 4 – сбойка с полевым подэтажным штреком; 5 – отрезной восстающий

Решение вопроса управления состоянием массива на глубоких горизонтах подземных рудников за счет утилизации обезвреженных хвостов обогащения в изолированных отработанных камерах, не имеющих связи с гидро- и атмосферой подземных выработок, обеспечит снижение риска удароопасности, возможность безопасной отработки вмещающих золотосодержащих пород с применением скважинной отбойки, а также снижение объемов складирования хвостов обогащения на поверхности.

Литература

1. Бергер Р.В., Федосеев В.В., Сараскин А.В. Состояние и перспективы развития минерально-срєевой базы АО «ЮГК» на Южном Урале // Горный журнал, 2017. – №9. – С.6-11.
2. Струков К.И. Совершенствование технологии подземной добычи на Кочкарском месторождении АО «Южуралзолото» // Горный журнал, 2017. – №9. – С.21-25.
3. Радченко Д.Н., Лавенков В.С., Гавриленко В.В., Емельяненко Е.А. Совместная утилизация отходов обогащения при комплексном освоении месторождений многокомпонентных руд // Горный журнал. 2016. № 12. С. 87-93.
4. Рыльникова М.В., Галченко Ю.П., Радченко Д.Н. Методика проведения мониторинга современного состояния горнотехнических систем и окружающей среды в регионах их функционирования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № S12. С. 11-33.
5. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Создание в России научного центра по изучению экологически сбалансированного цикла комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых // Горный журнал, 2014. – № 12. – С. 4-7.
6. Lee C. Case study – a high strength paste aggregate backfill at Randgold's Loulo mine in Mali // Mine Fill 2014 Proceeding of the 11th International Symposium on Mining with Backfill, 2014. Pp. 231-242.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОТРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЫСОКИМИ ВСКРЫШНЫМИ УСТУПАМИ*

Федотенко В.С., Есина Е.Н.

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

Одним из перспективных направлений повышения эффективности открытой геотехнологии является применение высоких вскрышных уступов. Очевидные преимущества данной технологии заключаются в

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-37-00050

совершенствовании логистической схемы, уменьшении количества технологического оборудования, повышении его производительности в целом, а также снижении негативного воздействия на окружающую среду [1-3].

Основными параметрами технологических схем обработки месторождения высокими вскрышными уступами являются высота высокого вскрышного уступа и извлекаемого слоя, глубина эффективного перехода на высокие вскрышные уступы, время этого перехода, приращение глубины карьера и прирост запасов в новых контурах, увеличение периода эксплуатации месторождения открытым способом. Исследованиями доказано, что на величину этих параметров основное влияние оказывают тип добычного оборудования, мощность залежи полезных ископаемых, угол ее падения.

Установлено, что достижение равенства текущего и граничного коэффициентов вскрыши ($k_r=k_{rp}$) при полном развитии горных работ на разрезах зависит от нормальной мощности и угла падения пласта, затрат на добычу угля и качества реализуемой угольной продукции.

Разработка высокого вскрышного уступа производится в один или два слоя (подступами). При разработке высокого уступа в два слоя одновременно экскаватор, находящийся в верхнем слое, должен работать с опережением экскаватора, работающего в нижнем слое. Скорость продвижения экскаваторных забоев в верхнем и нижнем подступах вдоль фронта горных работ должна быть одинаковой. В процессе подготовки полускальных пород к экскавации взрывание высоких уступов производится сразу на полную их высоту. При одновременном перемещении экскаваторных забоев в верхнем и нижнем слоях, вдоль фронта горных работ образуется единый откос высокого уступа. Экскаваторная погрузка взорванной породной массы в автосамосвалы производится одновременно на верхней и нижней площадках уступа или только на нижней площадке-концентрационном горизонте.

На рисунках 1-3 показано возможное изменение глубины карьера при различной мощности пласта. В результате исследований установлено, что с увеличением граничного коэффициента вскрыши, можно достичь большей глубины разреза при постоянной мощности залежи полезных ископаемых. При сравнении различных вариантов обработки условного угольного месторождения, общим является то, что с увеличением нормальной (m_n) мощности пласта угля и уменьшением угла его падения (α), а также с улучшением качества угля и снижением затрат на добычу возрастает величина $k_r=k_{rp}$ и, следовательно, увеличивается глубина разреза (H), с которой целесообразно переходить на работу с высокими ($h=30$ м и $h=20$ м) вскрышными уступами.

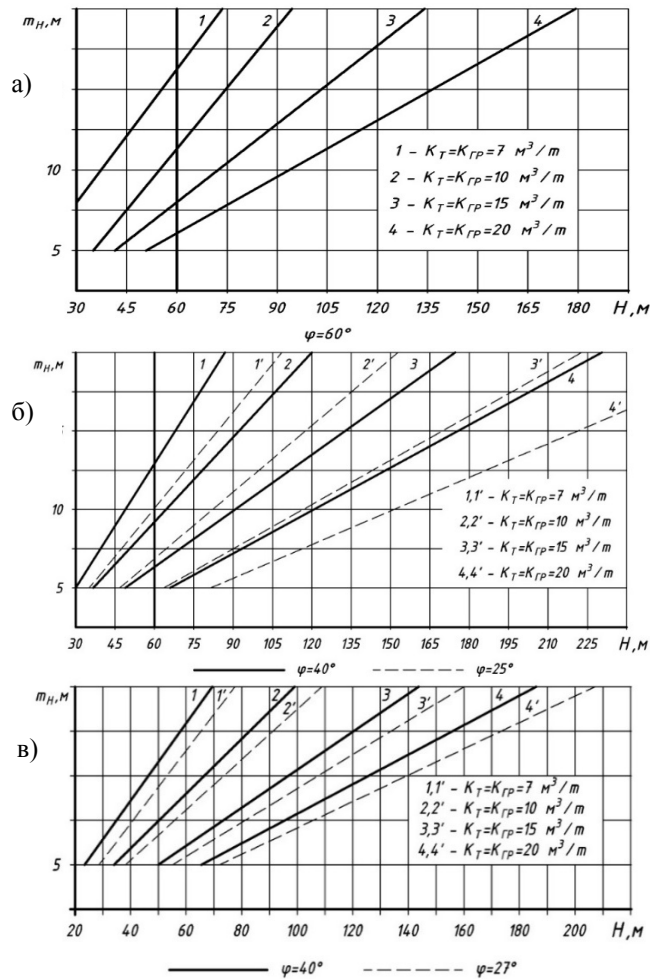


Рис. 1. Графики определения глубины разреза (H) в период достижения равенства текущего и граничного коэффициентов вскрыши:
а, б – при переходе с высоты уступов $h=15\text{ м}$ на высокие уступы $h=30\text{ м}$;
в – при переходе с высоты уступов $h=10\text{ м}$ на высокие уступы $h=20\text{ м}$

В рассматриваемом примере (рис.1в), при отработке пласта угля мощностью $m_n=20\text{ м}$, углом падения $\varphi=40^\circ$ при граничном коэффициенте вскрыши равном $k_{gp}=10,4\text{ м}^3/\text{т}$, полное развитие горных работ и достижение равенства текущего и граничного коэффициентов вскрыши ($k_T=k_{gp}$) происходит на глубине разреза $H=120\text{ м}$, с которой рекоменду-

ется осуществлять переход на работу с уступами $h=30$ м, а при обработке пласта угля мощностью $m_n=15$ м – переход на работу с высокими уступами $h=30$ м рекомендуется осуществлять уже с глубины $H=90$ м. Таким образом, чем меньше мощность залежи, тем раньше достигается полное развитие горных работ и раньше следует переходить к работе высокими уступами.

При обработке пласта с меньшей мощностью ($m_n=15$ м) и с тем же углом падения ($\alpha=40^\circ$), но с лучшим качеством угля ($k_{гр}=15$ м³/т) переход на высокие ($h=30$ м) вскрышные уступы следует осуществлять уже с глубины $H=135$ м. Из вышеизложенного следует, что, чем качественнее добываемое полезное ископаемое, тем позднее наступает момент полного развития горных работ и тем позднее надо начинать переход на высокие вскрышные уступы.

Для различных значений граничного коэффициента вскрыши и угла падения пласта геометрически можно определить, на какой глубине значение текущего коэффициента вскрыши сравняется собственно с граничным. Это позволяет установить область перспективного применения высоких уступов, ограничив ее по глубине разреза.

Таким образом, для определения максимума приращения глубины разреза, фиксировалась глубина, когда текущий коэффициент вскрыши достигал равенства с граничным при различной мощности пласта и углов его падения. От своевременности перехода к разработке вскрышных пород высокими уступами будет зависеть прирост глубины разреза, так как эффект снижения текущего коэффициента вскрыши от увеличения угла наклона рабочего борта становится более ярко выраженным с ростом глубины карьера, с которой такой переход осуществляется. Наибольшего срока эксплуатации можно достичь, если начинать переход на работу высокими уступами в момент полного развития горных работ.

Литература

1. Трубецкой К. Н., Краснянский Г. Л., Хронин В.В., Коваленко В.С. Проектирование карьеров: учебник. — 3-е изд., перераб. — М.: Высшая школа, 2009. — 694 с.
2. Ковалев В. А., Федотенко В. С. Технологические аспекты перехода разрезов Кузбасса на ведение вскрышных работ высокими уступами // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015. – № 5. – С. 5-14.
3. Рыльникова М.В., Федотенко В.С., Есина Е.Н. Обоснование параметров эффективного перехода на высокие вскрышные уступы для повышения полноты освоения месторождения открытым способом и экологической безопасности горных работ / Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017: Сборник статей по материалам научно-практической конференции с международным участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017» / Севастополь: СевГУ, 2017. – С. 1302-1305.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФАКТА И ЧАСТОТЫ ПРИСУТСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА В РАБОЧИХ ЗОНАХ*

Радченко Д.Н.
ИПКОН РАН

Клебанов Д.А., Рыльников А.Г.
АО «ВИСТ Групп»

Известно, что в основе глобальных индустриальных революций лежат механизация, электрификация и информационные технологии. Развитие Интернета и спутниковой навигации определило новую индустриальную эпоху – четвертую промышленную революцию – Индустрию 4.0 [1]. Глобальные тренды вхождения крупных производственных предприятий в Индустрию 4.0 определяют перспективы перехода дают однозначную трактовку перспектив развития горной промышленности – переход на интеллектуальные системы управления горнотранспортной техникой, с изменением роли человеческого фактора в проектировании и эксплуатации горнотехнических систем и мониторинге состояния и показателей их реализации [2].

Внедрение Индустрии 4.0 – это новый подход к производству и потреблению, строящийся на сборе больших объемов данных, их обработке и использовании для совершения согласованных действий и операций автономно выполняемых без участия от человека [3]. При этом машинам и механизмам придаются функции оптимизации и настройки собственной работы в автономном, автоматическом режиме. В перспективе горные машины с элементами искусственного интеллекта будут самостоятельно осуществлять мониторинг состояния и показателей собственной работы, корректировать параметры, отсылая данные на завод-изготовитель с целью устранения недостатков проектирования с определением остаточного ресурса отдельных элементов машины, запасных частей, расходных материалов в зависимости от условий работы с конкретными горнотехническими показателями и природно-климатическими условиями. Например, для условий открытых горных работ компанией Komatsu уже создана система дистанционного прогнозирования работоспособности и мониторинга состояния и показателей работы дизельного двигателя [4]. Система предусматривает отправку ежедневных статистических данных об изменении показателей работы двигателя экскаватора к удаленному оператору: давления, расхода топ-

* Исследования выполняются при поддержке РФФ (проект №14-37-00050)

лива, температуры и числа оборотов двигателя. Такая система [4] включает определенные алгоритмы обработки данных, в частности, для оценки текущего состояния двигателя, определения причин аномального поведения и, главное, прогнозирования остаточного ресурса дизельного двигателя. В обозримом будущем переход на роботизированные геотехнологии с применением горных машин и механизмов с элементами искусственного интеллекта и промышленных роботов [5–8], изменит требования к проектированию горнотехнических систем и приведет к масштабным переменам в части воздействия горных работ на среду обитания человека.

В Лаборатории экологически сбалансированного освоения недр ИПКОН РАН [9] решение проблемы улучшения среды обитания человека в зонах влияния горнотехнических систем строится на базе обоснования параметров и условий реализации экологически сбалансированного цикла комплексного освоения месторождений с учетом внедрения инновационных технологий и оборудования с интеллектуальным управлением [10]. Изыскание новых геотехнологических решений направлено на создание ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий [11]. Эти технологии предусматривают исключение или минимизацию участия человека в опасных зонах ведения горных работ и тяжелыми условиями труда: подготовительно-нарезных и очистных забоях, зонах интенсивного деформирования и разрушения массива, в том числе, с динамическими проявлениями горного давления, в зонах с повышенным радиоактивным фоном, с неблагоприятными условиями окружающей среды – высокой или низкой температурой воздуха и массива горных пород, с повышенной загазованностью атмосферы, с низким содержанием кислорода. Сокращение степени влияния человеческого фактора на показатели реализации технологических процессов и безопасность горных работ существенно (на порядок) снизит травматизм на горных предприятиях. Кроме этого качественно изменятся конструктивные параметры горнотехнических систем в связи с возможностью снижения коэффициента запаса прочности горных конструкций, сечений горных выработок, снижения простоев оборудования, организационно-технических решений. В связи с этим представляет значительный интерес установление фундаментальных закономерностей взаимодействия горнотехнических систем, в которых применяется оборудование с элементами искусственного интеллекта с окружающей средой [9, 12].

Для обоснования экологически сбалансированного цикла комплексного освоения месторождений на основе применения горнотехнических систем с интеллектуальным управлением предложен подход, направленный на создание в горнотехнических системах особых зон,

характеризующихся специфическими, заданными и управляемыми вышеперечисленными параметрами среды в зависимости от факта и частоты присутствия человека в конкретных зонах ведения работ.

В горнотехнических системах, где предусматривается функционирование оборудования с элементами искусственного интеллекта, все зоны делятся на три типа, в каждом из которых поддерживается особое состояние среды обитания (рис. 1):

I. условно безлюдные зоны, или, в соответствии с устоявшейся терминологией за рубежом, – производственные зоны с нулевым вводом (Zero Entry Production Areas (ZEPA) [13];

II. зоны пребывания человека в горнотехнической системе в целях ведения определенных основных и вспомогательных работ и обслуживания машин и механизмов;

III. зоны постоянного присутствия людей.

Такое зонирование технологического пространства горных работ требует первоочередного решения вопроса совместного присутствия людей [14], механизированного и интеллектуального оборудования с адаптацией к конкретным горнотехническим условиям и установлением соответствующих требований промышленной и экологической безопасности.

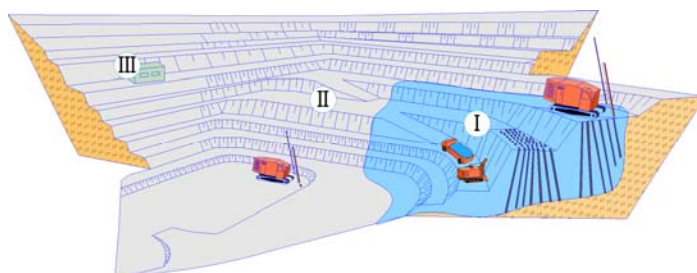


Рис. 1. Принцип зонирования горнотехнической системы при применении промышленных горно-транспортных роботов

Важно отличать условия работы оборудования с автоматизированным управлением посредством специализированных систем навигации или позиционирования, техники, управляемой дистанционно и техники с интеллектуальным управлением в автономном режиме. Для техники, управляемой дистанционно характерны следующие функции:

- управление техникой в режиме дистанционного управления;
- отображение основных параметров на рабочем месте оператора;
- дополненная реальность для оператора дистанционного управления. На экране оператора поверх изображения с камер видеонаблюдения отображается различная информация для помощи в управлении;

- контроль местоположения на карте с отображением вспомогательной информации: текущего состояния каждой единицы (скорости, координат, уровня топлива и т.д.);
- контроль состояния оборудования и фиксации нарушений режимов эксплуатации;
- информирование оператора о возникновении нештатной ситуации и невозможности дальнейшего движения в режиме дистанционного управления;
- выдача сменных заданий и формирование оперативной отчетности и отчетности за смену и другие периоды времени.

Одновременно один оператор из пункта дистанционного управления может управлять дистанционно одной единицей техники, либо обслуживать несколько машин.

Для интеллектуального оборудования характерен автономный режим без непосредственного участия человека в выполнении операционных процессов. Это оборудование работает в программном режиме по заданному алгоритму и отличается свойством адаптации к изменяющимся параметрам среды.

Например, для осуществления бурения взрывных скважин в автономном режиме, предусмотрен отдельный программный модуль, который осуществляет автономную работу станка и контроль параметров бурения. Станок без участия оператора наводится на скважины и осуществляет обустройство массива. Модуль выполняет такие функции, как:

- автоматическое фиксирование выполнения задания;
- автоматизированный контроль положения бурового станка;
- сбор производственной и технической информации о состоянии оборудования;
- сбор и аккумуляция геологических данных, получаемых в процессе бурения;
- автоматический сбор информации о фактически пробуренных скважинах (маркшейдеру нет необходимости проводить замеры фактически пробуренных скважин).

Автономный буровой станок выполняет следующие операции без участия машиниста:

- наведение на проектные скважины;
- выравнивание платформы;
- бурение, в том числе наращивание и разбор бурового става;
- контроль местоположения бурового станка на карте с отображением вспомогательной информации: текущего состояния каждой единицы (скорости, координат, уровня топлива и т.д.).

Передача точной информации о месте бурения на бортовой компьютер бурового станка, совместно с использованием системы высокоточной навигации также позволяет устранить проблему проведения некачественных буровзрывных работ – большого количества негабаритов.

Особенностью применения оборудования с элементами искусственного интеллекта является его взаимосвязь с общерудничной системой мониторинга геомеханического состояния массива горных пород. В случае риска развития процессов деформирования и разрушения горных пород оборудование в автономном режиме выводится из опасных зон.

На подземных горных работах также производится распределение шахтного поля по степени участия присутствия человека в зоне ведения горных работ. В зонах с нулевым вводом допускается создание микроклимата, необходимого только для работы машин и механизмов, следовательно, проектирование параметров горных выработок [15], а также системы вентиляции для таких условий полностью изменяются. Участок недр с ЗЕРА изолируется от остальной атмосферы рудника. Открываются новые возможности точечного забора и очистки шахтного воздуха по системе скважин и трубопроводов, без объединения загрязненных струй воздуха в единую шахтную сеть. Вход человека в зону ЗЕРА, например, для ликвидации последствий возможной аварии, или вывода оборудования, разрешается только после применения специальных мероприятий по вентиляции, либо без них, но с использованием особых средств индивидуальной защиты. Приобретают новое видение требования промышленной безопасности, связанные с проветриванием рудника после ведения взрывных работ, проветривания тупиковых забоев и многие другие. Вместе с тем, очевидно, что возникает комплекс принципиально новых требований промышленной и экологической безопасности. Снятие санитарно-гигиенических требований по пребыванию человека в этих зонах, равно как ограничений и требований промышленной безопасности, определяет новые требования к формированию горнотехнических систем и обоснованию параметров среды обитания в горнотехнической системе и в ареале ее влияния.

Литература

1. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Industrie 4.0 Working Group, 2013.
2. Johansson B. The new attractive mine': 36 research areas for attractive workplaces in future deep metal mining // *Int. J. Min. Miner. Eng.* 2014. Т. 5, № 4. С. 350–361.
3. Abrahamsson L., Johansson B., Johansson J. Future of metal mining: Sixteen predictions // *Int. J. Min. Miner. Eng.* 2009. Т. 1, № 3. С. 304.
4. Jay L., Hung-An K., Shanhu Y. Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment // 6th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems. 2014. С. 3–8.

5. ISO 8373:2012 Robots and robotic devices — Vocabulary. Russia, 2015. С. 22.
6. Trubetskoy K.N. Robotic systems for open pit mineral mining // Gorn. Zhurnal. 2016. № 5. С. 21–27.
7. Brown C. Autonomous Vehicle Technology in Mining // Auton. Min. 2012. № 1. С. 30–32.
8. Green J.J. Mining robotic sensors // Int. J. Eng. Adv. Technol. 2012. Т. 1, № 4. С. 8–15.
9. Rylnikova M.V., Radchenko D.N. Creating research center for the environmentally sound and comprehensive utilization of hard minerals in Russia // Gorn. Zhurnal. 2014. № 12. С. 4–7.
10. Kaplunov D.R. Theory basis of designing of subsoil mastering: Formation and development // Gorn. Zhurnal. 2014. № 7. С. 49–51.
11. Trubetskoy K.N. и др. New approaches to designing resource-reproducing technologies for comprehensive extraction of ores // J. Min. Sci. 2011. Т. 47, № 3. С. 317–323.
12. Trubetskoy K.N., Galchenko Y.P. Methodology for estimating promising development paradigm for mineral mining and processing industry // J. Min. Sci. 2015. Т. 51, № 2. С. 407–415.
13. Nikolakopoulos G. A Vision of Zero Entry Production Areas in Mines // IFAC. 2015. С. 66–68.
14. Golovina O., Teizer J., Nipesh P. Heat map generation for predictive safety planning: Preventing struck-by and near miss interactions between workers-on-foot and construction equipment // Autom. Constr. 2016. С. 1–17.
15. Kaplunov D.R., Radchenko D.N. Mined-out areas: Approaches to multipurpose use in complete integrated cycle of hard mineral mining // Gorn. Zhurnal. 2016. № 5. С. 28–33.

О СОЗДАНИИ КОНВЕРГЕНТНЫХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П.

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

Еременко В.А.

Горный институт НИТУ МИСИС

За последние 100 лет при увеличении народонаселения Земли в 4,5 раза годовая добыча вещества из литосферы на каждого жителя планеты возросла более чем в 22 раза, а общая добыча достигла величины соизмеримой с биомассой всех материковых экосистем. Более половины, а в некоторых отраслях до 90%, извлеченного вещества переходит в твердые отходы и складироваются на земной поверхности, со всеми вытекаю-

щими отсюда катастрофическими экологическими последствиями [1]. Очевидно, что такой характер получения и потребления минеральных ресурсов на основе экстенсивного «проживания» накопленных в ходе эволюции планеты запасов вещества и энергии всегда будет связан с целым рядом значительных проблем и неразрешимых противоречий. При такой форме конфликта между природой и человеком, требования по сохранению природной среды в процессе освоения недр должны предъявляться не к отдельным технологическим процессам, а должны быть заложены в основу общей парадигмы построения геотехнологий таким образом, чтобы экологическая безопасность стала бы неотъемлемым свойством этой геотехнологии. При этом, основополагающие положения этой парадигмы, не должны вступать в антагонистские противоречия с естественными законами функционирования биологических систем, являющихся объектами экологической защиты.

Идея создания подобных технологий в самом общем виде была определена еще академиком В.И. Вернадским как «...ноосферная» задача встраивания производственных процессов в естественные циклы биогеохимического кругооборота веществ... [2]. Из многочисленных исследований и наблюдений мы сегодня знаем, что никакие безотходные технологии и иные природноохранительные действия, при всей их абсолютной и жизненной необходимости, сами по себе не способны решить проблемы взаимоотношений человека и природы. Совместное их существование возможно только при реализации принципа равных возможностей для развития техно и биосферы, который определен академиком РАН Н. Н. Моисеевым как «...стратегия коэволюции...» антагонистических по своему внутреннему содержанию систем [3]. В ее рамках невозможно полностью преодолеть обозначенное выше глобальное противоречие, но возможно придать ему неразрушительную для живой природы форму путем создания принципиально новых технологий, которые не наносят необратимого ущерба окружающей среде и позволяют в перспективе восстановить нарушенный человеком баланс между производством и потреблением минеральных ресурсов с учётом ограниченный экологического императива.

При нынешней несбалансированности производства и потребления с естественными циклами биосферы развитие промышленной экологии по остаточному принципу борьбы с последствиями без устранения причин поможет лишь оттянуть момент, когда кардинальная перестройка основополагающих принципов функционирования техносферы в соответствии с естественными циклами биосферы станет жизненно важной необходимостью. Развивая эти идеи применительно к проблемам освоения недр нашей планеты и опираясь на гипотезу о том, что уровень безопасности техногенных геосистем по отношению к системам биоло-

гическим пропорционален степени единообразия основополагающих принципов функционирования обеих систем [4], можно легко перейти к понятию «природоподобные технологии освоения земных недр» как технологии добычи минеральных ресурсов, функциональная структура которых повторяет функциональную структуру биологических систем с заменой содержательных элементов на геотехнологические смысловые аналоги [5].

Обоснование новых, одновременно реализуемых, принципов построения альтернативной конвергентной геотехнологии подземной разработки месторождений твердых полезных ископаемых, обеспечивающей, например, геомеханически обоснованную минимизацию потерь полезного ископаемого без снижения степени геодинамической безопасности, с учетом особенностей геологического строения месторождений твердых полезных ископаемых, позволит разработать принципиально новые горные конструкции, обладающие целым рядом достоинств, важнейшими из которых являются высокие характеристики устойчивости и жесткости геоматериалов слагающих их.

Известно, что наиболее простая форма нахождения альтернативы – это принятие решения, противоположного применяемому. Именно на этой основе сформулированы новые, одновременно реализуемые, принципы построения альтернативной конвергентной геотехнологии, обеспечивающей геомеханически обоснованную минимизацию потерь полезного ископаемого в опорных целиках.

Фундаментальное значение при этом, например, имеет уже озвученная на стадии предварительных исследований в области разработки жильных месторождений идея поворота на 90° направления движения фронта очистной выемки, реализуемая в виде перехода от отбойки полезного ископаемого в забоях,двигающихся по горизонтали к его восходящей отбойке в вариантах выбуривания полезного ископаемого или применения VCR технологии (технологии отбойки руды концами скважин). Это кардинально изменяет структуру, характер развития и геометрические параметры техногенно измененных недр, как в зоне полного разрушения литосферы, так и в геофизическом экотоне [6].

Такая геометрия техногенно изменяемых недр позволяет обратиться за поиском идей к биологическим системам [4]. В природных биологических системах широко распространены структуры, обеспечивающие высокую прочность и устойчивость при минимальном количестве и массе материала. Такие структуры, состоящие из внешней оболочки, с внутренним объемом, заполненным огромным количеством тонких перегородок, положение которых в пространстве определяется направлением внешних нагрузок. Так устроены стебли злаковых культур, а также кости млекопитающих, которые воспринимают вертикальные на-

грузки при движении. В современной бионике, эти конструктивные решения природы были воспроизведены в виде, так называемых, сотовых конструкций, которые достаточно широко используются в авиационной, судостроительной, а также в ряде других отраслей промышленности.

Применительно к решаемой проблеме, когда изменение направления движения фронта очистной выемки кардинально изменяет характер развития геомеханических процессов в подработанном и надработанном массивах необходимо найти и соответствующую физическую модель этой горно-технической системы. Учитывая очевидную структурную аналогию этой системы применяемым сотовым конструкциям, в качестве такой модели целесообразно принять физическую модель трёхслойной несущей конструкции с сотовым наполнителем. Главной отличительной особенностью подобных конструкций является то обстоятельство, что их устойчивость к сжимающим нагрузкам достигается не за счет увеличения количества вещества в несущей конструкции, как это имеет место при использовании камерно-целиковых систем разработки, а за счет высокой относительной жесткости наполнителя, обеспеченной геометрией сотовых ячеек, которая, в свою очередь описывается такими параметрами, как размер грани (или диаметр описанной окружности) и толщина стенки [7].

Эффективность создаваемой геотехнологии определяется также возможностями совмещения основных операций очистного цикла во времени за счет разделения их выполнения в пространстве, при этом качественные показатели очистной выемки при этом будут обеспечиваться путём разделения во времени выпуска рудной и породной частей консолидированного в пространстве объема рудной массы.

Данное направление коренного изменения принципов построения геотехнологии полностью совпадает с прогнозами о том, что развитие перспективных энерго- и ресурсосберегающих технологий будет идти в направлении совмещения технологических процессов на основе оборудования с новыми способами разрушения горных пород.

Область применения результатов данной работы охватывает основные геологические типы месторождений, например, ископаемых минеральных солей, а также крутопадающие рудные и угольные месторождения большой мощности, включая трубкообразные рудные тела месторождений алмазов и др.

Главная задача проводимых в настоящее время исследований является создание новых научных основ эффективных, безопасных и экологически сбалансированных конвергентных горных технологий и способов освоения георесурсов недр Земли. Научные направления охватывают сферы современного горного дела, такие как исследование закономерностей функционирования физико-технических, физико-химичес-

ких, комбинированных геотехнологий и технологических процессов горного производства и технологий подвоя и формирования на их основе принципов создания и методов применения конвергентных горных технологий в условиях разработки месторождений твердых полезных ископаемых; создание методических основ современной прикладной геомеханики; разработка и обоснование безвзрывных способов ведения очистных и проходческих работ в условиях действия высокого горного давления на больших глубинах с минимизацией техногенного воздействия на массив горных пород и пр. Цель исследований конвергентных геотехнологий – установление взаимосвязи между условиями залегания полезных ископаемых в недрах и конвергентными способами их извлечения, сохранения недр для последующего использования, а также установление закономерностей изменения параметров конвергентных горных технологий и технологических процессов в динамике развития горных работ.

Идеи создания новых, основанных на принципах построения альтернативных конвергентных геотехнологий, обеспечивающих геомеханически обоснованную минимизацию потерь полезного ископаемого без снижения степени геодинамической безопасности, с учетом особенностей геологического строения месторождений твердых полезных ископаемых, а также изменение технологической парадигмы комплексного освоения недр за счет применения природоподобных горных технологий является одним из приоритетных направлений ИПКОН РАН и составили основу прикладных направлений исследований создаваемого в 2017 году в Горном институте НИТУ МИСиС научно-исследовательского центра «Прикладной геомеханики и конвергентных горных технологий».

Литература

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., "Геоэкология освоения недр и экогеотехнологии разработки месторождений". М: «Научтехлитиздат», 2015, 360 с.
2. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. М.: наука, 1969. – 262 с.
3. Моисеев Н.Н. Человек и ноосфера. М.: Молодая гвардия, 1990. – 351 с.
4. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Бурцев Л.И. Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. М. Научтехлитиздат., 2003, 261 с.
5. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Природоподобные горные технологии – перспектива разрешения глобальных противоречий при освоении минеральных ресурсов литосферы // Вестник РАН. т. 87. — 2017. №7 – С. 655-662.
6. Галченко Ю.П. Техногенно измененные недра – материальная основа и экологическая проблема современной цивилизации // Экологические системы и приборы. — 2008. — №4 – С. 14-21.
7. Галченко Ю.П., Айнбиндер И.И., Сабянин Г.В., Родионов Ю.И., Пацкевич П.Г. О новой концепции развития подземной геотехнологии // Горн. журнал. — 2007. — № 1. — С. 7-10.

РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ИХ УСТОЙЧИВОГО ДОЛГОВРЕМЕННОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Каплунов Д.Р., Радченко Д.Н.

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

На сегодняшний день горная промышленность не может функционировать в отрыве от принципов устойчивого развития [1–5], под которым следует понимать не только классическое определение, подразумевающее развитие, которое позволяет обеспечить существование общества без угрозы будущим поколениям удовлетворять свои потребности. В области горных наук, изучающих закономерности техногенного преобразования недр Земли, которые являются условием существования общества, данное определение трансформируется. Под устойчивым развитием должен пониматься комплекс стратегических инициатив, обеспечивающих эксплуатацию каждого осваиваемого участка недр неопределенно долго, путем первоначального проектирования этапов перехода от одного вида геотехнологий к другому в ходе освоения месторождений, а также на период после завершения добычи полезных ископаемых.

В России этот вопрос включен в повестку дня – цели устойчивого развития пропагандируются на государственном уровне и развиваются в крупнейших отечественных горных компаниях, имеющих коммерческий интерес по всему миру. В направлении устойчивого развития горных предприятий проводятся соответствующие исследования [6–9].

В России, где на каждого жителя приходится по 12 га территории, глобальное значение устойчивого развития осознается еще не в полной мере. Вместе с тем, в странах с высокой плотностью населения – Европейского Союза, Азии участок недр, включающий запасы полезного ископаемого, рассматривается не просто как сырьевой, но как важный компонент среды обитания человека, который должен постоянно использоваться в различных функциональных назначениях. Таким образом, доминирующая в настоящее время экономическая составляющая недропользования, в части добычи полезных ископаемых, уже на начальной стадии проектирования должна рассматриваться только во взаимосвязи с экологической и социальной составляющей устойчивого развития горного производства.

Экологическая составляющая устойчивого развития, представляется в:
– сохранении физической структуры участка недр и земной поверхности для поддержания своим строением, веществом и физическими полями устойчивости биосферных процессов [10];

- реализации возможностей управления миллиардами тонн промышленных и бытовых отходов, полная утилизация которых возможна только в выработанных пространствах недр [11];
- создании микроклиматических зон и управлении средой обитания в осваиваемом подземном пространстве в зависимости от его функционального назначения.

Социальная составляющая устойчивого развития горнотехнических систем включает:

- обеспечение общества необходимыми сырьевыми ресурсами;
- интеграцию населения в зонах урбанизации;
- обеспечение благоприятных условий труда при постоянном снижении доли ручного труда и влияния человеческого фактора при освоении недр;
- создание пространства для обеспечения потребностей общества в несырьевых ресурсах – транспортных коммуникаций, размещении производств, глубинной урбанизации и пр.

Учет экологических и социальных аспектов устойчивого развития приводит к тому, что в странах с высокой плотностью населения вводится новое, до настоящего времени «немыслимое» понятие – 3D-стоимость земли [12], т.е. не только стоимость земельного отвода с учетом ценности земель и запасов полезного ископаемого, но и всех полезных свойств данного участка с перспективой неопределенно долгой его эксплуатации. Учитывая, что по прогнозам ООН население планеты увеличится к середине столетия до 10 млрд. [13], этот факт – все возрастающей роли недр для устойчивого развития общества не может игнорироваться.

Таким образом, для всех субъектов недропользования добыча полезных ископаемых переходит на качественно иной уровень, где различные аспекты добычи руд интегрируются в новый технологический уклад, при котором горное предприятие представляет собой инструмент для развития общества на принципах устойчивого развития. Технологический уклад горного производства должен представлять собой целостное и устойчивое образование, в рамках которого осуществляется полный цикл, начинающийся с добычи и получения первичных ресурсов и заканчивающийся выпуском набора конечных продуктов и услуг, соответствующих типу и требованиям общественного потребления [14,15].

В свете концепции устойчивого развития ключевым фактором горного производства на современном этапе, равно как главным технологическим нововведением, является интеграция составляющих недропользования в систему «человек – машины с элементами искусственного интеллекта – техногенно-изменяемые недра». Такая, по-новому понимаемая горнотехническая система должна функционировать в ре-

зультате проектирования совокупности сопряжённых производств, имеющих единый технический уровень и развивающихся синхронно в целях быстрой адаптации к изменяющимся условиям.

Реализация этих принципов в проектных решениях и на практике становится возможной при переходе на новый технологический уклад, базирующийся на создании «умных» геотехнологий – трансформирующихся в зависимости от характера использования и по мере трансформации недр. Применительно к подземной разработке месторождений цветных, редких и благородных металлов на период добычи полезных ископаемых такими условиями являются:

а) комбинирование физико-технических и физико-химических геотехнологий для наиболее эффективной разработки месторождений. Типовые проектные решения для различных условий добычи и переработки руд разработаны и систематизированы в фундаментальной монографии [16];

б) использование перемещаемого (мобильного) внутрирудничного оборудования, обеспечивающего управление объемами и качеством минерально-сырьевых потоков с выдачей на поверхность только кондиционных руд, обеспечивая принцип «не выдавать ничего лишнего» – это внутрирудничные сепараторы, обеспечивающие возможность сокращения выдачи на поверхность породной рудной массы с низким содержанием ценного компонента и характеризующейся повышенным разубоживанием;

в) применение мобильных закладочных комплексов, предназначенных как для утилизации пород от проходки горных выработок и отходов внутрирудничной сепарации, так и для оперативного возведения искусственных конструкций различного назначения при создании условий многофункционального использования выработанных пространств;

г) эксплуатация оборудования с элементами искусственного интеллекта, способного работать без участия человека в особо опасных зонах подземного рудника. При этом человеческий фактор производства трансформируется в сферу обслуживания такого оборудования (дистанционное управление технологическими процессами и ремонтно-восстановительные работы);

д) создание микроклиматических зон в подземных рудниках в зависимости от факта и частоты присутствия человека с возможностью локальной подачи, отведения и управления параметрами воздушной среды;

е) создание изолированных камер для реализации физико-химических процессов извлечения ценных компонентов из некондиционных руд и техногенного сырья, вплоть до применения агрессивных и ядовитых сред для извлечения благородных металлов, исключая контакт атмосферы рудника и пребывания людей в таких зонах;

ж) разработка новых принципов организации труда в подземном руднике для обеспечения безопасности производства – установление правил и критериев работы в условиях применения мобильного роботизированного оборудования и целенаправленного изменения физических свойств участка недр в целях адаптации к изменяющимся условиям.

Анализ этих направлений, совокупность которых характеризует новый технологический уклад горного производства при подземной разработке месторождений полезных ископаемых, позволяет заключить, что цели устойчивого развития – экономические, экологические, социальные, могут быть достигнуты только за счет реального изменения набора геотехнологий и их синхронного функционирования.

Такой подход требует нового взгляда на сугубо горные вопросы – например, целесообразность применения высокопроизводительных и экономически бесспорно выгодных систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород. На первый взгляд, такие системы не соответствуют принципам устойчивого развития, так как не обеспечивают сохранения физической структуры недр. В то же время, известны исследования по созданию в недрах искусственных сооружений, «каркасов», в пределах которых возможно применение систем с поэтажным и этажным само- и принудительным обрушением [17,18]. С другой стороны, в условиях устойчивого развития по-новому раскрываются перспективы применения систем с закладкой выработанного пространства, главным образом, твердеющей и комбинированной – технологии закладки выработанного пространства обретают новый смысл и статус, по сути, строительных геотехнологий, призванных обеспечить экологическую и социальную составляющую устойчивого развития на базе заблаговременного создания подземных сооружений и несущих конструкций, используемых в различных назначениях после отработки запасов полезного ископаемого данного участка недр.

Целесообразно выделить два этапа, учет которых еще на pre-feasibility стадии проектирования и последующих позволит выявить этапы перехода с одного вида геотехнологий к другому и способы освоения участка недр в целях, не связанных с добычей полезного ископаемого:

- этап отработки балансовых запасов и, по возможности, некондиционных руд за счет комбинации физико-технических и физико-химических геотехнологий, методов внутрирудничной сепарации и закладки выработанного пространства. Особенности проектирования состоят в обосновании последовательности вовлечения запасов кондиционных и некондиционных руд, следовательно, графика ввода производственных мощностей, в том числе, перерабатывающих. При этом требуют решения вопросы геомеханического обеспечения порядка отработки запасов в свете перспек-

тив сочетания геотехнологий и применения внутрирудничного мобильного оборудования – обоснование фронта развития горных работ, оценка устойчивости искусственных конструкций различного назначения и так далее;

- этап, включающий технологические операции, которые обеспечивают поэтапный ввод камер, выработок, коммуникационных сетей для использования формируемого пространства в целях, не связанных с добычей полезного ископаемого (склады, хранилища, лаборатории, энергетические установки, подземные паркинги – в зависимости от масштабов наземной урбанизации и общественных потребностей) [19,20].

В настоящее время применительно к каждому рассматриваемому участку горного массива (блоку, камере, выработке, целику) еще на стадии проектирования возможен дифференцированный подход в части этапов его наиболее рационального освоения и управления состоянием – как в целях добычи полезного ископаемого, так и на период после отработки балансовых запасов. Это становится возможным в современных условиях обработки мета-данных, многомасштабного моделирования, установления обратных связей между характеристиками техногенно-изменяемых недр и достижениями геотехнологий. Полный цикл комплексного освоения должен проектироваться не столько для добычи полезных ископаемых, сколько в целях эксплуатации каждого осваиваемого участка недр неопределенно долго, путем первоначального проектирования этапов перехода от одного вида геотехнологий к другому в ходе освоения месторождений, а также на период после завершения добычи полезных ископаемых. Такой подход является содержанием устойчивого функционирования подземных рудников.

Литература

1. Humphreys D. Sustainable development: Can the mining industry afford it? // *Resour. Policy*. 2001. Т. 27, № 1. С. 1–7.
2. Pimentel B.S., Gonzalez E.S.S., Barbosa G.N.O.O. Decision-support models for sustainable mining networks: fundamentals and challenges // *J. Clean. Prod. Elsevier Ltd*, 2015. Т. 112. С. 2145–2157.
3. Espinoza R.D. Towards sustainable mining (Part I): Valuing investment opportunities in the mining sector // *Resour. Policy*. 2017. Т. 52, № June 2017. С. 7–18.
4. Reyes-Bozo L. и др. Greening Chilean copper mining operations through industrial ecology strategies // *J. Clean. Prod. Elsevier Ltd*, 2014. Т. 84, № 1. С. 1–9.
5. Erzurumlu S.S., Erzurumlu Y.O. Sustainable mining development with community using design thinking and multi-criteria decision analysis // *Resour. Policy*. 2014. С.
6. Мельников Н.Н. Аспекты устойчивости горнопромышленного комплекса страны // Юбилейная сессия отделения геологии, геофизики, геохи-

мии и горных наук ран «Развитие новых научных направлений и технологий освоения недр земли». Люберцы: ФГУП Национальный научный центр горного производства – Институт горного дела им. А.А. Скочинского, 1999. С. 24–26.

7. Трубецкой К.Н., Бурцев Л.И., Галченко Ю.П. Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. М.: ООО Изд-во «Научтехлитиздат», 2003. 262 с.

8. Чантурия В.А. Перспективы устойчивого развития горноперерабатывающей индустрии России // Горный журнал. 2007. № 2. С. 2–9.

9. Трубецкой К.Н., Корнилков С.В., Яковлев В.Л. О новых подходах к обеспечению устойчивого развития горного производства // Горный журнал. 2012. № 1. С. 15–19.

10. Васильчук М.П., Трубецкой К.Н. Недр и основные положения экологической безопасности их освоения // Горный журнал. 1995. № 7. С. 17–21.

11. Polukhin O.N. и др. Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailings usage in solidifying mixtures production // Scientific Reports on Resource Issues. Innovations in Mineral Resource Value Chains: Geology, Mining, Processing, Economics, Safety, and Environmental Management. Freiberg: Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg, 2014. С. 402–412.

12. Huanqing L. An integrated strategy for sustainable development of the urban underground: From strategic, economic and societal aspects // Tunn. Undergr. Sp. Technol. 2015. Т. 55, № May 2016. С. 67–82.

13. UNFPA. Population [Электронный ресурс]. 2017. URL: <http://www.un.org/en/sections/issues-depth/population/index.html>.

14. Глазьев С.Ю. Теория долгосрочного технико-экономического развития / Междунар. фонд Н.Д.Кондратьева. М.: ВлаДар, 1993. 310 с.

15. Садовничий В.А., Акаев А.А., Коротаев А.В. Моделирование и прогнозирование мировой динамики / Научный совет по Программе фундамент. исслед. Президиума Российской академии наук «Экономика и социология знания». М.: ИСПИ РАН, 2012. 359 с.

16. Трубецкой К.Н. и др. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья. М.: Наука, 2010. 437 с.

17. Айнбиндер И.И., Родионов Ю.И., Пацкевич П.Г. Новые подходы к подземной разработке месторождений полезных ископаемых // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2008. № 5. С. 89–97.

18. Галченко Ю.П. Опыт реализации идей каркасной геотехнологии для сохранения водоносных горизонтов на Яковлевском месторождении // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 11. С. 130–137.

19. Kaplunov D.R., Radchenko D.N. Mined-out areas: Approaches to multipurpose use in complete integrated cycle of hard mineral mining // Gorn. Zhurnal. 2016. № 5. С. 28–33.

20. Kartoziya B.A., Korchak A.V., Levchenko A.N. Theoretical and practical problems of subsoil development under megacities // Gorn. Zhurnal. 2014. № 9. С. 60–64.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХПРИВОДНОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА С УСТРОЙСТВОМ НАТЯЖЕНИЯ

Кубрин С.С, Куанг Пьей Аунг

ИПКОН РАН, НИТУ МИСиС

Практика эксплуатации показывает, что в настоящее время ленточные конвейеры оказываются в значительной степени недоиспользованы по производительности, примерно на 40—60 %, и по времени работы на 20—25 %. Это приводит к неоправданным затратам на электроэнергию, уменьшению сроков службы оборудования и, следовательно, к повышению стоимости транспортировки угля. Низкая степень использования конвейеров объясняется, главным образом, значительной неравномерностью шахтных грузопотоков, которые носят случайный характер. Шахтные грузопотоки характеризуются исключительно большой неравномерностью, а также периодами отсутствия поступления груза, вызванными значительными простоями добычных машин.

Повышения экономической эффективности эксплуатации конвейерного транспорта можно добиться путем согласования работы конвейера с фактическим грузопотоком, например, применением автоматического управления скоростью движения несущего полотна конвейера в зависимости от фактического грузопотока. При пуске и повышении скорости вращения приводных барабанов может возникать пробуксовка, которая увеличивает износ ленты и даже может привести к возгоранию при трении.

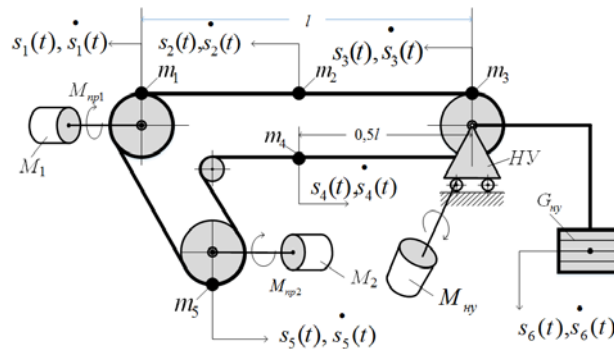


Рис. 1. Расчетная схема двухприводного ленточного конвейера

На рис. 1 представлена схема двухдвигательного конвейера с натяжным устройством. $\dot{s}_1, \dot{s}_2, \dot{s}_3, \dot{s}_4, \dot{s}_5$ - скорости, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 - перемещения, S_6, \dot{S}_6 - положение и скорость перемещения натяжного груза и M_{np1} и M_{np2} - движущие моменты приводов.

где L - длина конвейера, G_{ny} - вес натяжного устройства, m_1, m_2, m_3 - массы расположены на грузовой ветви, m_4, m_5 - массы расположены на порожней ветви, m_6 - масса натяжного устройства,

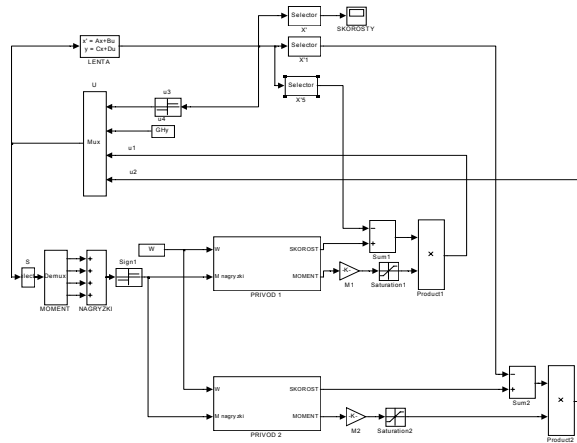


Рис. 2. Схема модели двухприводного конвейера с устройством натяжения.

Результатами компьютерного моделирования явились переходные процессы по скоростям обобщенных координат ленты и натяжного устройства, представленные на рис. 3.

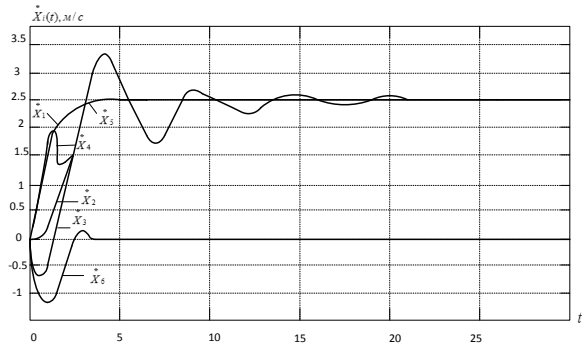


Рис. 3. Переходные процессы по скоростям обобщенных координат при пуске конвейера со скоростью 2,5 м/с.

Результаты моделирования позволяют определять скорости и натяжения в характерных точках ленточного конвейера, что даст возможность синтезировать систему управления скоростью движения конвейерной ленты при отсутствии пробуксовки на приводных барабанах и автоматически распределять нагрузку равномерно между приводами при любой скорости движения конвейера.

Литература

1. Рудаков В.В., Столяров И.М., Дартау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. – Л.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Запенин И.В., Бельфор В.Е., Селищев Ю.А. «Моделирование переходных процессов ленточных конвейеров». – М.: Изд. «Недра», 1969.
3. Дмитриева В.В., Певзнер Л.Д. «Автоматическая стабилизация погонной нагрузки ленточного конвейера». – М.: Издательство МГГУ, 2004.
4. Дмитриева В.В. Разработка и исследование системы автоматической стабилизации погонной нагрузки магистрального конвейера. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 2005.
5. Дмитриева В.В., Гершун С.В. «Разработка математической модели ленточного конвейера с двухдвигательным приводом». – М.: Издательство МГТУ, ГИАБ №8, 2008.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДИЗЕЛЕВОЗНОГО ТРАНСПОРТА В ШАХТЕ

Горностаев В.С.
АО «СУЭК-Кузбасс»,

Кубрин С.С.
ИПКОН РАН

В последние годы для обеспечения горных работ оборудованием, материалами на современных угольных предприятиях применяется подвесной монорельсовый дизелевозный транспорт. При интенсификации горных работ, требуемый объем перевозок возрастает и появляется необходимость в оптимизации проектирования топологии монорельсовой сети. Для этого требуется определение максимальной пропускной способности каждого участка. Время, за которое возможно переместить груз с помощью дизелевозного транспорта зависит от вида организации перемещения груза. Возможны несколько схем организации перемещения груза – однопутная трасса, без разъездов, и без промежуточных пунктов обработки грузов, двухпутная трасса, однопутная трасса с разъездами, однопутная трасса с участками перегруза. В случае готовности пути и локомотива общее время использование транспортной магистрали на полный цикл доставки груза (погрузка, транспортировка, выгруз-

ка, перемещение порожнего локомотива на точку погрузки) дизелевозным транспортом при однопутной трассе, без разъездов, и без промежуточных пунктов обработки грузов складывается из времени, необходимой для погрузки груза – t_{noz} , времени маневрирования при выезде из места погрузки – t_{m1} , времени движения с грузом – t_{ep} , времени маневрирования при выезде на места погрузки – t_{m2} , времени разгрузки – $t_{разг}$ и времени возвращения состава в пункт отправления t_{nop} – $t = t_{noz} + t_{m1} + t_{ep} + t_{m2} + t_{разг} + t_{nop}$. Пропускная способность определяется как обратная величина времени использования транспортной магистрали составом $P = 1/t$. Следовательно, пропускную способность однопутной трассы, без разъездов, и без промежуточных пунктов обработки грузов определяется как:

$$P = \frac{1}{t_{noz} + t_{m1} + t_{ep} + t_{m2} + t_{разг} + t_{nop}}$$

Если предположить в первом приближении, что времена погрузки и разгрузки груза равны ($t_{noz} = t_{разг} = t_0$), время маневрирования входит во время движения и при этом время движения с грузом и время движения порожнего локомотива равны ($t_{m1} + t_{ep} + t_{m2} = t_{m1} + t_{nop} + t_{m2} = t_{Tp}$), тогда $t = t_0 + t_{Tp} + t_0 + t_{Tp} = 2(t_{Tp} + t_0)$ и $P = \frac{1}{2(t_{Tp} + t_0/n)}$, где n – некото-

рый положительный коэффициент, определяющий соотношение времен погрузки/выгрузки и движения. Переход к безразмерным значениям (время разгрузки/погрузки принимается за единицу) дает $t = 2(n+1)$ и $P = \frac{1}{2(n+1)}$.

Анализ полученной зависимости свидетельствует, что, во-первых, только использование погрузочно/разгрузочных операций при организации транспортировки грузов заведомо снижает в два раза пропускную способность идеальной транспортной магистрали. К идеальным транспортным магистралям относятся потоковые системы транспортировки грузов, это в основном трубопроводные магистрали. Во-вторых, с ростом протяженности транспортной магистрали пропускная способность транспортной магистрали снижается по гиперболическому закону и уже при превышении времени транспортировки груза времени погрузки в пять раз не превышает 10% от идеальной транспортной магистрали.

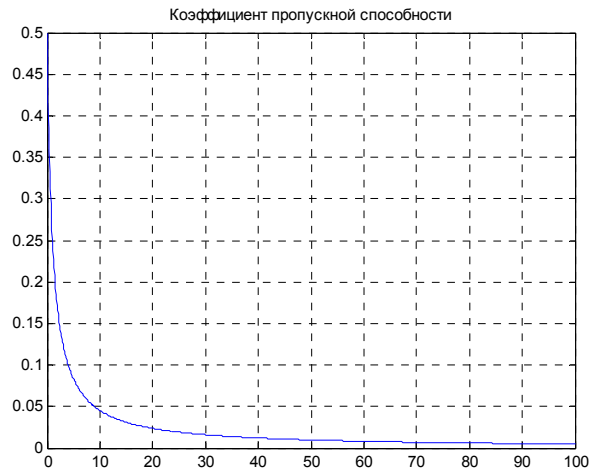


Рис.1.

Время, затрачиваемое на перемещение, погрузку/выгрузку груза является необходимым, его снижение возможно только в ходе совершенствования технологии перевозки, разработки новых технических средств. Время, затрачиваемое на порожний пробег определяется только тем, что трасса занята. Наиболее перспективным является такая организация перевозки груза при которой время порожнего пробега стремилась к минимуму. Одним из способов, позволяющим снизить простой транспортной магистрали по причине её занятости локомотивом, совершающим порожний пробег является разделение транспортной магистрали на несколько участков, обсаживающихся отдельными локомотивами. Тогда, первый локомотив, выполнив перемещение груза на первом участке, передает груз второму локомотиву, который выполняет его перемещение на втором участке, а сам возвращается порожнем за следующим грузом. В этом случае порожний пробег локомотива не прерывает перемещение грузов вдоль транспортной магистрали. Соответственно, увеличивается пропускная способность транспортной линии. К отрицательным свойствам такой организации транспортировки относится увеличение числа погрузочно/разгрузочных операций. Чтоб достичь наибольший эффект от применения описанной схемы организации транспортировки грузов (однопутная трасса, без разъездов, с промежуточными пунктами обработки грузов) составные участки трассы должны быть равны по времени движения на них. В этом случае время перемещения груза по одной (i) из ветвей равно $t_i = 2\left(\frac{n}{k} + k\right)$, где: k – число

участков транспортной магистрали. Общее время использования магистрали для доставки груза определяется суммированием – $t = \sum_{i=1}^{i=k} t_i = \sum_{i=1}^{i=k} 2\left(\frac{n}{k} + k\right) = 2k\left(\frac{n}{k} + k\right)$. Максимальная пропускная способность транспортной магистрали достигается тогда, когда на каждом участке производится транспортировка груза. В этом случае на транспортной магистрали находятся k грузов, следовательно пропускная способность равна $P = \frac{k}{2k\left(\frac{n}{k} + k\right)} = \frac{k}{2(n + k^2)}$.

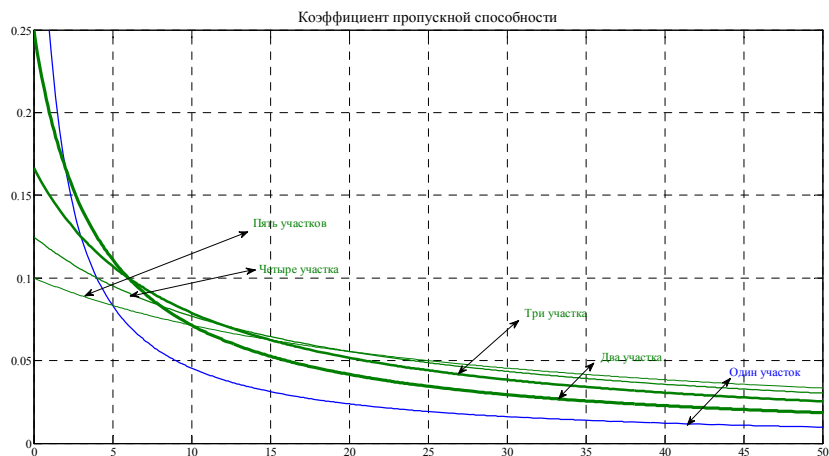


Рис.2.

Анализ свидетельствует, что при небольшой протяженности транспортной магистрали, когда время транспортировки не превышает в два – три раза интервал времени, необходимого на погрузку, деление на участки всей транспортной магистрали не выгодно (рис. 2). С ростом протяженности транспортной магистрали коэффициент пропускной способности с увеличением числа составных участков по сравнению с транспортной магистралью без составных участков увеличивается. При этом он не зависит от протяженности транспортной магистрали.

Зависимость повышения коэффициента пропускной способности транспортной магистрали в зависимости от числа участков (рис. 3) свидетельствует, что пропускная способность при увеличении участков возрастает на 77%, а затем падает, а с некоторого значения даже уменьшает коэффициент пропускной способности транспортной магистрали.

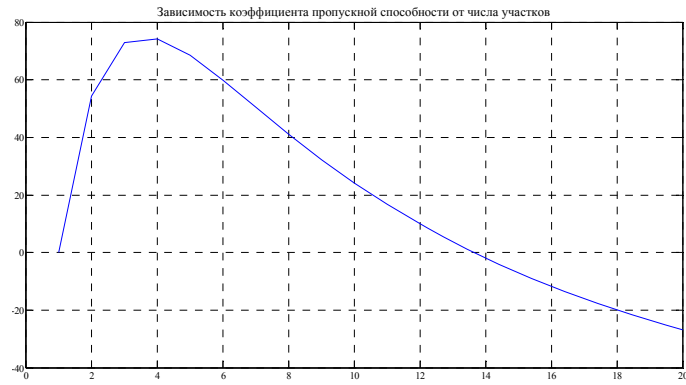


Рис. 3.

Оптимальное число участков, обеспечивающих наибольшую пропускную способность магистрали определяется из условия равенства частной производной пропускной способности по числу участков нулю ($\frac{\partial P}{\partial k} = 0$). Предполагается, что k в первом приближении непрерывное

число. Тогда, из условия $\frac{\partial P}{\partial k} = \frac{2(n+k^2) - 2k(2k)}{4(n+k^2)^2} = \frac{n-k^2}{2(n+k^2)^2} = 0$, с учетом того, что для дроби условие её равенства нулю в области определения достаточно равенства нулю числителя следует $n - k^2 = 0$, и $k = \sqrt{n}$ (рис. 4).

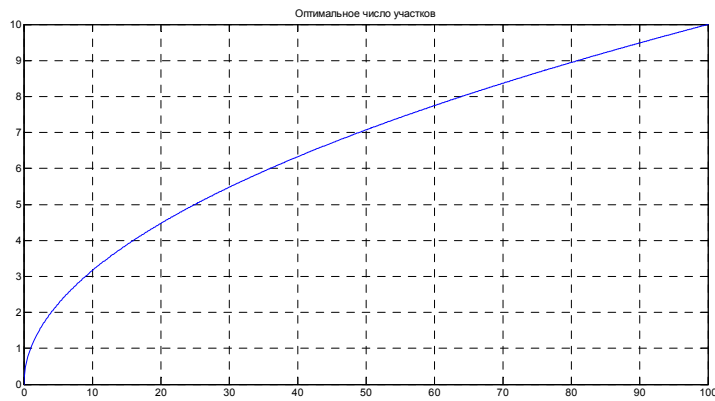


Рис. 4.

ГАЗОДИНАМИКА И РУДНИЧНАЯ АЭРОЛОГИЯ

ПРИРОДОПОДОБНЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ НЕРАЗГРУЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ДЛЯ ДОБЫЧИ ИЗ НИХ МЕТАНА

Бобин В.А.

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

Основные положения концепции промышленного извлечения метана из угольных пластов сформулированы в трудах К.Н. Трубецкого, В.В. Гурьянова, Л.А. Пучкова и других исследователей [1 – 3].

В ИПКОН РАН разработаны способы заблаговременного извлечения метана из неразгруженных угольных пластов, создающие условия повышения проницаемости угольного пласта. Наиболее перспективным способом из них являются горизонтальные скважины (ГС) [4-6].

Идея этого направления исследований заимствована в природе, где фильтрация метана из угольных пластов происходит вдоль трещин различного размера и направлений, которые образуются в пластах в результате сдвижения горного массива, приводящего к нарушению сплошности пластов и образованию тектонических нарушений различной интенсивности.

В этом смысле ГС являются магистральными трещинами, вокруг которых под действием природных сил формируются разветвленные ветви трещин меньшего размера, что резко увеличивают проницаемость пласта, и в этом смысле способы их формирования можно назвать природоподобным. Компланарная система ГС формируется в угольном пласте с помощью технологии бурения по радиусам [4].

Механизм дегазирующего влияния горизонтальных скважин связан с образованием зоны неупругих деформаций (пластическая зона), где пористость угля увеличивается по отношению к природной, возрастает газопроницаемость пласта, что повышает скорость десорбции метана из этой зоны. За ней вглубь массива идет зона упругих деформаций, в которой перемещение метана происходит по макропорам и макротрещинам, и их наличие способствует движению газа в опережающую скважину в течение длительного периода времени.

Общим свойством для этих зон является то, что в них нарушена целостность угольного пласта под действием энергии межмолекулярного

отталкивания молекул сорбата, которая выражается сначала в разрыве связей между структурными элементами угольного вещества на микроуровне, а затем и в нарушении макроструктуры угля [7-8].

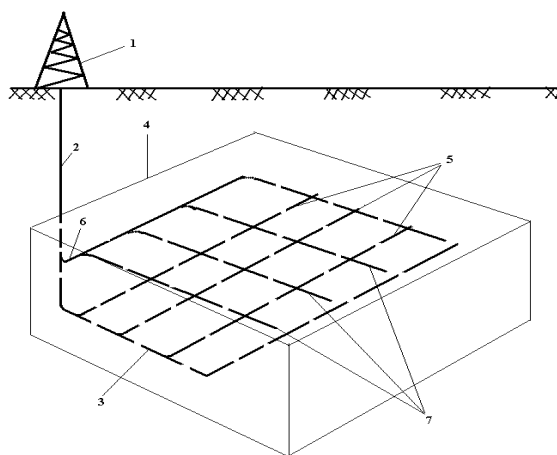
Для оценки проницаемости используется метод замерам скорости газовыделения в скважину [9-11].

Характер изменения проницаемости угольного пласта с углублением в него от поверхности скважины описывается кубической параболой, параметры которой определяются природная проницаемость пласта ($5 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-5}$ мД), газопроницаемость пласта на поверхности обнажения в выработке (λ_0), текущим значением радиуса от поверхности цилиндрической скважины в глубь угольного пласта. Расчеты дают значения для $\lambda_0 = 6,3$ мД, $R_{эфф} = 5$ м [10]. При этом начальное значение дебита метана из объема угля в скважину около $1 \text{ м}^3/\text{с}$. Поэтому для обеспечения дебита метана, имеющего промышленное значение и составляющего $5 \text{ м}^3/\text{с}$ необходимо задействовать разветвленную систему горизонтальных коллинеарных скважин.

Согласно оценке величины газопроницаемости можно ожидать, что увеличение ее для неразгруженных угольных пластов при коллинеарном расположении горизонтальных скважин составит почти три порядка величины. т.е. увеличится в достаточно протяженной зоне вокруг горизонтальной скважины, составляющей в диаметре 8 метров, почти в тысячу раз с 5×10^{-3} мД до 6,3 мД.

В свою очередь природоподобный способ добычи угольного метана из неразгруженных пластов, использующий систему компланарных ГС (рис.1), рационально использовать в таких случаях, когда неизвестна ориентация трещин квиважа в угольном пласте [5].

Рис.1. Схема природоподобного способа добычи метана из неразгруженного угольного пласта с использованием компланарных ГС
*1 – буровая вышка,
2 – вертикально-восходящий ствол,
3 – первый горизонтальный ствол,
4 – угольный пласт,
5 и 7 – сеть скважин,
6 – второй горизонтальный ствол*



Система компланарных скважин разбивает продуктивную в отношении метана область угольного пласта на два равновеликих объема. В каждом из них создана система параллельных горизонтальных скважин, являющихся для каждого отдельного объема угольного пласта системой коллинеарных скважин. При этом для каждого равновеликого объема угольного пласта значение коэффициента газопроницаемости определяется по выше приведенной методике, а коэффициент газопроницаемости всего угольного пласта определится как среднее арифметического значение полученных коэффициентов газопроницаемости для каждого отдельного объема.

Таким образом, прородоподобные способы увеличения проницаемости неразгруженных угольных пластов для добычи из них метана позволят с помощью систем как коллинеарных, так и компланарных ГС не только увеличить проницаемость этих угольных пластов в сотни раз по сравнению с природной, но и обеспечить промышленный дебита метана на уровне $5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Литература

1. Трубецкой К.Н. и др. О развитии исследований и разработок по вопросам добычи метана угольных пластов, ГИАБ бюллетень, 1996, вып.4, с.13-18.
2. Бобин В.А., Гурьянов В.В.» Использование скважин с горизонтальным окончанием ствола – перспективное направление промысловой добычи газа из неразгруженных угольных пластов» ГИАБ №5. 2001, с. 77-80.
3. Пучков Л.А., Сластунов С.В., Коликов К.С. Извлечение метана из угольных пластов. М., Изд-во МГГУ, 2002, 383 с.
4. Патент РФ № 2211308 «Способ вскрытия угольного пласта для добычи метана». Трубецкой К.Н., Бобин В.А., Гурьянов В.В. Бюл. № 24, 2003.
5. Патент РФ № 2211322 «Способ вскрытия углеводородсодержащих пластов». Трубецкой К.Н., Бобин В.А., Гурьянов В.В. Бюл. № 24, 2003.
6. Патент РФ № 2211323 «Способ добычи угольного метана из неразгруженных пластов». Бобин В.А., Бобин А.В. Бюл. № 24, 2003.
7. Бобин В.А., Зимаков Б.М., Одинцев В.Н. Оценка энергии межмолекулярного отталкивания молекул сорбата в микропорах угля. ФТПРПИ, №5, 1989, с.52-59.
8. Бобин В.А., Зимаков Б.М., Одинцев В.Н., Эттингер И.Л. Модель опережающего разрушения угольного массива при выбросах угля и газа. Тезисы докладов. Симферополь, 1987, с.12.
9. Кузнецов С.В., Кригман Р.Н. Природная проницаемость угольных пластов. М., «Наука», 1978, 122 с.
10. Айруни А.Т., Бобин В.А., Зверев И.В. и др. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах. М., «Наука», 1986, 300 с.
11. Бобин В.А. Сорбционные процессы в природном угле и его структура. ИПКОН АН СССР, 1987, 135 с.

ТЕХНОГЕННЫЕ СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ НЕРАЗГРУЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ – ОСНОВА ТЕХНОЛОГИИ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАНА

Бобин В.А.

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

Перспективные для промышленной добычи метана метаноугольные месторождения представляют собой мощные углевлещающие толщи с большим количеством высокогазоносных угольных пластов и пропластков.

Заблаговременное извлечение метана из неразгруженных угольных пластов возможно при изменении их физико-механических, термодинамических и фильтрационных свойств пласта [1–2]. Для их реализации используются техногенные воздействия с использованием гидродинамических систем разной технической сложности, что их и отличает от природоподобных способов.

В ИПКОН РАН разработаны два таких способа и дано научное обоснование эффективности их применения в условиях Кузбасса [3–5].

Например, на рис. 1 представлена схема систем вибровоздействия (9,10) с частотой 10-100 Гц на добычную зону газонасыщенного угольного пласта (12) пульсирующим гидродинамическим воздействием через искусственно созданные трещины гидроразрыва (7,8)[4].

Такую схему вскрытия угольного месторождения и добычи метана можно эффективно использовать, например, добыче метана из угленосных отложений Ускатского района Кузбасса.

Прораствание макропор-трещин происходит за счет десорбции метана в них из так называемого «жизненного пространства», которое окружает каждую макропору, в тот момент, когда давление в ней в результате циклов разгрузки и нагрузки при гидродинамическом воздействии не превышает значения, определяемого теорией трещин Гриффитса [6].

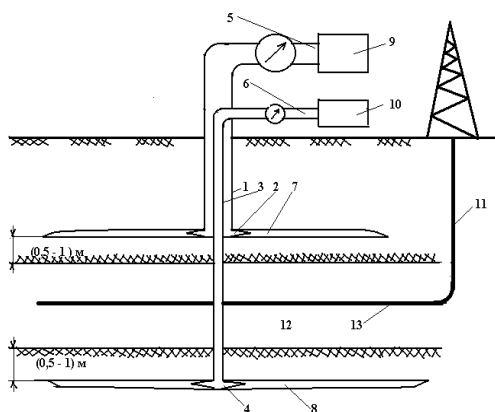


Рис. 1.

Результаты расчетов показали, что объем «жизненного пространства» для макропор радиусом 10^{-4} м и толщиной $1,5 \times 10^{-6}$ м оценивается величиной $V_{жпр} = 0,146 \times 10^{-12}$ м³, а макропор радиусом 10^{-3} м толщиной $1,5 \times 10^{-6}$ м – $V_{жпр} = 14,6 \times 10^{-12}$ м³, что на два порядка величины больше, чем объем «жизненного пространства» вокруг мелких макропор. Количество метана, находящегося в соответствующем «жизненном пространстве», а также его масса (m) равны соответственно $5,84 \times 10^{-12}$ м³, $4,2 \times 10^{-12}$ кг и $5,84 \times 10^{-10}$ м³, $4,2 \times 10^{-10}$ кг.

Расчеты проведенные в соответствии с теорией Гриффитса дают для прочных газонасыщенных углей с $E = 10 \times 10^3$ МПа значение $\sigma_{разр} = 57,8$ МПа. В свою очередь для малопрочных газонасыщенных углей с $E = 10^3$ МПа получим значения $\sigma_{разр} = 5,8$ МПа.

Сравнение этих величин с величиной давления метана в макропоре, полученном по истечении 80 циклов разгрузки-сжатия угольного пласта и равном $P = 4,48$ МПа = 44,8 атм, показывает, при выбранных технических параметрах вибровоздействия интенсивное развитие макропор-трещин вполне вероятно для малопрочных газонасыщенных угольных пластов, имеющих модуль $E = 10^3$ МПа и коэффициент поверхностного натяжения $\gamma = 2,4$ Н/м.

В свою очередь для эффективного использования гидровоздействия на прочные угольные пласты необходимо, во-первых, увеличить длительность цикла разгрузки сжатия, что позволит, во-вторых, интенсифицировать процесс закачивания метана в макропору, и таким образом, в-третьих, увеличить давление в ней за каждый цикл, что позволит значительно сократить число этих циклов, чтобы достигнуть достаточных расчетных величин давления, составляющих порядка 200 атм.

В результате гидровоздействия, когда в процессе цикла разгрузка-сжатие будет достигнуто давление метана в макропоре, превышающее $\sigma_{разр}$ тогда произойдет скачкообразный двукратный рост длины трещины. Это приведет к значительному росту и трещинной проницаемости, которая составит $K_T = 0,29 - 0,46$ мД, т.е. в результате гидровоздействия трещинная проницаемость угольных пластов независимо от их прочностных свойств может быть увеличена в 3-10 раз, что естественно приведет к интенсификации метановыделения в добычные скважины.

Следующий техногенный способ увеличения проницаемости неразгруженных угольных пластов реализует идею формирования зоны перетока между частями пласта для повышения гидродинамической связи между горизонтальными скважинами, пробуренными по пласту [7]. Эта зона создается с помощью устойчивой система сквозных вертикальных трещин, которые вместе с трещинами гидроразрыва в породах почвы и кровли пласта формируют обширное газопроницаемое пространство.

Иницирующие полости создают (2,3), а трещины гидроразрыва (6,7) одновременно формируют соответственно в породах почвы и кровли угольного пласта на расстоянии, равном 0,1 м, где толщина пласта. Вторичные иницирующие полости (8,9) образуются через трещины гидроразрыва и ориентируются в вертикальной плоскости сечения пласта. С их помощью в единую гидродинамическую систему соединяют между собой трещины гидроразрыва, сформированные в породах почвы и кровли и горизонтальные скважины, пробуренные по пласту (рис.2).

Таким образом, в результате создания трещин гидроразрыва в породах почвы и кровли угольного пласта в пространстве будет сформирован объем, который при виде на него сверху похож на цилиндр с неправильной боковой поверхностью, пронизанный вертикальными трещинами.

Дальнейшее циклическое гидровоздействие повышает проницаемость угольных пластов в плоскости их поперечного сечения независимо от их прочностных свойств в 3-10 раз, а формирование системы сквозных вертикальных трещин в угольном пласте приводит к существенному увеличению (на порядок величины и более) проницаемости и коэффициента фильтрации угольного пласта в вертикальной плоскости, что интенсифицирует газодинамическую связь между его частями, расположенными в

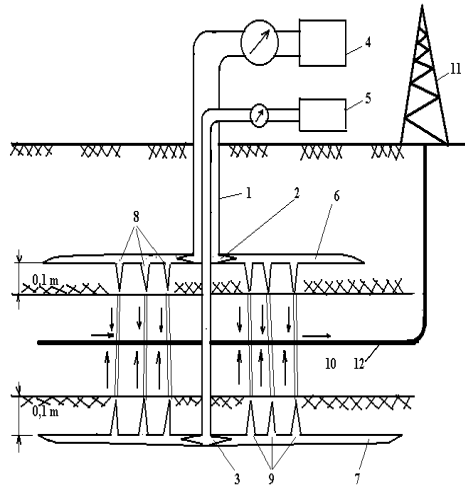


Рис. 2.

и позволяет характеризовать угольный пласт в вертикальной плоскости, как развитую фильтрационную систему.

Литература

1. Ножкин Н.В. Заблаговременная дегазация угольных месторождений. М., «Недра», 1979, 346 с.
2. Васючков Ю.Ф. Физико-химические способы дегазации угольных пластов. М., Недр», 1986, 255 с.
3. Патент РФ № 2211308 «Способ вскрытия угольного пласта для добычи метана». Трубецкой К.Н., Бобин В.А., Гурьянов В.В. Бюл. № 24, 2003.

4. Патент РФ № 2211322 «Способ вскрытия углеводородсодержащих пластов». Трубецкой К.Н., Бобин В.А., Гурьянов В.В. Бюл. № 24, 2003.

5. Патент РФ № 2211323 «Способ добычи угольного метана из неразгруженных пластов». Бобин В.А., Бобин А.В. Бюл. № 24, 2003.

6. Бобин В.А. Оценка параметров волнового воздействия на микро- и макроструктурные образования в газонасыщенном угольном веществе с целью интенсификации добычи угольного метана». В сб. трудов Международной научно-практич. конф. «Метан угольных пластов Украины» . г.Днепропетровск, 1999 ,с. 79-84.

7. Патент РФ №1627673, кл.Е 21 В 43/00. Бюл. № 6, 1991.

О ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИЕМНЫХ ПЛАТФОРМ ПРИБОРОВ ПЫЛЕВОГО КОНТРОЛЯ

Кобылкин А.С.

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

Ключевые слова: *аэрология, вентиляция, угольная пыль, прибор, контроль.*

Вентиляция шахт и рудников является сложным и одним из самых важных разделов горной науки [1]. Это связано как с трудностью получения зависимостей аэродинамических характеристик потоков воздуха в горных выработках, мониторинга пылевой обстановки и др., так и с катастрофическими последствиями аварий, связанных с взрывом метано-пылевоздушных смесей.

Контроль за такими параметрами, как концентрация метана и концентрация пыли (витающая и осевшая) ведётся с помощью стационарных и переносных приборов.

Анализ приборов измерения концентрации пыли показал, что вопрос методического обеспечения пылемеров, использующих гравиметрический принцип действия, отсутствует. Большинство приборов, представленных на рынке предназначены для измерения массовой концентрации пыли в воздушной среде при контроле превышения предельно-допустимых концентраций в воздухе рабочей зоны, атмосферном воздухе, воздухе санитарно-защитной зоны, а также для технологического контроля систем кондиционирования, вентиляционных систем и чистоты воздуха объектов различного назначения. Данные приборы используют два основных принципа действия:

1. электроиндукционный, основанный на периодическом принудительном заряде частиц пыли в поле коронного импульсного разряда и последующем измерении тока переноса заряженных частиц путём изме-

рения наведенного ими переменного напряжения, амплитуда которого пропорциональна массовой концентрации пыли;

2. измерение оптической плотности пылегазовых сред, массовых концентраций взвешенных частиц (пыли) МКП через калибровочный коэффициент, определяемый сравнительным методом, как отношение показаний контрольного прибора и измерителя по шкале массовых концентраций, а также для контроля пылеотложения с целью прогнозирования накопления взрывоопасных концентраций.

Основная часть приборов не предназначена к использованию на шахтах. Прибор ДАСТ-1 работающий на радиоизотопном принципе действия выполнен не во взрывобезопасном исполнении и к использованию в шахтах не приспособлен.

К наиболее известным пылемерам относят:

1. Трибоэлектрические пылемеры SINTRON;
2. ЭКОМЕР пылемер оптический стационарный;
3. Нефелометр 3563;

4. ИКВЧ-ВЗ переносной взрывозащищённый измеритель концентрации взвешенных частиц, для измерения оптической плотности пылегазовых сред, массовых концентраций взвешенных частиц (пыли) МКП, а также для контроля пылеотложения с целью прогнозирования накопления взрывоопасных концентраций;

5. ИКВЧ(п), переносной измеритель концентрации взвешенных частиц (пылемер), для измерения оптической плотности пылегазовых сред, а также массовых концентраций взвешенных частиц (пыли);

6. ИКВЧ(с) стационарный измеритель концентрации взвешенных частиц (пылемер), для непрерывного измерения оптической плотности пылегазовых сред и колебаний оптической плотности дымовых потоков, а также массовых концентраций взвешенных частиц (пыли);

7. ИКВЧ-М, стационарный измеритель концентрации взвешенных частиц (пылемер), для непрерывного автоматического измерения массовой концентрации пыли (МКП), а также оптической плотности пылегазовых сред (D);

8. ПИКП-Т, стационарный прибор контроля запыленности газовых потоков, для непрерывного контроля качества работы фильтрующих устройств различного типа действия, а также для технологического и экологического мониторинга;

9. ИКП-5 Переносной анализатор пыли;

10. ПКА-01 Прибор контроля запыленности воздуха, принцип действия основан на определении аэродинамического сопротивления фильтрующего элемента за счёт падения объёмного расхода прокачиваемой пробы;

11. KANOMAX 3521, Пьезобалансный измеритель массовой концентрации респираторной пыли;
12. Измеритель массовой концентрации аэрозольных частиц KANOMAX 3443
13. АЭРОКОН-П, Пылемер;
14. Атмас, Анализатор пыли;
15. ДАСТ-1;
16. Casella TUFF Plus, Casella TUFF Pro дозиметры-счетчики уровня пыли в воздухе помещений;
17. SEM DT-9880 счётчик пылевых частиц;
18. SEM DT-9881 портативный многофункциональный прибор экологического контроля;
19. Fluke 983 измеритель концентрации взвешенных частиц и пыли в воздухе;
20. Fluke 985 счётчик-измеритель концентрации взвешенных частиц в воздухе;
21. MetOne 3400 переносной счетчик аэрозольных частиц;
22. MetOne 6000 счетчик аэрозольных частиц с высоким диапазоном чувствительности;
23. АЗ-10 Счетчик частиц;
24. Анализатор пыли CEL-712 MICRODUST PRO;
25. Respicon TM/Respicon 2 TM;
26. Цифровые измерители пыли (модели TM-data, TM-M, TM-F);
27. 2-х и 4-х канальные пробоотборные устройства (аспираторы) ПУ-2Э, ПУ-4Э;
28. Пробоотборное устройство со счетчиком объема ПУ-3Э.

Особенностью приборов также является принудительная прокачка запыленного воздуха, что для ситуации с оценкой осаждения пыли в горных выработках не подходит.

Для оценки уровня осевшей пыли используют приборы, основанные на гравиметрическом принципе действия. Одной из особенностей таких приборов является наличие приёмной платформы. Геометрические характеристики приемной платформы должны быть максимально эффективны для решения задачи пылеосаждения в потоке воздуха.

Частицы пыли, огибают приемную платформу, так как движутся по траектории заданной потоком воздуха [2]. Исследования показали, что чем выше скорость потока, тем меньше частиц пыли оседает на платформе. Геометрические характеристики приёмной платформы оказывают большое влияние на вектор потока воздуха и вектор движения частиц пыли.

На данный момент приемные платформы разрабатываемых приборов контроля оседающей пыли имеют форму полого цилиндра. Ввиду

своих аэродинамических характеристик они не эффективно выполняют функцию пылеосадительного устройства.

Проведенные шахтные эксперименты, а также математическое моделирование подтвердили теоретические изыскания и позволили сформулировать задачу по усовершенствованию приборов пылевого контроля.

Одним из важных этапов в развитии приборов пылевого контроля, основанных на гравиметрическом принципе действия с использованием приемных платформ, является разработка более эффективных приемных платформ, с точки зрения аэродинамики.

Литература

1. Форсюк А.А., Кобылкин С.С., Состояние промышленной безопасности на угольных шахтах РФ, ГИАБ, Том: 12, № 12, 2009 г., стр. 23-26;
2. Кобылкин А.С. Распределение пыли различного дисперсного состава в горных выработках, в зависимости от расположения источника пылевыделения. ГИАБ, № 6; Москва, год: 2017 стр. 291-302.

ОБОГАЩЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГОМОЛОГОВ КСАНТОГЕНАТОВ С МИНЕРАЛАМИ В ПРОЦЕССЕ ИХ ФЛОТАЦИИ ПО ДАННЫМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Соложенкин П.М.

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

Исследованы гомологи ксантогената, которые были прикреплены к атомам кластеров сульфидных минералов. Показано, что энергия связи солидофильной группы ксантогената с кластером минералов не изменяется при увеличении длины углеводородной цепи ксантогената .

Ключевые слова: молекулярное моделирование , сульфидные минералы, флотация, собиратели, прогноз активности собирателя, МОРАС 2016

В публикациях нет данных об энергии связи ксантогенатов с катионами минералов. Поэтому были созданы модели гомологов ксантогенатов, которые прикрепляли к кластерам сульфидных минералов (процесс докинга).

Для исследуемых комплексов были рассчитаны молекулярные орбитали : НОМО (highest occupied molecular orbital), LUMO (lowest unoccupied molecular orbital) , в том числе и SOMO (second occupied molecular orbital).

На рис. 1 показаны отдельные схемы прикрепления (докинга) гомологов ксантогенатов к кластерам сульфидных минералов.

Для установления флотационной способности использовали прогноз оценки активности собирателя (ПОАС) – взаимодействия собирателя с кластером минерала – в виде разницы общей энергии комплекса и суммы энергии кластера и энергии собирателя.

Анализировали силы притяжения (дисперсионные силы) в углеводородных цепях гомологов ксантогенатов (Ван-дер-Ваальсовы силы). Дисперсионные силы возникают вследствие синхронизации мгновенных диполей взаимодействующих сил.

Используемая авторов программа вычисляет ван -дер- ваальсово взаимодействия (ВДВ) по двум критериям He-1,4 ВДВ и 1,4 ВДВ.

Для анализа флотации минералов от гомологов собирателя использовали результаты, опубликованные Годэном [1-2].

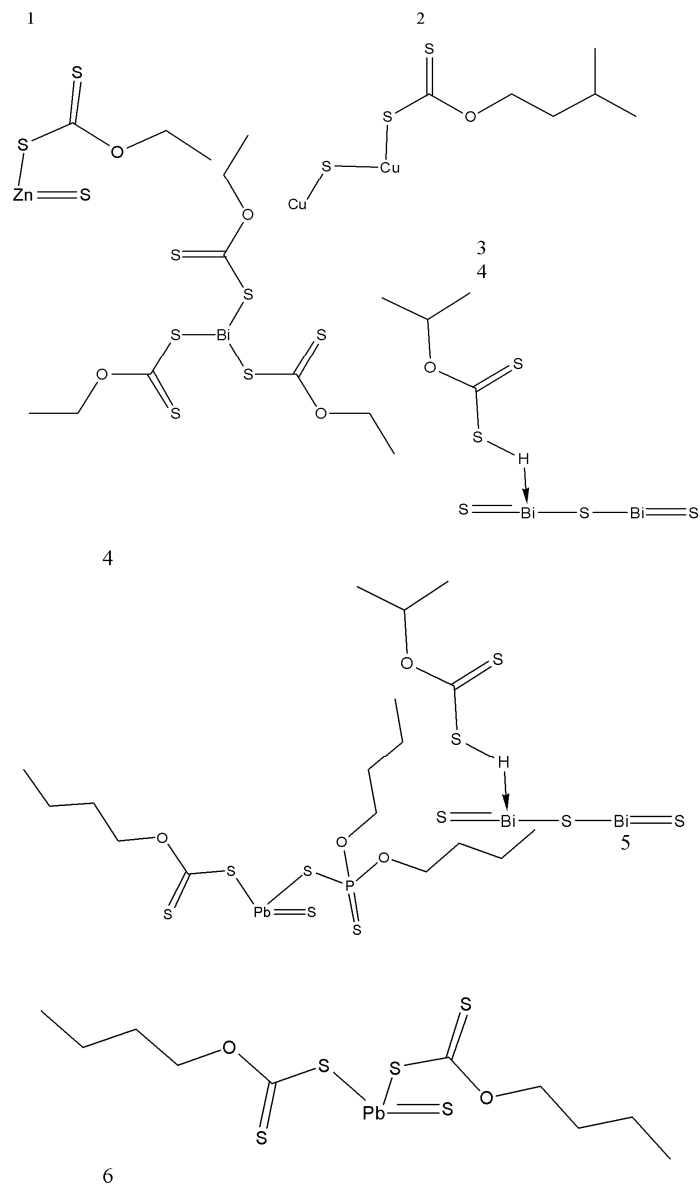


Рис.1. Схемы докинга гомологов ксантогенатов к кластерам минералов: 1. ZnS; 2 Cu₂S ; 3 Bi₂S₃; 4 Bi(C₂H₅OCS₂)₃; 5 PbS; 6 PbSPri(C₄H₉OCS₂)Pri(C₄H₉O)₂PS₂

Величина ПОАС для комплекса ZnSPri ксантогенат имеет равное значение в интервале от -2,50114 до -2,62194 эВ и не зависит от длины цепи ксантогенатов(этилового, амилового и гептилового Кх.)

Исследовали изменения извлечения галенита от ксантогенатов, общую энергию комплекса PbSPri 2 ксантогената, Ван-дер-Вальсово взаимодействия.

Величина ПОАС для комплекса PbSPri 2 ксантогената имеет равное значение в интервале от -2,29444 до -2,6637 эВ и не зависит от длины цепи ксантогенатов (метилового, этилового, изопропилового, бутилового, изоамилового Кх.) Сумма Ван-дер-Вальсово взаимодействия изменяется при этом $\Sigma=2,658$ до $\Sigma=6,87$ эВ.

В табл.1 показаны изменения извлечение халькозина от ксантогенатов, общая энергия комплекса Cu2SPri ксантогената, Ван-дер-Вальсово взаимодействия

Таблица 1

Извлечение халькозина от длины углеводородной цепи при расходе собирателя 0.025 кг/т			
Метилловый Кх	Этиловый Кх	Изоамиловый Кх	Гептиловый Кх
20	40	70	90
Общая энергия комплекса Cu2SPri ксантогената, эВ			
Cu2SPri (Метилловый Кх)	Cu2SPri (Этиловый Кх)	Cu2SPri (Изоамиловый Кх)	Cu2SPri (Гептиловый Кх)
-2463.82231, эВ	-2614.07462, эВ	-3065.40366, эВ	-3362.88120, эВ
Разница между Кх			
-	150,25231	451,32904/3=150,443013	297,47754/2=148,73877
Ван-дер-Вальсово взаимодействия			
He-1,4 ВДВ -0.8530 1,4 ВДВ 2.4798 $\Sigma=1,6268$	He-1,4 ВДВ -1.4457 1,4 ВДВ 3.4698 $\Sigma=2,0241$	He-1,4 ВДВ -2.6993 1,4 ВДВ 5.7253 $\Sigma=3,026$	He-1,4 ВДВ -1.2778 1,4 ВДВ 8.0048 $\Sigma=6,727$
ПОАС, эВ			
-2,55119	-2,71347	-2,95198	-1,70103

Из таблицы 1 следует, что энергия связи аниона собирателя с минералом халькозина (ПОАС) зависит только от природы сульфида меди и от состава и структуры солидофильной группы ксантогената и не зависит от длины углеводородной цепи реагента.

Эффективность гидрофобизирующего действия собирателей гомологов зависит только от свойств и особенностей углеводородной цепи этих реагентов. Показатели He-1,4 ВДВ и 1,4 ВДВ изменяются от длины углеводородной цепи собирателя в связи с возрастанием дисперсионного притяжения цепей в слое. Гидрофобизирующее действие собирателя определяется способностью разрушать гидратные слои вокруг минеральной частицы.

Для комплекса Cu2SPri ксантогената наблюдается SOMO (second occupied molecular orbital) с различной энергией ALPHA SOMO LUMO (эВ) и BETA SOMO LUMO (эВ).

В табл.2 показаны изменения извлечения висмутина от ксантогенатов, общая энергия комплекса Bi2S3 StrKx, Ван-дер-Вальсово взаимодействия [3].

Таблица 2

Извлечение висмутина от ксантогенатов при расходе собирателя 15 мг/л			
Этиловый Кх	Изопропиловый Кх	Бутиловый Кх	Амиловый Кх
80	83	86	91
Общая энергия комплекса Bi2S3 StrKx , эВ			
Bi2S3 Str(этиловый Кх)	Bi2S3 Str(изопропиловый Кх)	Bi2S3 Str(бутиловый Кх)	Bi2S3 Str(Амиловый Кх)
-867.709,эВ	-2017.77722, эВ	-2167.631,эВ	-2317.676,эВ
Разница между Кх, эВ			
-	150,06863	149,85367	150,04482
Ван-дер-Вальсово взаимодействия			
He-1,4 ВДВ -1.7852 1,4 ВДВ 3.1662	He-1,4 ВДВ -1.6708 1,4 ВДВ 3.6026	He-1,4 ВДВ -2.1877 1,4 ВДВ 4.5382	He-1,4 ВДВ -2.6648 1,4 ВДВ 5.2940
ПОАС, эВ			
3,01544	-3,12132	-3,01723	-3,0795

Энергия связи солидофильной группы ксантогената с кластером минерала Bi2S3 StrKx практически не изменяется при увеличении длины углеводородной цепи реагента. Величина ПОАС находится в интервале от -3,0795 до -3,12132, эВ.

В табл.3 показаны изменения извлечение самородного висмута от ксантогенатов, общая энергия Bi(ксантогената)₃ , Ван-дер-Вальсово взаимодействия.

Таблица 3

Извлечение самородного висмута от длины углеводородной цепи ксантогенатов при расходе собирателя 20 мг/л				
Этиловый Кх	Изопропиловый Кх	Бутиловый Кх	Амиловый Кх	Гексиловый Кх
50	55	80	85	-
Общая энергия ксантогенатов висмута, эВ				
BiPri(этил Кх)3	BiPri(пропилКх)3	BiPri(бутил Кх)3	BiPri(амил Кх)3	BiPri(гексил Кх)3
-3373,13839,эВ	-3823,28302, эВ	4273,42745, эВ	-4723,67640	5173,32377
Разница между Кх				
-	450,145	450,144	450,24895	449,64737
ПОАС, эВ				
-5,10955	-4,97569	-5,63366	-5,98794	-

Длина углеводородного радикала существенно влияет на общую энергию комплекса, но не влияет на величину ПОАС, величина которого составляет в интервале от – 4,97569 до 5,98794, эВ.

Выводы

1. Исследованы гомологи ксантогената, которые были прикреплены к атомам кластеров сульфидных минералов (процесс докинга). Для созданных комплексов определен прогноз оценки активности собирателей (ПОАС).

2. Показано, что энергия связи солидофильной группы ксантогената с кластером минералов не изменяется при увеличении длины углеводородной цепи ксантогената.

3. Эффективность гидрофобизирующего действия собирателей гомологов ксантогената зависит только от свойств и особенностей углеводородной цепи этих реагентов. Показатели He-1,4 ВДВ и 1,4 ВДВ изменяются от длины углеводородной цепи собирателя в связи с возрастанием дисперсионного притяжения цепей в слое. Гидрофобизирующее действие собирателя определяется способностью разрушать гидратные слои вокруг минеральной частицы.

Литература

1. Годэн А.М. Флотация. М.: ГОНТИ. 1934. С. 187. Фиг. 47
2. Годэн А.М. Основы обогащения полезных ископаемых. Металлургия. М.: 1946. С. 391. Фиг. 195.
3. Глембоцкий В.А., Соколов Е.С., Соложенкин П.М. Обогащение висмутсодержащих руд. (Отв. редактор И.А. Глухов). Академия наук Таджикской ССР. Институт химии. Душанбе: Издательство «Дониш», 1972, 186с.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ТОМТОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Нестеров К.Н.

*АО «Ведущий научно-исследовательский институт
химической технологии», ГК «РОСАТОМ»*

В настоящее время применение редкоземельных металлов (РЗМ) не имеет альтернативы в важнейших стратегических отраслях промышленности (атомной, электронной, электротехнической, телекоммуникационной и др.), в разработках автомобильной, авиакосмической и компьютерной техники, сплавов и композиционных материалов разного назначения. Сейчас на территории Российской Федерации основными эксплуатируемыми и перспективными сырьевыми источниками РЗМ кроме лопарита Ловозерского месторождения, рассматриваются месторождения Хибин, комплексное редкометалльное Туганское месторождение, монацит из Госрезерва (Красноуфимск) и Катугинское месторождение [1]. Государственной программой «Развитие промышленности и повышение её конкурентноспособности» предусматривается создание в России к 2020 г. полного цикла производства индивидуальных соединений, металлов и их сплавов с выпуском около 20 тыс. т. редкоземельной продукции. В рамках данной программы начаты работы на Зашихинском месторождении и богатом скандием месторождении Томтор [2].

Руды Томторского месторождения характеризуются высокой дисперсностью, низкой степенью высвобождения полезных минералов из сростков, что делает малоэффективным процесс обогащения, включая флотацию. По данным разведки на участке Буранный содержание редких земель цериевой и средней подгрупп в рудах – 11,96 %, иттриевой – 0,842 %, запасы, соответственно, – 3806 и 842 тыс. т. [3]. Учитывая значительные сырьевые запасы, создание нового горнопромышленного кластера с использованием уникального Томторского месторождения представляется безальтернативным вариантом ускоренного возрождения редкометалльных производств в России [4]. Это позволит не только обеспечить возрастающие потребности отечественной промышленности, но и решить проблему импортозамещения важных для России материалов, а также осуществить поставки наукоемкой продукции на экспорт.

Анализ литературных данных показывает, что в производственной практике существующие методы переработки редкоземельного сырья предполагают в основном два решения: сернокислотный [5] и щелочной

[6]. Наиболее широко распространенной и современной является щелочная технология вскрытия с последующим кислотным выщелачиванием продукта – осадка гидроокисей РЗМ, которая давно успешно используется в промышленном масштабе. Полученный осадок гидроксидов РЗМ тщательно промывают водой от соединений фосфора и щелочи, а затем выщелачивают минеральной кислотой: соляной [7], серной [8], азотной [9]. Разработанные во второй половине прошлого века, перечисленные выше способы выщелачивания осадка, достигли предела своих технико-экономических возможностей и уже не соответствуют современным экологическим требованиям в отношении безотходности производства и энерго- и ресурсосбережения.

Одним из возможных путей эффективного и в тоже время экономичного решения задачи обработки осадка гидроксидов РЗМ представляется использование автоклавной техники – проведение операции выщелачивания в герметичной аппаратуре при повышенной температуре и сверхатмосферном давлении. Основными преимуществами автоклавной технологии являются: высокое извлечение ценных компонентов в раствор; интенсивность процесса; меньше удельный расход реагентов и энергетические затраты; нечувствительность к колебаниям состава и технологической упорности исходного сырья; рациональность с точки зрения охраны труда и улучшение экологической обстановки вследствие малоотходности технологии [10].

Цель настоящей работы заключалась в определении оптимальных технологических параметров и условий автоклавного азотнокислотного выщелачивания РЗМ из гидроксидного осадка, полученного после переработки минерального рудного сырья Томторского месторождения.

В качестве исходного материала использовали осадок гидроксидов РЗМ, полученный после щелочного атмосферного вскрытия пироклормонацит-крандаллитовой руды Томторского месторождения. Осадок после отмывки от щелочи и соединений фосфора представлял собой тонкодисперсную светло-серую массу крупностью -0,044 мм ~95 %. Химический состав гидроксидного осадка, %: 22,8 ΣРЗМ; 0,24 Th; 0,2 P; 0,3 Al; 4,2 Ca; 2,4 Ba; 7,0 Fe; 9,2 Nb; 0,04 Sc; 1,0 Si; 3,5 Ti; 0,1 V; 5,0 Sr.

Лабораторные эксперименты по выщелачиванию гидроксидного осадка (масса навески 100 г) проводили в автоклаве емкостью 2 дм³, рассчитанном на работу при температурах до 300 °С и давлении до 10 МПа. Автоклав оборудован быстроходным двухступенчатым импеллерным перемешивающим устройством с регулируемым числом оборотов и электрическим нагревателем. В ходе экспериментов варьировали основные параметры процесса: температура – 90-180 °С; концентрация

HNO_3 – 150-550 г/дм³; плотность пульпы (отношение Ж:Т, масс) – 2-8; парциальное давление кислорода – 0-1,0 МПа; продолжительность процесса – 0,5-5,0 ч.

Установлено, что повышение температуры процесса приводит к увеличению степени извлечения $\Sigma\text{PЗМ}$. При температуре 120-150 °С наблюдается стабильно высокое извлечение $\Sigma\text{PЗМ}$ – 97,8-98,3 %, а при 160-180 °С степень извлечения в раствор $\Sigma\text{PЗМ}$ уменьшается. Это обусловлено тем, что при температуре выше 160 °С начинается термогидролиз соединений железа, которые при выпадении в осадок захватывают часть $\Sigma\text{PЗМ}$. По результатам экспериментов рекомендуется проводить обработку осадка при температуре 120 °С с обеспечением извлечения на уровне ~98 % $\Sigma\text{PЗМ}$.

Зависимость извлечения $\Sigma\text{PЗМ}$ в раствор от продолжительности процесса показывает, что в изученных условиях при 2 ч степень извлечения составляет 98,2 %. Дальнейшее повышение продолжительности – не оказывает значительного влияния на извлечение $\Sigma\text{PЗМ}$ (прирост ~0,5 %), что указывает на завершение процесса выщелачивания гидроксидного осадка.

Проведение процесса без подачи кислорода дает невысокое (~85 %) извлечение $\Sigma\text{PЗМ}$ в раствор. Однако, автоклавное выщелачивание в присутствии кислорода в парогазовой фазе благоприятно влияет на показатели: позволяет улучшить эффективность и селективность процесса, а также повысить извлечение $\Sigma\text{PЗМ}$ на ~10-13 %. При парциальном давлении кислорода 0,3 МПа (общее давление в автоклаве 0,5 МПа) степень перевода $\Sigma\text{PЗМ}$ достигает 98 %. Увеличение парциального давления кислорода – нецелесообразно, поскольку не влияет на степень извлечения $\Sigma\text{PЗМ}$, однако значительно осложняет аппаратное оформление процесса и выбор коррозионностойкого материала.

Зависимость степени извлечения $\Sigma\text{PЗМ}$ в раствор от концентрации HNO_3 показывает, что при концентрации 150 г/дм³ извлечение составляет 90 %, а при 350 г/дм³ достигает 98,4 %. Увеличение концентрации HNO_3 приводит к незначительному повышению извлечения и получению высокой остаточной кислотности раствора, что неблагоприятно для последующей операции экстракционной переработки.

Показано, что проведение процесса выщелачивания на плотных пульпах при Ж:Т=2-3 дает низкое извлечение $\Sigma\text{PЗМ}$ и сопровождается образованием плохо фильтрующихся суспензий, что затрудняет фильтрацию и промывку кека. На более разбавленных пульпах при Ж:Т=6-8 обеспечивается приемлемое извлечение, но возникают дополнительные расходы на материалы и оборудование для фильтрования. Оптимальным значением плотности пульпы является отношение Ж:Т=5,0 (масс.) со степенью извлечения до 98,5 % $\Sigma\text{PЗМ}$.

Таким образом, полученные данные позволили определить оптимальные условия автоклавного азотнокислотного выщелачивания РЗМ из гидроксидного осадка: начальная концентрация HNO_3 – 350 г/дм³; температура процесса – 120 °С; парциальное давление кислорода – 0,3 МПа; отношение Ж:Т = 5,0 (масс.); продолжительность процесса – 2 ч. В таких условиях степень извлечения $\Sigma\text{РЗМ}$ в раствор составляет 98,0-98,5 %. Результаты экспериментов будут положены в основу рекомендаций для разработки технологического регламента на проведение укрупненных лабораторных испытаний переработки редкометалльно-редкоземельных руд Томторского месторождения в условиях Опытного химико-технологического завода (ОХТЗ) АО «ВНИИХТ».

Литература

1. Быховский Л.З., Ануфриева С.И., Тигунов Л.П. Реальные сырьевые источники редкоземельного сырья // Тез. Докл. Конф. «Актуальные вопросы получения и применения РЗМ». М.: «ГИНЦВЕТМЕТ». 2014. С. 33-38.
2. Глушенко Ю.Г., Нечаев А.В., Поляков Е.Г. Пути развития редкоземельной отрасли Российской Федерации // Химическая технология. 2016. том 17. №10. С. 453-459.
3. Косынкин В.Д., Трубаков Ю.М., Сарычев Г.А. О мировом и российском редкоземельном производстве // ВНИИХТ-65 лет: Сборник научных трудов. – М.: ООО «Винпресс», 2016. С. 38-55.
4. Делицин Л.М., Мелентьев Г.Б. и др. Технологические проблемы Томтора и их решение // Редкие земли. 2015. №2(5). С. 164-179.
5. Пат. № 2549412 РФ. Способ переработки монацитового концентрата / Ларин В.К., Дьяченко А.Н. и др., опубл. 27.04.2015.
6. Lapidus G.T., Doyle F.M. Selective thorium and uranium extraction from monazite: II. Approaches to enhance the removal of radioactive contaminants // Hydrometallurgy. May 2015. Vol. 155. P. 161-167.
7. Пат. №2092602 РФ. Способ извлечения редкоземельных металлов из минерального фосфатного сырья / Чуб А.В., Дробот Д.В. и др., заявл. 21.03.1996; опубл. 10.10.1997.
8. Loch W. Thorium and Isotope // Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie. 1955. 8 Auflage. № 44. S. 71.
9. Вальков А.В., Сергиевский В.В., Степанов С.И., Чекмарев А.М. Красноуфимский монацит как сырье для производства редкоземельных элементов и удобрений // Цветные металлы. 2012. № 3. С. 21-23.
10. Набойченко С.С., Ни Л.П., Шнеерсон Я.М. Автоклавная гидрометаллургия цветных металлов. Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, 2002. С.30.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ИХ ФЛОТАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ

Петухов В. Н., Смирнов А. Н., Кубак Д.А.

*Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И.Носова*

В настоящее время поиск эффективных флотореагентов для флотации угля является важной задачей, поскольку, с каждым годом ухудшается качество добываемого угля. Важным направлением при поиске реагентов для флотации угля является исследование флотоактивности чистых химических соединений, что представляет практический интерес для поиска высокоэффективных технических продуктов нефтехимии в качестве флотореагентов. Для выявления механизма взаимодействия, необходимо знать природу и состояние реакционных центров угля и реагентов, энергию системы и валентные электронные переходы на всем протяжении процесса. На основе анализа имеющихся экспериментальных материалов по структурам и свойствам углей в работе [1] предложена обобщенная модель среднестатистической структурной единицы ОМУ, которая, отражая ее главные особенности, не конкретизирует химическое строение. Модель содержит пять структурных фрагментов: -ароматические конденсированные кольца (число колец колеблется от 1 до 5); -циклоалкановые фрагменты; -функциональные группы (-ОН, -СООН, -NH₂, -SH); - алкильные заместители (C₁-C_n); - «мостики группы» (—(CH₂)_n—, —О—, —О—CH₂—, —NH—, —S—, —SA—). Наличие в структуре углей разнообразных функциональных групп, а также атомов углерода с различной степенью гибридизации валентных s, p-орбиталей обуславливает существенную неравномерность распределения электронной плотности на поверхности углей, оказывая существенное влияние на энергию межмолекулярного взаимодействия фрагментов ОМУ с реагентами. Исследования механизма действия химических соединений при флотации углей обеспечивают направление поиска высокоэффективных, селективно действующих флотореагентов. В работах Петухова В.Н и Кубак Д.А с сотрудниками предложена оценка флотационной активности химических соединений с использованием квантово-химических параметров их взаимодействия с модельными соединениями ОМУ и поиск высокоэффективных реагентов для флотации углей[2,3,4].

Установлена высокая эффективность действия при флотации углей технического продукта нефтехимии РНХ-3010 в случае использования его в качестве самостоятельного реагента. Поэтому были проведены глубокие исследования по изучению основных квантово-химических параметров химических соединений, входящих в состав реагента РНХ-3010 и связи их с флотационной активностью при флотации углей. Качественно-количественный состав реагента определен хромато-масс-спектрометрическим методом. Основными компонентами флотореагента являются: 2-этилгексанол (5,14%), 1,1-дибутоксидбутан (4,23%), 2,4-дипропил-5-этил-1,3-диоксан (13,8%), бутиловый эфир 2-этилгексановой кислоты (22,53%), 2,4-диизопропил-6-пропил-1,3,5-триоксан (4,27%), 2,4,6-трипропил-1,3,5-триоксан (7,85%). Квантово-химические расчеты межмолекулярных комплексов, образующихся при взаимодействии чистых химических соединений с функциональными группами модельных соединений показывают, что 2-этилгексанол образует комплексы со всеми исследуемыми модельными соединениями с наиболее высокими энергиями водородной связи по сравнению с другими исследованными химическими соединениями.

Энергия водородных связей 2-этилгексанола с функциональными группами модельных соединений составляет 21,7-28,6 кДж/моль, для бутилового эфира-2-этилгексановой кислоты -13,9-20,2 кДж/моль, а для алкилзамещенных триоксанов и алкилзамещенных 1,3-диоксанов в пределах -11,3-16,9 кДж/моль (табл. 1.).

Результаты моделирования были сопоставлены с результатами флотации угля различными химическими соединениями для которых были рассчитаны энергии водородных связей в межмолекулярных комплексах «реагент- модельные соединения ОМУ». При этом, в большинстве комплексов энергия водородных связей «реагент-ОМУ» выше соответствующих энергий межмолекулярных комплексов «вода-ОМУ» на 6,5-12,3 кДж/моль.

Уменьшение Н-связи в образующихся межмолекулярных комплексах бутилового эфира- 2-этилгексановой кислоты с модельными соединениями ОМУ, а также других химических соединений, содержащихся в реагенте РНХ-3010, по сравнению с 2-этилгексанолом обуславливает снижение их флотационной активности при флотации угля. Наиболее высокий выход концентрата установлено при флотации угля с использованием 2-этилгексанола (90%), наименьший – при использовании бутилового эфира 2-этилгексановой кислоты. (86,5%).

Подобные закономерности влияния электронной структуры молекул химических соединений на энергию водородных связей межмолекулярных комплексов «ОМУ-реагент» установлены для циклических соединений.

Таблица 1 – Энергия водородной связи при взаимодействии химических соединений, входящих в состав РНХ-3010, с модельными соединениями ОМУ

Химическое соединение	Энергия водородной связи (кДж/моль) межмолекулярных комплексов образованных химическими соединениями при взаимодействии с модельными соединениями ОМУ					
	фенол	бензотриол	бензальдегид	бензойная кислота	хинон	пиридин
2-этилгексанол	28,6	21,7	25,8	27,2	11,4	9,5
Бутиловый эфир-2-этилгексановой кислоты	19,6	13,9	-	20,2		
1,1дибутоксид-бутан	15,2	9,3	-	21,7		
2,4,6-трипропил-1,3,5-триоксан	16,9	-	-	11,3		
2,4-дипропил-5-этил-1,3-диоксан	15,6	14,5	-	14,1		

В качестве простейших представителей были выбраны 2-метил-1,3-диоксан и 2-метил-1,3-диокса-2-силациклогексан. Для этих соединений было рассчитано распределение электронной плотности, построены карты МЭСП молекул (рис.2), а также рассчитаны энергии водородных связей межмолекулярных комплексов. Наличие атома кремния вместо атома углерода во втором положении молекулы обуславливает различие в структуре и свойствах 2-метил-1,3-диокса-2-силациклогексана (2-метил-1,3-ДСЦ) по сравнению с 2-метил-1,3-диоксаном (2-метил-1,3-Д). Электронная плотность на атоме кремния в 2-метил-1,3-ДСЦ составляет +0,821. Значение электронной плотности на атоме углерода во втором положении молекулы 2-метил-1,3-Д составляет +0,203. Высокая электронная плотность на атоме кремния в молекуле 2-метил-1,3-ДСЦ приводит к повышению электронной плотности на атомах кислорода с -0,279 в молекуле 2-метил-1,3-Д до -0,424

и -0,432 в молекуле 2-метил-1,3-ДСЦ, соответственно, в 1 и 3 положениях. Повышенная электронная плотность на кислородных атомах 2-метил-1,3-ДСЦ по сравнению с 2-метил-1,3-Д обеспечивает повышенную адсорбцию на активных центрах угольной поверхности за счет специфических сил межмолекулярного взаимодействия [5].

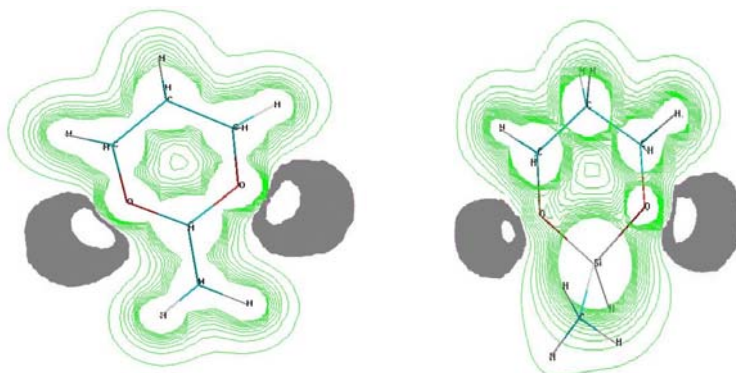


Рис. 2. Карты МЭСП молекул 1,3-диоксацикланов и их кремниевых аналогов 2-метил-1,3-диоксан 2-метил-1,3-диокса-2-силациклопексан

Для подтверждения обоснованности использования величин энергии водородной связи, в качестве параметра флотационной активности, были проведены расчеты квантово-химических параметров диоксациклоалканов и их кремниевых аналогов с последующей оценкой их флотационной активности при флотации углей. В качестве модельных соединений ОМУ рассмотрены фенол, бензойная кислота. Энергия водородной связи в межмолекулярных комплексах «Вода – ОМУ» изменяется в пределах 5,66-16,34 кДж/моль. В межмолекулярных комплексах «2-метил-1,3-Д – Фенол» и «2-метил-1,3-Д – Бензойная кислота» энергия водородной связи с соответствующими функциональными группами составляют 16,55 и 9,66 кДж/моль, соответственно. В межмолекулярных комплексах 2-метил-1,3-ДСЦ с вышеуказанными модельными соединениями ОМУ энергия водородной связи значительно выше энергии соответствующих комплексов функциональных групп с 2-метил-1,3-Д и составляют 25,94 и 18,44 кДж/моль, соответственно. Столь существенная разница говорит о том, что 2-метил-1,3-ДСЦ должен обладать большей, чем 2-метил-1,3-Д, конкурентоспособностью, а, следовательно, и большей флотационной активностью. Экспериментальные данные подтвердили, что 2-метил-1,3-ДСЦ обладает большей флотационной активностью. При почти одинаковом расходе реагентов выход концентрата при использовании в качестве реагента 2-метил-1,3-ДСЦ выше, чем при использовании 2-метил-1,3-Д на 4,7% и составляет 84,1% и 79,4%, соответственно.

Результаты исследования полученные при флотации углей показывают, что чем выше энергия водородной связи комплекса «реагент – ОМУ» энергии в межмолекулярном комплексе «вода – ОМУ», тем прочнее реагент закрепляется на активных центрах поверхности угля, что обеспечивает повышенные показатели флотации. Таким образом, исследованиями установлено, что одним из параметров оценки флотационной активности реагентов может служить величина энергии водородной связи межмолекулярных комплексов химических соединений с активными центрами угольной поверхности. Результаты исследования позволяют рекомендовать технические продукты нефтехимии, содержащие в групповом химическом составе кремнийорганические соединения, в качестве реагентов для флотации углей на углеобогачительных фабриках, поставляющих концентраты на коксохимические предприятия.

Литература

1. Гюльмалиев А.М., Головин Г.С., Гладун Т.Г., Скопенко С.М. Обобщенная модель структуры органической массы углей // Химия твердого топлива. 1994. №4-5. С. 14-27.
2. Петухов В.Н. Основы теории и практика применения флотационных реагентов при обогащении углей для коксования. Монография. Магнитогорск: изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им.Г.И.Носова, 2016. 424с. ISBN 978-5-9967- 0795-9.
3. Петухов В.Н., Свечникова Н.Ю., Юнаш А.А., Саблин А.В. Разработка нового реагентного режима флотации углей на основе результатов изучения термодинамических параметров адсорбции углеводородов на угольной поверхности // Кокс и химия. 2007. №9. С.6-9.
4. Петухов В.Н., Кубак Д.А. Использование величины энергии водородной связи межмолекулярных комплексов химических соединений с активными центрами угольной поверхности для обоснования их флотационной активности // Кокс и химия. – 2014 г. – №7. – с.50-56.
5. Гальченко Е.П., Петухов В.Н., Мусавилов Р.С. и др. Некоторые возможные области применения кремниевых аналогов циклических ацеталей // Журнал прикладной химии. 1990. № 11. С.2527-2532.

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ И ХИМИЧЕСКИХ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА НА МЕТОДЫ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИЗ БУРЫХ УГЛЕЙ

Кузьминых В.М., Сорокин А.П.

Амурский научный центр Дальневосточного отделения РАН

Образование и развитие угленосных бассейнов происходит одновременно с преобразованием окружающих горных систем и поэтому состав микропримесей в углях соответствует минеральному составу

рудных месторождений и вмещающих их горных пород. Угленосные отложения, расположенные в золотоносных провинциях по определению должны накапливать золото на протяжении всего геологического периода существования. Золото в виде макро-, микро-, наночастиц, а также в виде ионов и коллоидов из угля не выносится, но все время преобразуется под воздействием химических реакций, самопроизвольно происходящих в массе угля в процессе метаморфизма [1-4]. При этом образуются некоторые промежуточные неустойчивые соединения, которые в конечном итоге переходят в устойчивые формы. К ним можно отнести и обнаруженную нами летучую форму золота в виде золотоорганического соединения. Летучесть этого соединения приводит к непрерывной потере золота после вскрытия пласта угля из забоя и его дальнейшего хранения не за счет химических преобразований золота, а за счет физического явления выветривания его соединений.

Мы полагаем, что именно с этим связаны трудности разработки стандартной методики определения содержания золота в углях, которая позволяла бы получать стабильные результаты, независимо от используемого прибора, метода анализа, промышленной марки угля. Летучесть золота не позволяет также изготовить стандартные аналитические образцы на золото в углях. Длительное время содержание золота и других благородных металлов в углях определялось по методикам, выполнение которых приводило к потерям золота при подготовке пробы (тонкое истирание материала, нагрев или обжиг и др.) и при выполнении самого анализа (например, при озолении или использовании сорбирующих материалов). Сведения о содержании золота в одних и тех же образцах углей значительно отличались в разных лабораториях, хотя практически все лаборатории использовали спектральные методы анализа [5,6,15-17], которые характеризуются повышенной точностью. Отсутствие стабильности в определении содержания золота в углях в значительной степени снижало интерес к теме золотоносности в угленосных структурах. Однако, эта тема постоянно присутствовала в публикациях, как зарубежных, так и отечественных авторов [8-14].

В Амурском научном центре ДВО РАН уже на протяжении более 15 лет проводятся комплексные исследования проблемы золотоносности углей – палеогеографические построения, изучение литологии, минералогии и химического состава. Был разработан инновационный способ определения содержания золота в угле с использованием операций пробирного анализа [7]. Этим способом были опробованы бурые угли месторождений Сибири, Амурской области и Приморья. Всего было проведено более 4000 определений содержания золота. Исследования показали, что бурые угли золотоносных провинций стабильно содержат повышенные, по сравнению с другими осадочными породами, содержания

золота. Содержания золота могут достигать различные значений от следов до 5 г/т. При большом количестве выполненных анализов установлено наличие в углях ураганных содержаний золота до 10-20 г/т. Однако среднее содержание золота находится в пределах 0,5-1,5 г/т [14].

Анализ углей на золото периодически через некоторые промежутки времени показал, что угли теряют золото непрерывно сразу после извлечения из забоя. Другим важным свойством летучего соединения золота является его высокая устойчивость при нагревании. Это доказывается тем фактом, что в топке экспериментальной печи при сжигании угля летучее золото вместе с горячими дымовыми газами проходит все дымоходы и частично выходит через трубу в атмосферу. В промышленных установках легкая зола и угольные газы подвергают орошению водой на пути движения дыма. Частично летучее золото улавливается орошающей жидкостью и вместе с золой и шлаком по трубопроводу выносятся в золоотвал и обнаруживается уже в воде отвала. Это демонстрирует еще одно важное свойство летучего соединения золота – хорошую растворимость в воде. Это свойство является причиной ощутимых потерь содержания золота при контакте углей с потоками воды.

В связи с выявленной золотоносностью бурых углей в АмурНЦ ДВО РАН начаты экспериментальные исследования по разработке технологий извлечения золота и других металлов из углей. Внимательно изучив свойства летучего соединения золота, был сделан вывод о том, что эти свойства могут быть использованы для разработки новых подходов к технологии извлечения золота из углей. Результаты опытов, проведенных с большим количеством проб углей, позволили косвенно оценить количество летучего золота, которое может быть вытеснено из пробы угля. Летучесть золота изучена в опытах при нагревании навески дробленого угля до 60-70⁰С в металлическом цилиндре в течение времени от 3 до 5 суток. Для улавливания соединений золота над цилиндром помещали сетку со слоем активированного угля, имеющим гораздо более высокую сорбционную способность, чем испытуемый природный уголь. В испытуемом угле заранее определяли исходное содержание золота. После опыта определяли количество золота в активированном угле. Поскольку в опыте система открыта, полного улавливания не происходило. В среднем улавливание золота составило 20-25% от исходного, хотя в буром угле после опытов оставались следы золота.

Более совершенная установка была изготовлена для вытеснения летучего золота из бурого угля паром. Цилиндр с навеской дробленого угля закрывался крышкой с патрубком. Пар, подавался при испарении воды, находящейся под сеткой, на которой размещалась навеска угля. Пар проходил через уголь и удалялся с помощью системы трубок в улавливающую колбу, в которую была залита чистая вода. Температура

в термостате, где располагался цилиндр, была 135–140⁰С. Продолжительность опыта 45 минут. Анализ воды в сборной колбе позволил рассчитать количество золота, перемещенного паром в сборную колбу. В среднем количество золота, попавшего в воду, составляло 35 – 45% от исходного, хотя в оставшейся навеске угля обнаружены только следы золота. Сделано допущение, что потери золота были связаны с отсутствием герметичности системы в опытах. Однако, опыты показали справедливость предположений о существовании летучих соединений золота и возможности улавливания значительной части золота, существующего в углях в форме летучих золотоорганических соединений. Поэтому продолжались поиски более совершенных способов наиболее полного вытеснения летучей формы золота из углей.

Поскольку для улавливания летучей формы золота из угля требуется контакт с водой, то сделано предположение, что наиболее благоприятные условия для полного поглощения летучего золота водой имеют место при мокром измельчении угля. При этом высвобождающееся из угля газообразное летучее комплексное соединение золота мгновенно поглощается водой и далее может быть извлечено из раствора сорбцией. Проведенные опыты по измельчению угля с водой в лабораторной мельнице, последующей фильтрацией угольной пульпы и анализ кека и раствора моделируют в лабораторных масштабах возможный вариант промышленного воплощения идеи извлечения золота непосредственно из угля. Применение в экспериментах мокрого измельчения угля и технологических инноваций позволили достичь извлечения золота до 70% в чистый водный раствор.

Исходя из сказанного, очевидно, что при решении задачи наиболее полного извлечения золота из углей, необходимо, прежде всего, обратить внимание на возможные потери металла на всем пути угля от добычи из забоя и до транспортировки золы и шлака после сжигания угля в отвал. Частичная потеря летучего золота происходит в процессе доставки угля из забоя до бункеров ТЭЦ или ГРЭС, при каждой операции по подготовке угля к сжиганию в топках, при движении горячих газов в топках котельных по дымоходам к трубе, при орошении дыма водой в скрубберах. В значительной степени потери обусловлены также хорошей растворимостью летучего золота в воде. Причем замечено, что при хранении угля в буртах золото вымывается водой значительно быстрее, чем выветривается воздухом.

Вода в общем балансе потерь летучего и легко растворимого золота играет ключевую роль. Так, например, пласты угля перед их обработкой ротором насыщают водой под давлением до 30 атмосфер через шпуров диаметром от 50 до 150 мм, пробуренные на глубину до 1.5 м. Вода проникает в пласт через микротрещины в угле и частично растворяет

летучее золото в угле и затем стекает в шахтный дренаж. Таким образом, в котельный цех уголь попадает уже значительно потерявшим часть золота по сравнению с исходным состоянием. В связи с изложенными затруднениями сохранения исходного содержания золота, необходимо разрабатывать мероприятия по обработке дренажных вод в шахтах сорбцией из них растворенного золота. Это также касается дренажных вод, протекающих через бурты угля на складах или в бункерах, если уголь промывается дождевой водой.

Проведенные исследования позволили авторам предложить модель создания комплекса по извлечению золота в работающих ТЭЦ и ГРЭС. Извлечение летучего золота можно осуществить путем пристройки к постоянно действующему отделению сухого измельчения угля стержневой мельницы для мокрого измельчения и далее фильтрования угольной пульпы на непрерывном барабанном вакуумном фильтре с получением угольного кека и фильтрата. Стадия мокрого измельчения с фильтром подключается в те промежутки времени, когда по конвейеру поступает партия угля, с заранее определенным высоким содержанием золота. При этом угольный кек подсушивается на фильтре и направляется далее потоком воздуха к пылеугольным топкам. Фильтрат стекает в накопитель и направляется на сорбцию золота простыми, дешевыми сорбентами. Извлечение на сорбент может достигать до 70%. Однако, необходимо использовать некоторые инновационные подходы, в процессе собственно измельчения и подработки угольной пульпы, способствующих достижению стабильных высоких показателей извлечения золота. Обработка фильтрата сорбентом производится в нейтральной среде пропусканием через колонки, после чего фильтрат возвращается в мельницу для мокрого измельчения угля. Крупность измельчения углей определяется индивидуально для каждого сорта угля и принимается в среднем равным 0,3 мм.

Литература

1. Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Кошечева И.Я., Баранова Н.Н., Козеренко С.В. Галузинская А.Х., Сафронова Н.С., Банных Л.Н. О концентрировании благородных металлов углеродистым веществом пород // Геохимия, 1994. № 6. С. 814–824.
2. Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Чхетия Д.Н., Холин Ю.В., Тютюнник О.А., Кошечева И.Я., Корочанцев А.В. Сорбция на гуминовых кислотах, как основа механизма первичного накопления золота и элементов группы платины в черных сланцах. // Литология и полезные ископаемые, 2000. №6. С. 605–12.
3. Кетрис М.П., Юдович Я.Э. Неорганическая геохимия углей // Аналитическая библиография, (1800–2006), Госпринт, Сыктывкар, 2008.

4. Кизельштейн Л.Я., Перетячко А.Г., Гофен Г.И. Палеогеографические закономерности распределения элементов – примесей в угольных пластах // Литология и полезные ископаемые, 1988, №3. С. 129–134.
5. Маркова Н.В., Сумакова Н.С., Пугачева Т.В. Тр. ЦНИГРИ, М., 1981, вып. 157. С. 73.
6. Миллер А.Д., Фишер Э.И. Метод количественного определения золота в осадочных и магматических породах без применения царской водки. В кн.: Геохимические и аналитические методы изучения вещественного состава осадочных пород и руд. Ч. 2, М., 1974, 152 с.
7. Пат. 2245931 Российская Федерация, МПК⁷ С 22 В 11/02, G 01 N 33/00. Способ определения содержания золота в золотосодержащем сырье / Кузминых В.М., Чурсина Л.А.; заявитель и патентообладатель АмурНЦ ДВО РАН. – № 2003129410/02, заявл. 01.10.03; опубл. 10.02.05, Бюл. № 4. – 4 с.: табл.
8. Середин В.В., Поваренных М. Ю. Первая находка минералов платины в углях // ДАН, 1995, т. 34, №6, с. 801–803.
9. Середин В.В. Новые данные о металлоносности угленосных впадин // Новые идеи в науках о Земле: 3-я Междунар. конф. (Москва, 1997). Тез. Докл. Т. 1, М., с. 244.
10. Середин В.В. Золото и платиноиды в германий-угольных месторождениях Приморья: формы нахождения, условия накопления, перспективы освоения // Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов: материалы Всерос. Симп. М., Связь-Принт, 2002, с. 374–379.
11. Середин В.В. Распределение и условия формирования благородно-металльного оруденения в угленосных впадинах // Геология рудных месторождений, 2007, т. 49, №1, с. 3–36.
12. Слободской Р.М. Элементоорганические соединения и эндогенное рудообразование // Советская геология, 1978. №3. С. 54–65.
13. Сорокин А.П., Чантурия В.Н., Рождествина В.И., Кузминых В.М., Жмодик С.М. Нетрадиционные типы благороднометалльного, редкометалльного и редкоземельного оруденения в угленосных бассейнах Дальнего Востока // ДАН, 2012. Т. 446. №6. С. 672–676.
14. Сорокин А.П., Рождествина В.И., Кузминых В.М., Жмодик С.М., Аношин Г.Н., Митькин В.Н. Закономерности формирования благородно- и редкометалльного оруденения в кайнозойских угленосных отложениях юга Дальнего Востока // Геология и геофизика, 2013. № 7. С. 876–893.
15. Фалькова О.Б., Шварцман С.И. Методика полуколичественного химико-спектрального определения золота в минеральном сырье // М.: ЦНИГРИ, 1973.
16. Шварцман С.И., Фалькова О.Б. Прикладная спектроскопия, 1975, т.22, №1, с.35.
17. Шварцман С.И., Фалькова О.Б., Курский А.Н., Попова И.Е. Журнал Анал. Химии, 1984, вып. 7. С. 1213–1216.

ГИДРОФЛОТ – НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ПОВЫШЕННОЙ КРУПНОСТИ

Комогорцев Б.В, Вареничев А.А.

Всероссийский институт научной и технической информации РАН

Стандартные флотомашинны обычно извлекают минеральные частицы с верхним пределом крупности 150-200 мкм. Чтобы преодолеть эти ограничения была разработана флотационная установка нового типа – гидрофлот сепаратор, которая предназначена для извлечения крупных минеральных частиц, содержащих небольшие количества гидрофобных минералов. Конструкция установки основана на использовании азрированного взвешенного слоя. Согласно упрощенной схемы, сепаратор состоит из циркуляционной цилиндрической емкости, разделенной на верхнее свободное отделение, куда поступает обесшламленная пульпа, среднего отделения, где создается взвешенный слой минеральных частиц и происходит контактирование минеральных частиц с тонкодисперсными пузырьками в присутствии собирателя и пенообразователя. В результате крупные гидрофобизированные частицы из взвешенного слоя разгружаются в верхний приемный желоб; гидрофильные частицы проходят через взвешенный слой и аккумулируются в нижнем обезвоживающем конусе.

За последние 10 лет эта технология была успешно была испытана на различном минеральном сырье: уголь, калий, фосфаты.

Последние исследования проводились в схемах флотационного обогащения цветных металлов, которые показали, что гидрофлот с успехом может применяться для извлечения крупных сульфидных сростков, а основная масса пустой породы, представленная тоже крупными частицами, сразу удаляется в отвал. Такая техническая возможность предопределяет снижения расходов в цикле измельчения (особенно прочного) минерального сырья, каким обычно являются кварцевые и силикатные руды.

Эффективность работы сепаратора гидрофлот рассмотрена на флотационном исходном питании, представленным песками первичного классифицирующего гидроциклона. Согласно результатам проведенного ситового анализа крупность исходного продукта была более чем 94% +212 мкм. Выделенные классы крупности обогащались на лабораторной установке гидрофлота диаметром 15 см и в сопоставлении с лабораторной механической флотокамерой Денвер. В обоих случаях исходный продукт контактировался с собирателем Aerophine 3416 (30 г/т) и пенообразователем – гликолиевым эфиром (7 ppm.). Полученные concentra-

ты анализировались на общее содержание серы. Результаты анализа показали очевидное преимущество гидрофлота перед обычной флотационной камерой. Для каждого класса крупности выход концентрата для гидрофлота был выше, чем для обычной флотокамеры, при этом общий выход флотоконцентрата для сепаратора составил 21,6% против 4,6%. Это указывает, что больше промпродуктовых частиц флотировалось в гидрофлоте, что подтверждается соответствующим уменьшением содержания серы в концентрате. Химический анализ на содержание серы в продуктах обогащения подтвердил этот вывод: соотношение содержания серы в стандартных флотоконцентратах было от 2,1 до 8,1 раза выше; при наиболее высокой разнице для фракций 850x500 мкм и 500x212 мкм. Наименьшие содержания серы в крупных фракциях указывают на выраженную способность гидрофлота обогащать низкокачественные промпродукты, содержащие небольшие количества флотированного материала. В целом общее извлечение для стандартной флотомашин и сепаратора гидрофлот составило 42,9% и 68,1%, соответственно. Эти различия возрастали до 111% для фракции крупностью 850x500 мкм и подскакивали до 1500% для самой крупной фракции 1000x800 мкм [1].

Вышеприведенные результаты исследования с полной очевидностью показали на техническую возможность снижения расходов в цикле первичного измельчения. В связи с этим на порфировой сульфидной руды проводились модельные исследования по оценке снижения расходов и повышения производительности в первичном цикле измельчения. Следует отметить, что применение гидрофлота в первичном цикле измельчения позволяет рассматривать его как аппарат, используемый для предварительного обогащения бедного минерального сырья. Модельные технологические исследования проводились в производственных условиях в течение нескольких лет. Упрощенная схема испытаний включала первичную мельницу измельчения, два первичных классифицирующих гидроциклона, ряды основной и контрольной флотаций, перемешивающую колонную флотомашину и мельницу доизмельчения промпродуктов.

В условиях применения сепаратора гидрофлот, установка классифицирующих гидроциклонов была модифицирована так, что в первичном цикле измельчения гидроциклоны выдавали на измельчение более крупный продукт (т.е. D80 возрастал с 200 до 300 мкм). Такая компоновка оборудования позволяла обратно направлять пески в первичную мельницу, а слив – во вторичные классифицирующие гидроциклоны. Гидроциклоны в цикле доизмельчения песков производят тонкий слив (минус 200 мкм), который в достаточной мере раскрыт и поступает в цикл стандартной колонной флотации, а пески (номинальная крупность

200x300 мкм) отправляются в цикл гидрофлота. Слив сепаратора, выступая в роли контрольного продукта флотации, рециркулируется обратно в первичную мельницу измельчения. Песковый продукт гидрофлота представлен полностью свободными зернами пустой породы и является отвальными хвостами обогащения.

Для получения сравнительных характеристик эксплуатации гидрофлота с привлечением популярных балансовых моделей, использовали рудные характеристики типичной медной порфировой руды с содержанием Си в руде 0,58% при крупности питания порядка D80 1,2 мм. Данные для модельных исследований были получены из интенсивных лабораторных и полупромышленных работ. Результаты поведенных исследований и соответствующих расчетов показали, что использование гидрофлота позволяет повысить степень раскрытия полезного компонента с 71% почти до 75%, при этом циркулирующая нагрузка снижалась с 300% до 190%. Эти изменения были реализованы при поддержании общих хвостов на уровне 0,08% Си, которое весьма близко к значению 0,07%, полученному в первоначальном цикле; в таком же соотношении находятся показатели общего извлечения меди: 87,5% против 88% при одинаковом качестве концентрата 11% Си.

Полученные результаты ясно показали, что нагрузка на мельницу по исходному питанию может быть увеличена на 25% без установки дополнительного измельчающего оборудования. Согласно закону измельчаемости Бонда, увеличение граничного зерна измельчения D80 с 150 до 300 мкм может потенциально увеличить производительность мельницы по готовому классу более чем на 50%. Необходимо заметить, что установка сепаратора гидрофлот в цикл измельчения, снизила содержание шламов во флотационном цикле как результат повышения крупности измельчения и мультистадийной классификации [2].

Представляет практический интерес применение гидрофлот сепаратора для десульфуризации крупных фракций гемо-ильменитовой руды. Промышленная технология обогащения руды включает измельчение руды до крупности -1180 мкм. Измельченная руда содержит 0,32 серы, большая часть которой удаляется в процессе обжига в специальных вращающихся печах. Для того чтобы исключить попадание загрязняющих примесей (SO₂) в атмосферу, испытывали в качестве альтернативы технологию флотации.

Лабораторные и полупромышленные опыты показали, что традиционная флотационная камера Денвер может удалять серу из материала крупностью 0-300 мкм. Как и в выше приведенных исследованиях модель гидрофлота диаметром 6 дюймов эффективно извлекает крупные частицы в интервале 300-1180 мкм [3].

Литература

1. Mankosa M.J., Kohmuech J.N., Luttrell G.H., Herbst J.A. and Noble A. Split-feed circuit design for primary sulfide recovery. 28 International Mineral Processing Congress (IMPC), Quebec, Canada, sept. 11-15, 2016.
2. Miller J.D., Lin C.L., Wang Y., Mankosa M.J., Kohmuench J.N., Luttrell G.H. Significance of exposed grain surface area in coarse particle flotation of low-grade gold ore with the Hidrofloat technology. 28 International Mineral Processing Congress (IMPC), Quebec, Canada, sept. 11-15, 2016.
3. Huang L., Gagnon C., Chen D., Nadeau P., Zhang Y. Desulfurization of coarse hemo-ilmenite ore. 28 International Mineral Processing Congress (IMPC), Quebec, Canada, sept. 11-15, 2016.

ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ САПОНИТСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

**Миненко В.Г.¹, Макаров Д.В.², Самусев А.Л.¹,
Селиванова Е.А.³, Денисова Ю.Л.²**

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

² *Институт проблем промышленной экологии Севера
Кольского НЦ РАН,*

³ *Геологический институт Кольского НЦ РАН*

Для осветления техногенных вод обогатительной фабрики (ОФ) №1 ПАО «Севералмаз» и извлечения сапонитсодержащего продукта в ИПКОН РАН был разработан и апробирован безреагентный метод – электрохимическая сепарация. В нем реализованы процессы электрофоретического извлечения тонкодисперсной суспензии на аноде и осмотического выделения воды на катоде [1, 2]. Получаемый сгущенный сапонитсодержащий продукт характеризуется содержанием твердой фазы до 600 г/дм³. На основе исследований минерального состава твердой фазы из концентрата установлено повышение содержания минералов группы смектита с 68 до 74.5 %, при снижении содержания кварца и доломита на 4% по сравнению с твердой фазой, отфильтрованной из исходной техногенной воды.

Сапонит является ценным товарным продуктом с широким спектром применения в различных отраслях, модифицированием свойств которого и расширением областей использования уделяется большое внимание исследователей [3].

Известно, что различные слоистые гидросиликаты и материалы на их основе находят применение в качестве сорбентов тяжелых металлов, радиоактивных элементов, нефтепродуктов и т.д. В этой связи пред-

ставляло интерес исследование сорбционных свойств продукта, полученного методом электрохимической сепарации техногенных шламосодержащих вод (в дальнейшем продукта). Кроме того, известно, что сапонит, который в данном продукте является электрохимически модифицированным, обладает более выраженными сорбционными характеристиками по сравнению с природным материалом.

На первом этапе работы исследовали сорбцию никеля и меди. Опыты вели в статических условиях при температуре 20 °С. Использовали сульфатные растворы, содержащие от 50 до 1500 мг/л металлов. Количество продукта добавляемого к раствору варьировали от 1 до 40 г/л. Время взаимодействия составляло от 10 минут до 10 суток. Растворы периодически перемешивали и контролировали величину рН. В первые 3 часа контроль рН осуществляли с интервалом в 10 минут, затем 1 раз в сутки. По окончании опытов растворы отфильтровывали и определяли остаточную концентрацию металла методом атомно-абсорбционной спектроскопии. В ряде исследований было установлено, что термоактивация слоистых гидросиликатов с образованием промежуточных метастабильных фаз повышает сорбционные свойства минералов [4]. Поэтому наряду с исходным продуктом в экспериментах использовали продукт, обожженный в течение 2 часов при 700 и 750 °С. Исследование фазового состава продукта и новообразованных минералов выполнено методом рентгенофазового анализа. Изучение поверхности выполнено методом растровой электронной микроскопии и энергодисперсионной спектроскопии.

Величина рН раствора сульфата никеля при взаимодействии с необожженным продуктом в первые 10-20 минут несколько снижалась, что связано с пассивацией поверхности минералов. Затем рН резко повышалась и далее монотонно росла, оставаясь в слабощелочной области, отвечающей норме для природных водоемов. В случае взаимодействия обожженных продуктов величина рН раствора NiSO₄ резко повышалась в течение 10-20 минут, переходя в щелочную область в диапазоне 10-12. Очевидно, что обожженный продукт интенсивнее взаимодействует с раствором.

В результате термоактивации существенно возрастает сорбционная емкость продукта по ионам никеля: с 40 мг/г для исходного продукта до 78 и 189 мг/г для обожженных при 700 и 750 °С соответственно. На рис. 1 в качестве примера приведена кривая сорбционной емкости обожженного при 750 °С продукта при его содержании в растворе 10 г/л.

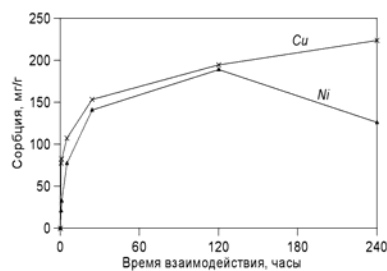


Рис. 1. Зависимость сорбционной емкости продукта по никелю и меди от времени взаимодействия

На рис. 2а продемонстрированы зависимости извлечения никеля от начальной концентрации раствора NiSO_4 при содержании продукта в растворе 5 г/л. Время взаимодействия составляло 3 часа. Термоактивация продукта при 750 °С обеспечивает очистку раствора до показателей ПДК для рыбохозяйственных водоемов при начальной концентрации растворов 50 и 250 мг/л.

РФА твердых продуктов показал, что сорбция никеля на необожженном сапоните может происходить по механизму катионного обмена с размещением катионов никеля между пакетами структуры минерала. Кроме того, фиксируется образование фазы со структурой шпинели, возможно, никельсодержащей.

Величина pH раствора сульфата меди при взаимодействии с продуктами резко повышалась в первые 10 минут при любом количестве внесенного продукта.

Сорбционная емкость продукта по ионам меди составила: 90 мг/г для исходного продукта, 144 и 224 мг/г для обожженных при 700 и 750 °С соответственно. На рис. 1 приведена кривая сорбционной емкости обожженного при 750 °С продукта при соотношении 10 г/л.

Зависимости извлечения меди от начальной концентрации раствора CuSO_4 при содержании продукта в растворе 5 г/л и времени взаимодействия 3 часа показаны на рис. 2б. Как видно, для всех продуктов извлечение равное 100% достигается при начальной концентрации раствора 50 мг/л. Термоактивация продукта при 750 °С обеспечивает очистку раствора до показателей ПДК для рыбохозяйственных водоемов при повышении начальной концентрации до 250 мг/л.

РФА РЭМ со съемкой энергодисперсионных спектров продуктов зафиксированы новообразованные медьсодержащие фазы – основные сульфаты.

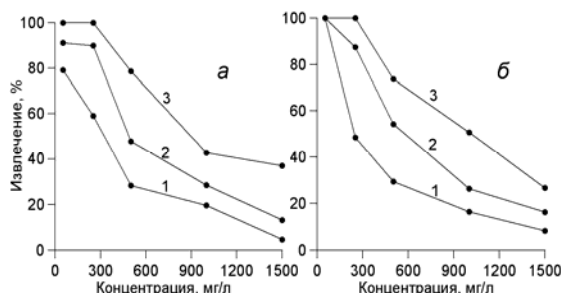


Рис. 2. Зависимости извлечения никеля (а) и меди (б) необожженным (кривая 1) и обожженными при 700 (2) и 750 °С (3) продуктами от начальной концентрации растворов

Таким образом, продукт, содержащий электрохимически модифицированный сапонит обладает высокой сорбционной емкостью по отношению к ионам никеля и меди, которая может быть дополнительно повышена путем обжига. В дальнейшем планируются исследование сорбции в динамических условиях с использованием гранулированного материала.

Литература

1. Миненко В.Г. Обоснование и разработка электрохимического метода извлечения сапонита из оборотных вод предприятий ОАО «Севералмаз» // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. №3. С.180-186.
2. Чантурия В.А., Миненко В.Г., Самусев А.Л., Тимофеев А.С., Островская Г.Х. Электрохимическая сепарация сапонитсодержащих вод предприятий ОАО «Севералмаз» // Обогащение руд. 2014. №1. С.49-52.
3. Chanturiya V., Minenko V., Suvorova O., Pletneva V., Makarov D. Electrochemical modification of saponite for manufacture of ceramic building materials // Applied Clay Science. 2017. V.135. P.199-205.
4. Макаров В.Н., Макаров Д.В., Васильева Т.Н., Кременецкая И.П. Взаимодействие природных серпентинов с разбавленными сульфатными растворами, содержащими ионы никеля // Журнал неорганической химии. 2005. Т.50. №9. С.1418-1429.

ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ АНОРТОЗИТОВ

¹Римкевич В.С., ^{1,2}Сорокин А.П., ¹Гиренко И.В., ¹Леонтьев М.А.

*Институт геологии и природопользования
Дальневосточного отделения РАН*

^{1,2} *Амурский научный центр Дальневосточного отделения РАН*

Практически неисчерпаемым алюмосиликатным природным сырьем для получения глинозема, алюминия и других полезных компонентов считаются широко распространенные мономинеральные плагиоклазовые породы – анортозиты. На территории Российской Федерации выделяют семь областей, в которых анортозиты распространены достаточно широко: Кольская, Прибалтийская, Южно-Уральская, Волго-Уральская, Анабарская, Алданская и Охотская [1]. Анортозиты широко распространены в США, Норвегии и Канаде, в которой они занимают площадь более 70 тыс. км².

На северо-западе Амурской области находится Каларский анортозитовый массив, который расположен в юго-западной части Алданского щита и входит в состав Олекмо-Становой минерагенической провин-

ции. Площадь массива около 3000 км², что ставит его в ряд крупнейших анортозитовых массивов мира. Общие прогнозные ресурсы анортозитов Каларского массива оцениваются в 34 млрд т с глубиной подсчета 30 м.

Существующие способы переработки анортозитов отличаются сложностью и многостадийностью процесса, большими энергетическими затратами, значительным расходом материальных ресурсов, и широко не применяются в промышленности Российской Федерации.

В настоящее время получило развитие фторидно-аммониевое обогащение алюмосиликатов и силикатов под действием гидрофторида (NH_4HF_2) и фторида (NH_4F) аммония, которые в нормальных условиях представляют собой экологически и технологически безопасные вещества [2, 3 и др.] и позволяют проводить экономически рентабельную глубокую переработку вышеуказанного сырья [4, 5 и др.].

Цель исследований – создание эффективной инновационной технологии обогащения анортозитов, при которой осуществляется их глубокая переработка с комплексным извлечением различных полезных компонентов.

Объектом исследования являлись анортозиты Каларского массива состава, мас. %: SiO_2 – 49.06; Al_2O_3 – 27.60; Fe_2O_3 – 3.06; TiO_2 – 0.56; MgO – 1.39; CaO – 11,34; п.п.п. – 2.23 и анортозиты Котозерского массива (Карелия) состава, мас. %: SiO_2 – 55.14, Al_2O_3 – 25.31, Fe_2O_3 – 0.21; TiO_2 – 0,06; MgO – 0.32; CaO – 14.15; Na_2O – 3.33; K_2O – 0.35; п.п.п. – 0.82.

Для переработки анортозитов применялся гидрофторид аммония марки ч. д. а. и аммиачная вода (NH_4OH) марки х.ч. Комплексное обогащение осуществляли на лабораторной установке, состоящей из блоков термической переработки, пирогидролитического гидролиза, выщелачивания, восстановления реагентов, кальцинации, которые обеспечивали практически безотходный технологический процесс.

Исходное сырье, промежуточные фазы и конечные продукты исследовались химическим, рентгенофазовым, спектральным и электронно-микроскопическими методами анализов, применяемыми в Аналитическом центре минералого-геохимических исследований ИГиП ДВО РАН.

Расчеты термодинамических параметров, констант скорости и энергии активации химических реакций осуществлялись с применением программ, разработанных нами на основе приложения Microsoft Access 2007.

Спекание анортозита с NH_4HF_2 осуществлялось при температурах 50-200 °С с выделением аммиака и воды и описывается реакциями основных компонентов 1–5 (табл.1). При температурах выше температуры плавления NH_4HF_2 (126.8 °С) взаимодействие происходит с максимальной скоростью, и при 200 °С за 3 ч достигается выделение аммиака более 98% от теоретически возможного. Выделяющиеся газообразные NH_3 и H_2O образуют аммиачную воду (реакция 10), которая поступает на стадии гидролиза (реакции 8, 9).

Таблица 1 – Расчетные значения изменений энергии Гиббса (ΔG, кДж)

Реакция	T, °C	25	100	200	300	400	500	600
1	$\text{SiO}_2 + 3\text{NH}_4\text{HF}_2 = (\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6 + 2\text{H}_2\text{O}\uparrow + \text{NH}_3\uparrow$							
	ΔG	-34,4	-69,3	-115,9	-162,5	-209,4	-255,6	-348,8
2	$\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{NH}_4\text{HF}_2 = 2(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 3\text{H}_2\text{O}\uparrow$							
	ΔG	-340,4	-339,1	-337,3	-335,5	-333,7	-331,9	-328,3
3	$\text{CaO} + \text{NH}_4\text{HF}_2 = \text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{O}\uparrow + \text{NH}_3\uparrow$							
	ΔG	-157,9	-180,2	-208,8	-239,4	-268,0	-298,7	-357,9
4	$\text{Na}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{HF}_2 = 2\text{NaF} + \text{H}_2\text{O}\uparrow + \text{NH}_3\uparrow$							
	ΔG	-309,7	-331,7	-360,1	-390,5	-419,9	-449,2	-508,0
5	$\text{K}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{HF}_2 = 2\text{KF} + \text{H}_2\text{O}\uparrow + \text{NH}_3\uparrow$							
	ΔG	-342,5	-247,4	-336,6	-425,8	-486,4	-486,4	-547,0
6	$\text{AlF}_3 + 3\text{NH}_4\text{HF}_2 = (\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 3\text{HF}$							
	ΔG	17,0	3,0	-16,0	-35,0	-54,0	-72,0	-91,0
7	$(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 = \text{AlF}_3 + 3\text{NH}_3\uparrow + 3\text{HF}\uparrow$							
	ΔG	268,4	187,0	78,5	-30,1	-138,6	-247,2	-464,3
8	$(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6 + 4\text{NH}_4\text{OH} = \text{SiO}_2\downarrow + 6\text{NH}_4\text{F} + 2\text{H}_2\text{O}$							
	ΔG	-48,7	-19,1	20,3	59,7	99,2	138,6	217,5
9	$(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 3\text{NH}_4\text{OH} = \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + 6\text{NH}_4\text{F}$							
	ΔG	-43,0	-71,1	-108,5	-145,9	-183,3	-220,7	-258,1
10	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4\text{OH}$							
	ΔG	-9,6	-3,4	4,9	13,2	21,5	29,8	38,1
11	$\text{NH}_3 + \text{HF} = \text{NH}_4\text{F}$							
	ΔG	-39,1	-23,3	-2,1	19,1	40,3	61,5	83,7
12	$2\text{NH}_4\text{F} = \text{NH}_4\text{HF}_2 + \text{NH}_3\uparrow$							
	ΔG	0,5	-12,0	-28,7	-45,4	-62,1	-78,8	-95,5

По данным рентгенофазового анализа, полученный порошкообразный спек состоит из смеси гексафтороалюмината ((NH₄)₃AlF₆) и гексафторосиликата ((NH₄)₂SiF₆) аммония, фторидов кальция (CaF₂) и натрия (NaF). При термической обработке полученного спека при температурах 350-550°C в восстановительных условиях осуществляется реакция 7 с образованием нелетучего остатка, который, по данным рентгенофазового анализа, состоит из фторидов алюминия, кальция и натрия.

В результате термической обработки при температурах выше 300°C происходит сублимация летучего (NH₄)SiF₆, что согласуется с выводами авторов [3, 5]. По экспериментальным данным температура 550°C является наиболее благоприятной для обескремнивания, и за 30 мин масса нелетучего остатка составляет более 98% от теоретически возможной.

Летучий (NH₄)₂SiF₆ улавливается, а пары NH₃ и HF, выделяющиеся в результате разложения фторидно-аммониевых солей, взаимодействуют между собой с образованием фторида аммония по реакции 11. При выпаривании водного раствора NH₄F образуется гидродифторид аммония по

реакции 12, который поступает в начало технологического процесса. По данным эмиссионного спектрального анализа, гексафторосиликат аммония имеет высокую химическую чистоту – содержание металлических примесей не превышает 10^{-4} – 10^{-5} мас. % (Al, Fe, Ca, Mg и другие).

Водный раствор гексафторосиликата аммония (3–33 мас. % $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$) взаимодействует с аммиачной водой (25 мас. % NH_3) при температурах 20–80 °С и pH = 8–9 по реакции 8. Образовавшийся гель выдерживается в течение 1 часа, и затем путем фильтрования отделяется от раствора NH_4F , который поступает на дальнейшую переработку (реакция 12). В результате происходит синтез нанодисперсного аморфного кремнезема высокой химической чистоты со средним размером наночастиц 17–89 нм. Извлеченный аморфный кремнезем по техническим характеристикам соответствует высококачественным сортам «белой сажи» и аэросила [6].

Образовавшийся после сублимации нелетучий остаток подвергают выщелачиванию водой с удалением растворимых фторидов натрия и калия. Полученный нерастворимый осадок, состоящий по данным рентгенофазового и химического анализов из AlF_3 и CaF_2 , спекается с NH_4HF_2 при температуре 180 °С в течение 3 часов с образованием гексафтороалюмината аммония по реакции 6; фторид кальция не подвергается термической обработке. После выщелачивания водой с удалением растворимого $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6$ образуется концентрат, состоящий из фторида кальция (флюорит).

Далее в водном растворе (0.5–3 мас. % $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6$) гексафтороалюминат аммония взаимодействует с аммиачной водой (25 мас. % NH_3) при температурах 20–80 °С до образования осадка гидроксида алюминия при pH=8–9 (реакция 9), который выдерживался при заданной температуре в течение 1 ч. Затем осадок путем фильтрования отделялся от раствора фторида аммония, который поступал на стадию регенерации NH_4HF_2 (реакция 12).

В результате прохождения процесса (реакция 9) происходило образование микрочастиц гидроксида алюминия с размерами фракций, по данным седиментационного анализа, от 1 до 10 мкм – 2–10%, от 10 до 50 мкм – 10–60%, микрочастицы крупнее 50 мкм – более 30% по массе. Затем гидроксид алюминия подвергался кальцинации при температурах 1100–1200 °С в течение 20–40 мин с получением кондиционного металлургического глинозема марок Г0 и Г1.

На рис. 1 приведена технологическая схема комплексной переработки анортозитов Котозерского массива, где в скобках обозначены химические реакции, вероятности прохождения которых подтверждены термодинамическими расчетами (табл. 1). Применяемые реагенты легко восстанавливаются с отсутствием твердых, жидких и газообразных отходов, что позволяет многократно использовать их в технологическом процессе (реакции 10–12) с замкнутым циклом оборотной воды.

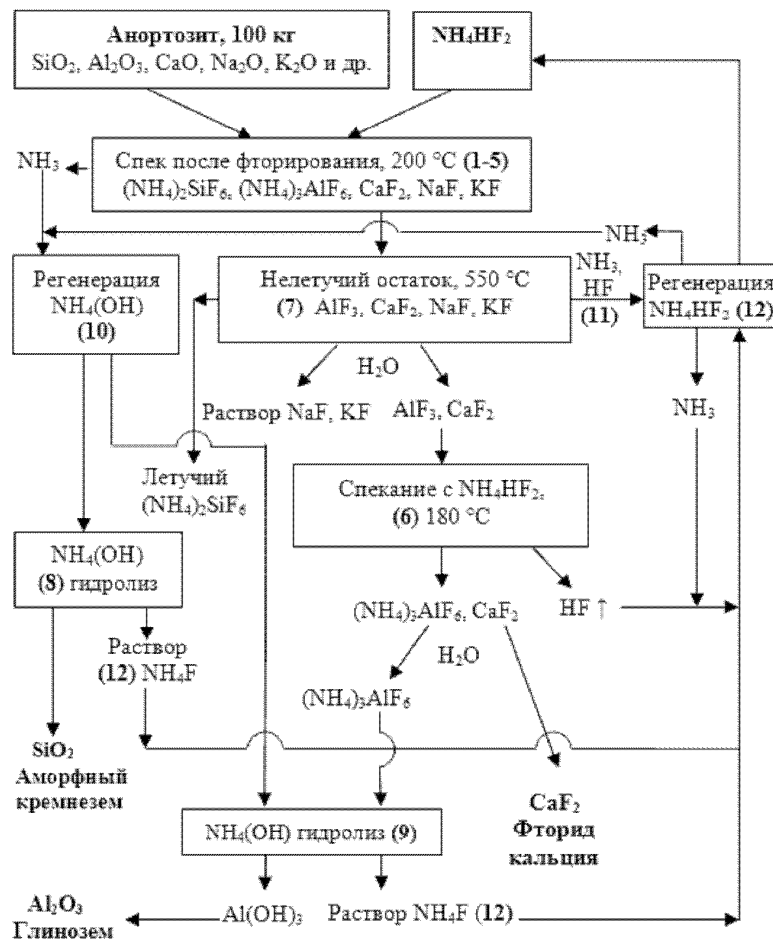


Рис. 1. Технологическая схема комплексной переработки анортозитов Котозерского массива

Приведенная схема показывает замкнутость материальных потоков, где теоретически можно регенерировать 94.66% гидроdifторида аммония и 95.13% аммиачной воды. При комплексной переработке анортозита теоретически образуется 55.14 кг аморфного кремнезема, 25.31 кг глинозема, 19.70 кг фторида кальция и другие полезные компоненты – гексафторосиликат аммония, фториды натрия и калия, которые используются в различных отраслях промышленности. Среднемировая стоимость (дол./кг) анортозита составляет 0.04, гидроdifторида аммония –

2.0 и аммиачной воды – 0.1, а инновационной продукции – аморфного кремнезема – 5.0, глинозема – 0.45, гексафторосиликата аммония – 4.0, фторида кальция – 2.8.

Таким образом, теоретическими и экспериментальными исследованиями процессов комплексной переработки анортозитов определены оптимальные условия получения аморфного кремнезема, глинозема, фторида кальция и других полезных компонентов. Разработана эффективная инновационная технология физико-химического обогащения этого минерального сырья.

Литература

1. Богатиков О.А. Анортозиты. – М.: Наука, 1979. 231 с.
2. Zhang W., Hu Z., Liu Y., Chen H., Gao S., Gaschnig R. M. Total rock dissolution using ammonium bifluoride (NH_4HF_2) in screw-top teflon vials: a new development in open-vessel digestion // Analytical Chemistry. 2012. Vol. 84, no 24. P. 10686-10693.
3. Римкевич В. С., Сорокин А. П., Гиренко И. В. Фторидная технология переработки кианитовых концентратов с комплексным извлечением полезных компонентов // ГИАБ. – 2014. – № 7. С. 137-147.
4. Khalil N. M., Agila R., Othman H. A., Ewais E. M. Improvement of the extraction efficiency of nanosized alumina from libyan clay // InterCeram: International Ceramic Review. 2009. Vol. 58, no 6. P. 388-393.
5. Римкевич В. С., Сорокин А. П., Чурушова О.В. Эффективная технология физико-химического обогащения техногенных угольных отходов предприятий теплоэнергетики // ФТПРПИ. 2016. № 4. С. 177-185.
6. Demyanova L. P., Rimkevich V. S., Buynovskiy A. S. Elaboration of nanometric amorphous silica from quartz-based minerals using the fluorination method // Journal of Fluorine Chemistry. 2011. Vol. 132, no 12. pp. 1067–1071.

ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ДРЕНИРОВАНИЕМ ОТХОДОВ ФЛОТАЦИИ УГЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЛОКУЛЯНТОВ

Лавриненко А.А., Гольберг Г.Ю., Лусинян О.Г., Агарков И.И.

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

Интенсификация процессов сгущения и обезвоживания минеральных суспензий с применением флокулянтов имеет существенное значение для обеспечения стабильности работы, качества продукции и экологической безопасности обогатительных фабрик (ОФ). В последние годы для ОФ с замкнутой водно-шламовой схемой, особенно в угольной промышленности, широкое распространение получила технология обез-

воживания тонкодисперсных шламов и продуктов флотации на ленточных фильтр-прессах.

Для обеспечения устойчивой работы этих фильтров необходимо применение флокулянтов. В практике углеобогащения, как правило, последовательно подают анионоактивный и катионоактивный флокулянты, причём их суммарный расход при обезвоживании отходов флотации углей составляет 300-700 г/т, а иногда и более. Это, в свою очередь, обуславливает необходимость совершенствования реагентного режима данного процесса. Основная задача заключается в том, чтобы выбрать наиболее эффективные марки флокулянтов, обеспечивающие максимальную возможную производительность фильтра по обезвоженной твёрдой фазе при минимальном возможном расходе, или же уменьшение расхода флокулянтов без снижения производительности фильтра. Эту задачу решают экспериментально, выбирая сочетание анионоактивного и катионоактивного флокулянтов. Наибольшее распространение получил метод капиллярного всасывания, основанный на определении скорости истечения свободной влаги по величине времени, в течение которого эта влага проходит определенное расстояние в пористой среде. В то же время указанный метод не позволяет получить данные для расчёта производительности фильтра по твёрдой фазе (Q). В настоящей работе применён подход, заключающийся в определении удельного объёмного сопротивления осадка (α_0), дающий возможность рассчитать ожидаемые значения Q в зависимости от скорости движения лент фильтра (v).

Цель работы: определение возможности снижения расхода флокулянтов на операции обезвоживания отходов флотации углей в условиях действующей ОФ без ухудшения показателей работы ленточных фильтр-прессов.

В настоящей работе исследования проводились с отходами флотации коксующихся углей, отобранными непосредственно на фабрике. Существующая технология предусматривает сгущение отходов в радиальном сгустителе до концентрации 300-500 кг/м³ и обезвоживание на ленточных фильтр-прессах с применением следующих флокулянтов:

- высокомолекулярного со средней анионной активностью А1;
- низкомолекулярного с высокой катионной активностью К1.

Расход каждого из названных флокулянтов на ОФ варьируют таким образом, чтобы обеспечить стабильную производительность ленточного фильтр-пресса порядка 15 т/ч. Имеющиеся сведения о режиме работы фильтров на ОФ дают основание полагать, что указанное значение производительности может быть достигнуто применением комбинации флокулянтов других марок при меньших значениях расходов.

Исследования проводились на продукте с содержанием твёрдой фазы 15 кг/м^3 . Гранулометрический состав твёрдой фазы был определён методом лазерной дифракции. Исследованный продукт является весьма тонкодисперсным: выход частиц крупностью менее 1 мкм составил около 10% , менее 5 мкм – примерно 50% . Зольность твёрдой фазы составила $72,5 \%$.

Были выполнены предварительные опыты с комбинациями различных флокулянтов: анионоактивных с молекулярной массой от $8 \cdot 10^6$ до $20 \cdot 10^6 \text{ кг/кмоль}$ и долей отрицательно заряженных групп от 20 до 80% ; катионоактивных с молекулярной массой от $0,5 \cdot 10^6$ до $10 \cdot 10^6 \text{ кг/кмоль}$, долей положительно заряженных групп от 20 до 100% . По результатам этих опытов была выбрана комбинация, включающая высокомолекулярный сильный анионоактивный А2 и средномолекулярный сильный катионоактивный К2.

Программа последующих экспериментальных исследований предусматривала выполнение трёх этапов:

- определение зависимости α_0 от суммарного расхода флокулянтов (d_{Σ}) при постоянном соотношении расходов анионоактивного и катионоактивного (А:К), равном $50:50$;
- определение зависимости α_0 от А:К при постоянном значении d_{Σ} ;
- расчёт ожидаемого значения производительности ленточного фильтр-пресса в зависимости от скорости движения лент в диапазоне, определяемом его технической характеристикой.

Для проведения опытов по обезвоживанию дренированием исходную суспензию сгущали до концентрации 225 кг/м^3 . Затем к пробе суспензии объёмом 50 см^3 добавляли последовательно растворы анионоактивного и катионоактивного флокулянтов с концентрацией $0,35 \%$, причём перемешивание с каждым из них осуществляли в течение 30 с . Суспензию, обработанную флокулянтами, заливали в воронку, экипированную фильтрующей сеткой, аналогичной применяемой на промышленном фильтре (площадь поверхности фильтрования – 20 см^2) и определяли кинетику истечения фильтрата. На основании полученных данных рассчитывали удельное объёмное сопротивление осадка (α_0). По данным опытов, зависимости α_0 от d_{Σ} и α_0 от А:К при прочих равных условиях имеют минимум. Было установлено, что значение α_0 , равное $6,0 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-2}$, достигается при следующих расходах флокулянтов: $475 \text{ г/т А1} + 475 \text{ г/т К1}$; $375 \text{ г/т А2} + 375 \text{ г/т К2}$. То есть в предлагаемой комбинации расход каждого из флокулянтов примерно на 25% ниже по сравнению с базовой. При этом механическая устойчивость полученных осадков, по данным опытов на лабораторной вибрационной установке, вполне удовлетворительна.

Значения экспериментальной постоянной a , необходимой для расчёта величины Q , определяли как тангенс угла наклона прямой, построенной в координатах $(1-P/P_0) - (t)^{0.5}$, где P и P_0 – соответственно текущее и начальное значения гидростатического давления; t – время. По данным опытов, значение коэффициента корреляции для указанной зависимости было не менее 0,8. Значения a и a_0 взаимосвязаны, причём коэффициент корреляции для обратной пропорциональной зависимости a от $1/a_0$ составлял не менее 0,9.

Расчёты производительности фильтра Q в зависимости от скорости движения лент v , варьируемой в пределах от 0,055 до 0,220 м/с, были выполнены для содержания твёрдой фазы в суспензии (C) 300 и 400 кг/м³. Было установлено, что при $C=300$ кг/м³ требуемая производительность 15 т/ч достигается при $v=0,16$ м/с, а при $C=400$ кг/м³ – $v=0,07$ м/с.

По данным предварительных экономических расчётов, в результате замены комбинации флокулянтов (А1+К1) на (А2+К2) возможно получение экономического эффекта порядка 6-8 млн руб. в год.

Таким образом, выполненные экспериментальные исследования показали, что предлагаемая комбинация флокулянтов А2 и К2 при прочих равных условиях обеспечивает требуемую производительность ленточных фильтр-прессов на операции обезвоживания отходов флотации углей, равную 15 т/ч, при расходе на 25 % меньшем по сравнению с базовой комбинацией А1 и К1, что даёт возможность получения экономического эффекта за счёт снижения затрат на флокулянты.

«ON–LINE» КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВХОДНОГО СЫРЬЯ НА ЖЕЗКАЗГАНСКИХ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ ТОО «КОРПОРАЦИЯ КАЗАХМЫС»

Абдрахманова З.Т., Шаханов А.М., Ефименко С.А.

ТОО «Корпорация Казахмыс», Караганда, Казахстан

Результаты исследований, обсуждаемых в этой работе, – это логическое продолжение исследований, достаточно подробно изложенных в работах [1, 2]. Поэтому исходная информация по: техническим характеристикам Жезказганских обогатительных фабрик № 1 и № 2 (ЖОФ–1, ЖОФ–2) Обогачительно–производственного комплекса Филиала ТОО «Корпорация Казахмыс» – ПО «Жезказганцветмет» (ОПК); вещественному составу руд, поступающих на переработку; производственной актуальности задачи исследований опущены.

Успешный опыт производственного применения рудоконтролирующей станции (РКС) РЛП–3–02 (ООО «Геотех», С–Пб, Россия) на тяжелом конвейере № 1А комплекса дробления КД–1 ЖОФ–1 (с вне-

дрением этой РКС был упразднен пункт опробования руды ОТК на конусной дробилке крупного дробления типа ККД 900/160), а также острая производственная необходимость в получении в «on-line» режиме достоверной информации о содержании меди и серебра в руде, поставляемой рудниками Горно-производственного комплекса Филиала ТОО «Корпорация Казахмыс» – ПО «Жезказганцветмет» (ГПК), привели к тому, что перед Управлением инструментальной системы аналитического контроля (УИСАК) Департамента контроля качества и инспектирования технологических процессов (ДКК и ИТП) была поставлена новая задача: распространить «on-line» контроль качества поступающих руд на три оставшихся тяжелых конвейера.

Производственная актуальность данной задачи: во-первых, охватить «on-line» контролем весь объем руды, поставляемой ГПК на ЖОФ-1 и ЖОФ-2; во-вторых, дать информацию, позволяющую аргументировано отстаивать интересы ГПК перед фабриками в случаях больших расхождений содержаний меди и серебра по данным РКС и слива гидроциклонов ЖОФ-1 и ЖОФ-2; в-третьих, обеспечить более достоверную систему распределения металлов (Ag, Cu), извлеченных ЖОФ-1 и ЖОФ-2 в медный концентрат, между поставщиками руды.

От РКС требовалось обеспечить высокую достоверность многоэлементного «on-line» контроля вещественного состава исходной руды на серебро (в первую очередь), медь, цинк, свинец, кадмий и железо на рудах класса крупности – 300 мм и низких (5 – 20 ppm) содержаниях серебра и кадмия. Нет положительных решений. И это при том, что мировой опыт успешной организации «on-line» контроля таких руд не только с использованием энергодисперсионных рентгенофлуоресцентных РКС, но и РКС, работающих на других физических методах, отсутствует.

РКС РЛП-3-02 с задачей эффективного «on-line» контроля руд по серебру и кадмию однозначно не справилась бы и было принято решение о привлечении ТОО «Аспап Гео» (Алма-Ата, Казахстан) – казахстанского лидера по производству ядерно-геофизической аппаратуры «on-line» контроля качества полиметаллических руд, с которым ТОО «Корпорация Казахмыс» плодотворно сотрудничает с 1994г. В очень сжатые сроки РКС были разработаны, изготовлены, поставлены и с октября 2016г. по январь 2017г. запущены в работу на КД-1 ЖОФ-1 и КД-2 ЖОФ-2 три РКС РЛП-21Т (рис. 1, 2). Так как все РКС установлены на тяжелых конвейерах до электромагнитов, то особое внимание было уделено защите РКС от ударов металла, находящегося в руде.



Рис. 1. РКС РЛП–21Т на конвейерах №1 (слева) и № 2 (справа) КД–2 ЖОФ–2. Общий вид РКС РЛП–21Т



РКС: РЛП–21Т справа, РЛП–3–02



РКС РЛП – 21Т

Рис. 2. РКС: РЛП–21Т на конвейере № 1А и РЛП–3–02 на конвейере № 1

Основными конструктивными элементами РКС РЛП–21Т являются: рентгеновская трубка – VF–50J/W/S; высоковольтный источник питания – uX50P50/XCC; полупроводниковый детектор – XR–100SDD X–Ray Detector; ультразвуковой датчик расстояния – MaxBotix MB7067; термо-электрический модуль – Laird Technologies AA–150–24–44–00–XX; майларовая пленка толщиной не более 20 мкм. РКС оборудованы многочисленными датчиками для самодиагностики. Информация обо всех параметрах РКС выдается как в виде подробного отчета, так и в виде краткого отчета. Вес РКС – 35 кг.

РКС РЛП–21Т выдает в виде отчета за смену инновационную информацию по конвейеру: сколько конвейер стоял (с рудой и без руды), сколько находился в движении (с рудой и без руды). Программное обеспечение предусматривает ведение электронного «Журнала событий на РКС», в котором фиксируются все события, включая все случаи ударов металла по РКС или по её защите [3]. На экран монитора РКС РЛП–21Т выдаются семь диаграмм: шесть по каждому из металлов и одна по загрузке конвейера рудой.

В методическом и программном обеспечении РКС РЛП–21Т реализован базовый принцип фирмы ТОО «Аспап Гео»: месторождения разные, исходная руда, продукты обогатительного передела разные – градуировка одна. Это позволило реализовать равнозначность измерений всех фракций крупности исходной руды.

Инновационный подход проявился и в том, что вторичные рентгеновские спектры измеряются каждую секунду. Это позволило контролировать небольшие порции руды (0,69г) и, следовательно, более точно определять средние содержания элементов по составам. Содержания серебра и кадмия выдаются по 40 спектрам, меди, цинка, свинца и железа – по 20 спектрам. АРМ «Весы» и АРМ РКС объединены в единое целое. Результаты «on-line» контроля качества руд сейчас доступны любому пользователю корпорационной сети.

Известно, что в материале конвейерной ленте содержится цинк. Когда конвейер движется или стоит без руды, то эти временные интервалы исключаются из обработки. В случае остановки конвейера с рудой измерения продолжают, но измерения на стоящем конвейере исключаются из расчета средних содержаний элементов по составу.

Разработана, апробирована в процессе стендовых исследований и широко используется оптимальная схема контроля за параметрами РКС, включающая: измерения амплитудного разрешения спектрометрического тракта по линии Zn K α , на пустом конвейере; энергетическую калибровку спектрометра на контрольном образце, содержащем железо и кадмий; измерение эталонной порошковой пробы руды в противне больших размеров, подвешиваемого под РКС.

Обсудим результаты комплекса исследований, выполненных как в процессе стендовых испытаний РКС, так и непосредственно на тяжелых конвейерах ЖОФ–1 и ЖОФ–2.

В РКС РЛП–21Т расстояние от РКС до руды на ленте конвейера определяется двумя способами: а) ультразвуковым датчиком расстояния (основной); б) по величине рассеянного излучения рентгеновской трубки от руды на конвейере. Сходимость результатов оценки расстояния обоими способами показана в таблице 1. Исследованиями доказано, что оба метода дают близкие результаты. Это подтверждает высокую эффективность используемого математического аппарата РКС.

Таблица 1 – Сходимость расстояний, определенных ультразвуковым датчиком (УЗВД) и по рассеянному излучению рентгеновской трубки (РИ)

Метод	Расстояние «датчик – проба», см								
	22	32	42	47	52	57	62	67	72
РИ	22,0	32,7	41,0	45,6	52,2	58,8	64,2	68,1	71,4

В таблице 2 приведены данные о динамике изменения содержания Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, Fe в одной из порошковых эталонных проб в зависимости от высоты подвески РКС. Измерения проведены на стадии стендовых испытаний. Проба насыпалась в железный противень большого размера, высота насыпки пробы в противне выдерживалась одинаковой по всей его площади. Противень с пробой мог перемещаться по вертикали с шагом 5 см. Исследованиями доказано, что работа РКС РЛП–21Т мало зависит от высоты зазора «датчик – поверхность пробы». Именно это обстоятельство считается главным камнем преткновения для большинства РКС, анализирующих крупно кусковую руду. Рабочая высота подвески РКС РЛП–21Т выбрана равной 72 см (до нижней точки прогиба ленты не загруженного рудой конвейера).

Таблица 2 – Динамика изменения содержания элементов в эталонных пробах в зависимости от высоты подвески РКС РЛП–21Т

Высота, см	Cu, %	Zn, %	Pb, %	Ag, ppm	Cd, ppm	Fe, %
22	0,778	0,613	0,556	10,96	24,38	6,30
27	0,778	0,608	0,547	10,28	22,72	6,20
32	0,763	0,623	0,556	9,71	22,06	6,07
37	0,788	0,620	0,561	12,18	24,23	5,97
42	0,791	0,625	0,563	10,37	23,79	6,01
47	0,771	0,630	0,567	10,68	25,81	5,96
52	0,776	0,609	0,559	12,18	24,92	6,05
57	0,753	0,602	0,553	10,04	23,17	5,82
62	0,733	0,617	0,540	10,22	24,67	6,08
67	0,784	0,633	0,548	11,08	23,07	6,16
72	0,785	0,617	0,545	10,86	23,02	6,17
Среднее	0,773	0,618	0,554	10,78	23,80	6,07

В таблице 3 сравниваются среднемесячные содержания меди и серебра по РКС РЛП–21Т на конвейерах №1 и №2 и слива классификатора ГК–2 ЖОФ–2 за 2017 год. Доказано, что: а) сходимость среднемесячных содержаний меди и серебра на крупнокусковой руде класса – 300 мм хорошая; б) представительность данных опробования исходной руды выше, чем при традиционной системе ОТК; в) «on-line» контроль исходной руды реализован в полной мере. Все это позволило ликвидировать пункт опробования ОТК на конусной дробилке типа ККД 1500/1800 КД–2 ЖОФ–2.

**Таблица 3 – Среднемесячные содержания меди и серебра по данным
РКС РЛП–21Т и слива классификатора ГК–2 ЖОФ–2**

Месяц 2017г.	Cu, %			Ag, ppm		
	ОТК	РКС	σ , %	ОТК	РКС	σ , %
Январь	0,701	0,720	2,71	11,64	11,94	2,58
Февраль	0,772	0,741	4,02	12,09	12,38	2,40
Март	0,737	0,743	0,81	11,31	11,82	4,51
Апрель	0,751	0,781	3,99	13,35	13,45	0,75
Май	0,738	0,723	2,03	12,47	12,30	1,36
Июнь	0,811	0,842	3,82	12,04	12,25	1,74
Июль	0,779	0,835	7,19	10,33	11,69	3,48
Август	0,739	0,803	8,60	9,74	10,61	8,98
Среднее	0,754	0,774	2,65	11,61	12,06	3,73

Выводы.

1. В результате выполненных работ и исследований запущены в работу на тяжелых конвейерах ЖОФ–1 и ЖОФ–2 три РКС РЛП–21Т производства ТОО «Аспап Гео».

2. Впервые в цветной металлургии Казахстана решена задача достоверного опробования в режиме «on-line» крупнодробленых руд класса – 300 мм на Cu, Zn, Pb, Fe, а также, – что самое главное, – на Ag и Cd при низких (5+ ppm) содержаниях последних в рудах.

3. При выборе аппаратуры акцент делался (Программа по импорто-замещению РК) на использование в первую очередь продукции казахстанских производителей.

4. Результатом выполненных работ и исследований явилось закрытие пунктов опробования ОТК на конусных дробилках ККД 900/160 (ЖОФ–1) и ККД 1500/1800 (ЖОФ–2).

Литература

1. Ефименко С.А., Ефименко О.С., Портнов В.С., Маусымбаева А.Д. Ядерно–геофизические технологии «on-line» контроля качества руд, поступающих на Жезказганскую обогатительную фабрику № 1 // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. 8–е научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы конференции. Екатеринбург: УрО РАН, 2015. – С. 156–160.

2. Yefimenko S., Yefimenko O., Portnov V., Maussymbayeva A, Makarov D. Nuclear–geophysical technologies for online quality control of ores and their processing products applied at corporation Kazakhmys PLC // 20th Conference on Environment and Mineral Processing. Ostrava: VŠB-TU, 2016. P.325–331.

3. Yefimenko S., Yefimenko O., Shakhnov A., Abdrakhmanova Z., Makarov D. Multicomponent online analysis of coarse ore on conveyors of Kazakhmys LLC processing plants // 21th Conference on Environment and Mineral Processing. Ostrava: VŠB-TU, 2017. P.245–249. ISBN сборника 978–80–248–4049–9.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДИАНТИПИРИЛМЕТАНА С СУЛЬФИДНЫМИ МИНЕРАЛАМИ И КАССИТЕРИТОМ, ВХОДЯЩИМИ В СОСТАВ ТРУДНООБОГАТИМЫХ ОЛОВЯННЫХ РУД¹

Иванова Т.А., Зимбовский И.Г., Гетман В.В.

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

Оловосодержащие руды Дальнего Востока содержат сульфиды цветных металлов – меди, цинка, свинца, серебра, редкие и рассеянные элементы и касситерит. Анализ литературных источников показал, что в предыдущие десятилетия создатели и исследователи реагентов для флотации оловянных руд уделяли пристальное внимание разработке селективных собирателей и эффективных режимов флотации касситерита [1-3].

В работе впервые рассматриваются комплексообразующие, сорбционные и флотационные свойства производного пиразолона – диантипирилметана (ДАМ). Исследована возможность образования соединений ДАМ с медью, железом, свинцом и оловом в условиях, близких к флотационным в нейтральной или щелочной водных средах.

Гидрофобность минералов, входящих в состав труднообогатимых оловянных руд (халькопирита, пирита, арсенопирита, галенита и касситерита), изучали в нейтральной среде методом измерения силы отрыва пузырька воздуха от минеральной поверхности в присутствии реагента ДАМ (40 мг/л). В камеру для измерений к раствору ДАМ добавляли ксантогенат, а также для сравнения проводили измерения в растворе только БКс. Результаты представлены на рисунке 1. Из рисунка 1 следует, что предварительное введение ДАМ приводит к некоторому повышению гидрофобных свойств поверхности халькопирита и галенита по сравнению с одним ксантогенатом (рис. 1 а, б), тогда как на гидрофобность поверхности арсенопирита он не оказывает заметного влияния. ДАМ, также как и ксантогенат, не повышает гидрофобность касситерита (рис. 1 г). Что касается пирита, то взаимодействие ДАМ происходит, как было показано выше, с образованием растворимого в воде комплекса с железом. Что приводит, очевидно, к восстановлению поверхности пирита и снижению его гидрофобности вследствие снижения доли адсорбированного в окисленной молекулярной форме ксантогената (рис. 1 в).

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-17-01292)

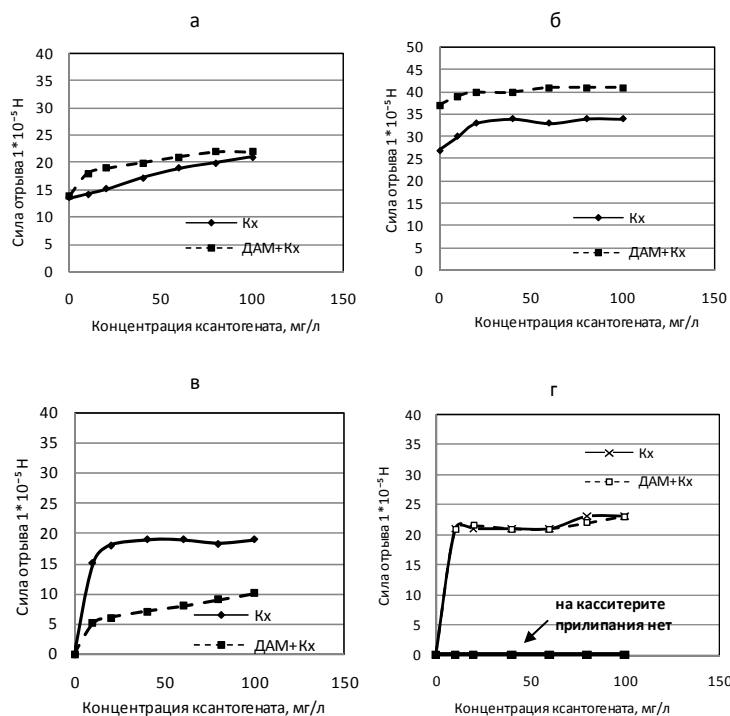


Рис. 1. Измерение силы отрыва пузырька воздуха от поверхностиминералов: халькопирит – а; галенит – б; пирит – в; арсенопирит и касситерит – г

Флотационное поведение ДАМ исследовали на мономинеральных фракциях минералов. В ходе исследований установлено, что в интервале рН 2 ÷ 12 производный пиразола – ДАМ, также как и ксантогенат, практически не влияет на флотационные свойства касситерита. В интервале значений рН 9 ÷ 10,5 флотируемость пирита в присутствии только ДАМ существенно снижается, в то время как снижение флотируемости халькопирита незначительно. Снижение флотируемости сфалерита и галенита наблюдается лишь при рН > 11. Разница в извлечении халькопирита, галенита, сфалерита и пирита в этой области рН достигает 35, 40 и 60% соответственно при расходе ДАМ 100 г/т (рис.2). Добавление при флотации реагентов регуляторов существенно повышает разницу в извлечении галенита, сфалерита и пирита.

Установлено, что по сравнению с бутиловым ксантогенатом ДАМ является более селективным собирателем по отношению к галениту и сфалериту. (рис. 2 а, б). Введение небольших добавок БКс или модификаторов приводит к результатам, значительно превосходящим результаты, полученные с одним ксантогенатом.

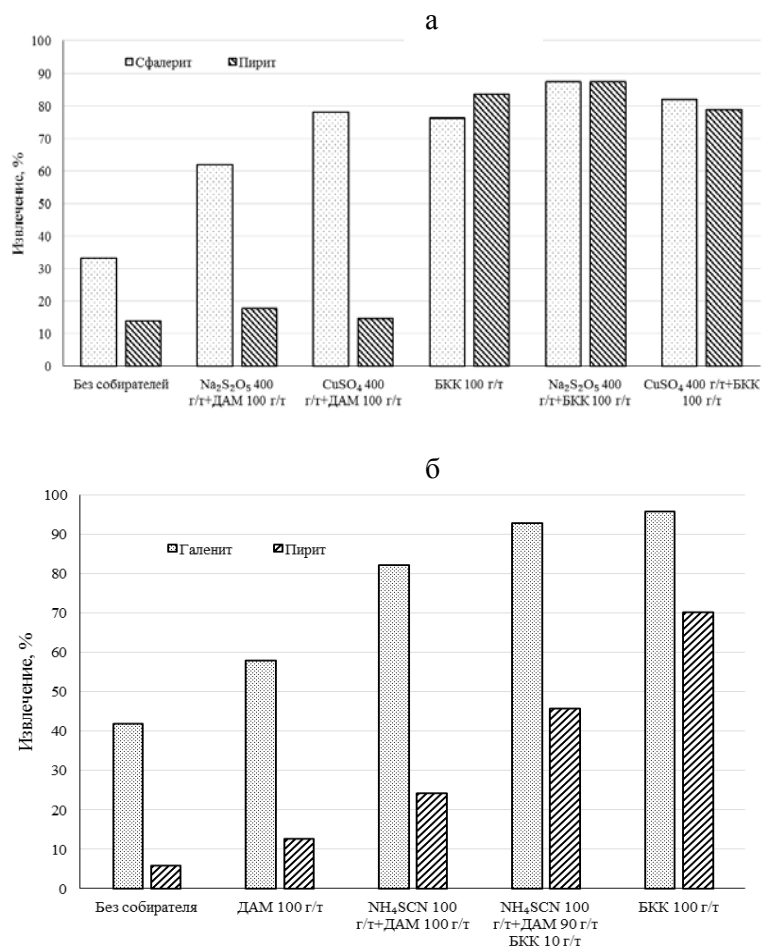


Рис. 2. Результаты сравнительной флотации в щелочной среде (рН 10) при различных реагентных режимах сфалерита и пирита – а; галенита и пирита – б

Таким образом, вскрыт механизм взаимодействия комплексообразующего реагента диантипирилметана ДАМ – производного пиразола с сульфидами и касситеритом, входящими в состав труднообогатимых оловянных сульфидных руд и установлено изменение физико-химических свойств поверхности минералов и повышение контрастности их флотационных свойств. Специфическое собирательное действие ДАМ на сульфидные минералы, входящие в состав комплексных олово-содержащих руд, основано на образовании нерастворимых соединений на поверхности минералов, тогда как пониженная собирательная способность реагента по отношению к сульфидам железа связана с образованием растворимого соединения с железом.

Литература

1. Патент RU2381073 В 03 D 1/02 Способ флотации руд редких металлов и олова Курков А.В., Пастухова И.В., Опубл. в Б.И. №16 10.02.2010.
2. Патент Великобритании 1451194, МКИ В03D, НКИ В2Н, 1976 Диалкилполиэтиленгликолевые эфиры фосфорной кислоты.
3. Шубов Л.Я., Иванков С.И., Щеглова Н.К. Флотационные реагенты в процессах обогащения минерального сырья: Справочник / под ред. Л.В.Кондратьевой. – М.: Недра, 1990, кн.1, 400 с.

КАРЬЕРНЫЕ ЭКСКАВАТОРЫ С ПРЯМОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЛОПАТОЙ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ

Евсеев В.Н., Вареничев А.А.

Всероссийский институт научной и технической информации РАН

Отечественный и мировой опыт работы карьерного выемочно-погрузочного оборудования показывает, что при разработке крепких скальных пород в сложных забоях наиболее эффективными являются карьерные экскаваторы с реечным напором и двухбалочной рукоятью, которые в сочетании с бесполиспастной подвеской ковша обеспечивают существенно большую жесткость конструкции, особенно ценной при работе в тяжёлых забоях. Прямые механические лопаты, до недавнего времени, наиболее распространенный тип выемочно-погрузочных машин на открытых разработках всего мира для разработки плотных горных пород без предварительного рыхления, а также мерзлых, полускальных, скальных пород и особо плотных руд с предварительным их рыхлением, в том числе и в зонах с суровыми климатическими условиями, при низких температурах окружающей среды. Основные требования для эффективной эксплуатации современных электрических прямых лопат: максимальная высота уступа – не более верхней точки рас-

положения головного блока стрелы; время цикла – 28-40 с (среднее 35 с); коэффициент наполнения ковша в хорошо взорванном забое – 100-105%; наиболее эффективное сочетание с загружаемым транспортным средством – 3-5 ковшей; наиболее благоприятные условия работы в забое – односторонняя погрузка на уступе оптимальной высоты с хорошо взорванной горной массой, на удовлетворительно выровненной, устойчивой и хорошо зачищаемой вспомогательным средством подошве с достаточным пространством у забоя, для свободного маневрирования автотранспорта. По принципу действия карьерные экскаваторы – прямая механическая лопата бывают с реечной системой напора и канатной. Первые документальные свидетельства о создании и работе прообраза копательного оборудования относятся к 1420 г. ("Кодекс Джованни Фонтана", в котором был опубликован рассказ о ковшедолбежной землечерпалке, использовавшейся для углубления дна каналов и расширения морских гаваней). В записках Леонардо да Винчи имеются рисунки, напоминающие экскаваторы. Начало промышленному экскаваторостроению положил талантливый американский конструктор Уильям Смит Отис, который в свои неполные 20 лет разработал конструкцию парового экскаватора. Первый экскаватор с паровой силовой установкой, рабочим оборудованием – прямая механическая лопата с реечным напором и ковшем 1,14 м³, исходная механика движения которого сохранилась неизменной и в современных образцах мехлопат, был создан в 1837 г фирмой Otis. С 1848 г. эти экскаваторы впервые в мире применили на вскрышных работах в Нижнем Тагиле [1]. В России первый экскаватор был построен на Путиловском заводе в 1910 г. В настоящее время мировое производство механических лопат сосредоточено в США, Китае, России и Украине – компаниями Caterpillar, P&H – Surface Mining (Joy Global), ТУНИ, ИЗ-КАРТЭКС, УЗТМ и, по спецзаказу, на НКМЗ. Канатные экскаваторы Cat® с электрическим приводом выпускаются 5-ти базовых типоразмеров (табл. 1) и используются, в основном, для погрузки горной массы в карьерные автосамосвалы в процессе вскрытия и добычи полезных ископаемых. [2]. .

Таблица 1 – Основные базовые типоразмеры карьерных механических лопат компании Cat

Модель	Вместимость ковша, м ³	Масса груза в ковше, т	Макс. радиус копания, м	Макс. высота копания, м	Рабочая масса, т
7295	18,4-39,0	45,4	21,8	15,6	789,25
7395	19,1-61,2	63,5	23,3	16,7	1179,34
7495HD	19,1-61,2	81,8	24,0	17,3	1306,34
7495; 7495HF	30,6-61,2	100	25,0	18,0	1372,12

Одна из основных особенностей мехлопат Cat заключается в применении электрооборудования переменного тока с модулями IGBT (Insulated gate Bipolar Transistor), использующими биполярные транзисторы с изолированным затвором, имеющего преимущества над машинами с приводами постоянного тока, в частности:

- более высокую производительность за счет более высокой скорости работы вследствие отсутствия ограничений, накладываемых процессами коммутации, характерными для приводов постоянного тока, что обеспечивает и более высокий КПД;
- более высокий коэффициент технической готовности, как правило, более 98%, за счет увеличения среднего времени безотказной работы и снижения времени на ремонт, поскольку IGBT-модули не требуют регулярного технического обслуживания, сводящегося в данном случае, только к смазке и замене подшипников каждые 30 тыс. ч, а IGBT-модули являются взаимозаменяемыми для активных выпрямителей и инверторов;
- более высокую надежность, благодаря меньшей чувствительности к колебаниям напряжения и машины на переменном токе продолжают работать при мгновенных изменениях напряжения в диапазоне от -20 до -30%;
- большую эффективность, за счет 10% экономии электроэнергии в сравнении с приводом постоянного тока, в течение всего срока службы экскаватора, поскольку привод на переменном токе обеспечивает коэффициент мощности, равный 1,0 (нулевые потери эффективности) по сравнению с коэффициентом 0,95, характерным для приводов постоянного тока.

Компания Surface Mining (P&H) – подразделение корпорации Joy Global Inc. предоставляет на рынок модельный ряд карьерных электрических механических лопат с реечным напором 5-ти базовых типоразмеров (табл. 2).

Таблица 2 – Модельный ряд электрических карьерных экскаваторов компании P&H

Модель	Вместимость ковша, м ³	Масса груза в ковше, т	Макс. радиус копания, м	Макс. высота копания, м	Рабочая масса, т
2300XPC	18,3-25,5	45,4	21,3	13,6	775
2800XPC	26,8-33,6	59,0	24,2	16,6	1079
4100C	42,8-47,7	81,6	24,7	15,8	1243
4100C BOSS	44,3	60,7	23,9	16,8	1459
4100XPC	52,8-61,2	108,9	23,9	16,8	1532

С 2007 года компания Joy Global Inc., Surface Mining (P&H) приступила к оснащению своих карьерных экскаваторов приводами переменного тока, что позволяет значительно удешевить и упростить их техническое обслуживание и соответствует мировым тенденциям. Управление основными движениями экскаваторов P&H осуществляется с помощью джойстиков-контроллеров.

Карьерные экскаваторы Тайюаньского завода тяжелого машиностроения (TZ) (Taiyuan Heavy Industry Co.)

Совсем недавно на российском рынке громко заявил о себе китайский производитель аналогичного оборудования: Тайюаньский завода тяжелого машиностроения Taiyuan Zhonggong (TZ). Завод производит гусеничные карьерные экскаваторы типа прямая лопата с канатным механизмом подъёма ковша, речным напором рукояти ковша и электрическим приводом переменного тока [3]. Тайюаньский завод является основным производителем карьерных экскаваторов в КНР, предлагает модельный ряд из 9 типоразмеров карьерных экскаваторов прямая лопата с речным напором, с ковшами вместимостью от 4 до 76 м³, оснащенных современным электроприводами переменного тока. Ростехнадзор разрешил применение экскаваторов типа WK-12, WK-20, WK-35 и WK-55 (табл. 3) на территории РФ.

Таблица 3 – Модельный ряд электрических карьерных экскаваторов Тайюаньского завода тяжелого машиностроения TZ

Модель	Вместимость ковша, м ³	Масса груза в ковше, т	Макс. радиус копания, м	Макс. высота копания, м	Рабочая масса, т
WK-12	10-16	35	18,9	13,6	485
WK-20	16-34	45	21,2	14,4	731
WK-27	23-46	59	23,4	16,3	907
WK-35	25-54	75	24	16,2	1020
WK-55	36-76	103	23,9	16,1	1460

Карьерные механические лопаты ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова»

ИЗ-КАРТЭКС – крупнейший на территории России и стран СНГ производитель и поставщик карьерных электрических экскаваторов. В 2007 г. компания ИЗ-КАРТЭКС приступила к реализации стратегии производства новой линейки карьерных экскаваторов четырёх типоразмерных групп [4]. И уже в 2010 г. на Оленегорском железорудном карьере ОАО «Олкон» успешно прошёл опытно-промышленные испытания и запущен в промышленную эксплуатацию первый экскаватор новой

продуктовой линейки ЭКГ-12К №1 с канатным типом напорного механизма и ковшом вместимостью 12 м³. На машинах ИЗ-КАРТЭКС нового поколения ЭКГ-12К, ЭКГ-20К/18Р и ЭКГ-35К применяется частотно-регулируемый электропривод постоянного (Тп-Д, Трп-Д) тока, а на экскаваторах ЭКГ-32Р и проектируемом экскаваторе ЭКГ-50 – электропривод переменного (ПЧ-АД) тока. Последний позволяет более существенно снизить расход электроэнергии, облегчить обслуживание элементов электропривода, обеспечить плавность работы машины, повысить её управляемость. ЭКГ-12К традиционно имеет модификации: с удлиненным рабочим оборудованием ЭКГ-10ус для погрузки в транспортные средства, расположенные на уровне стояния экскаватора; ЭКГ-6,3у для погрузки в транспортные средства, расположенные на вышележащем горизонте.

Карьерные механические лопаты ОАО «УРАЛМАШЗАВОД»

Производственная линейка карьерных гусеничных экскаваторов типа прямая лопата с речным напором Уралмашзавода включает модели ЭКГ-5А, ЭКГ-12А, ЭКГ-18 и ЭКГ-30 (табл. 4).

Таблица 4 – Модельный ряд электрических карьерных гусеничных экскаваторов Уралмашзавода

Модель	Вместимость ковша, м ³	Масса груза в ковше, т	Макс. радиус копания, м	Макс. высота копания, м	Рабочая масса, т
ЭКГ-5А	4,6-6,3	35	14,5	10,3	196
ЭКГ-12А	12-16	45	21,0	15	655
ЭКГ-18	16-20	59	22,2	16,4	750
ЭКГ-30	24-40	75	26	19,5	1250

Экскаватор ЭКГ-5А является самым массовым карьерным гусеничным экскаватором в мире: было выпущено более 13 тыс. единиц. Современные экскаваторы Уралмашзавода оснащаются системами электропривода постоянного (ЭКГ-12А) или переменного тока (ЭКГ-18) со статическими преобразователями и цифровой системой управления, что позволяет снизить энергопотребление при высоком уровне КПД и надежности, а также системами – информационной, видеонаблюдения, автоматических защит рабочего оборудования и централизованной автоматической смазки.

Литература

1. Луняшин П. Карьерные экскаваторы с прямой лопатой. Основные средства. 2014, N 7, с. 70-74. Рус.

2. Подэрни Р.Ю. Анализ современного состояния мирового рынка поставок выемочно-погрузочного карьерного оборудования (мехлопаты и драглайны) Журнал "Горная Промышленность" №6 (111) 2013, стр.14-18

3. Гетьман С.В. Опыт эксплуатации экскаваторов серии WK производства Тайюаньского завода тяжелого машиностроения TZ Журнал "Горная Промышленность" №2 2013, с.88-91

4. Ганин А.Р., Донченко Т.В., Шибанов Д.А. Практические результаты внедрения экскаваторов новой продуктовой линейки ООО «ИЗКАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» на горных предприятиях России Журнал "Горная Промышленность" №2, 2013, с.6-9/

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДИАЗОДИТИОФОСФИНАТОВ ДЛЯ ФЛОТАЦИИ СОДЕРЖАЩИХ ПЛАТИНОИДЫ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ СУЛЬФИДНЫХ РУД

**Лавриненко А.А., Макаров В.Д., Саркисова Л.М., Глухова Н.И.,
Шрадер Э.А., Кузнецова И.Н.**

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

Содержащие платиноиды сульфидные медно-никелевые руды, рассматриваются как важнейший источник производства платиноидов в России и одним из основных в мире. Так, в малосульфидных платино-металлических и сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождениях сосредоточено 34,2 % и 23,4 % мирового запаса платиноидов, соответственно [1].

При обогащении сульфидных медно-никелевых руд платиновые металлы извлекаются как попутные компоненты в медный, никелевый, медно-никелевый и пирротинный концентраты. Однако при этом имеют место большие потери свободных форм ЭПГ, что обусловлено их тонкой вкрапленностью и малой эффективностью применяемых собирателей (ксантогенаты и дитиофосфаты), которые позволяют переводить в концентрат большую часть ЭПГ, связанную с сульфидами.

Как показали проведенные в ИПКОН РАН под руководством академика В.А.Чантурия исследования, эффективными собирателями собственных форм ЭПГ являются реагенты-комплексобразователи, содержащие селективные к платиноидам функциональные группы, в частности диизобутилдитиофосфинат (ДИФ) [2], который может образовывать более прочные комплексы с платиноидами по сравнению с дитиофосфатами не только в растворе, но и с металлом на поверхности минералов в условиях флотации [3].

Исследовалась возможность применения композиций бутилового ксантогената с ДИФ-содержащими реагентами компании Cytec: Aerophine 3418А (более 95% ДИФ), Aerophine 3416 (ДИФ и диизобутилмонтио-фосфинат), Aerophine 3406 (ДИФ и диизобутилдитиофосфат) при флотации платиноидно-медно-никелевой руды Мончегорского района. Исследуемая проба была представлена на 48% сульфидами, в основном пирротином – 42 %, пентландитом – 5 % и халькопиритом – 0,8%. Нерудная составляющая состояла преимущественно из пироксена (около 30%), полевых шпатов (13%), роговой обманки (5%), серицита (1,5%) и др. Многочисленные рудопоявления подобных руд, характеризующихся варьирующими и низкими содержаниями ценных компонентов, небольшими запасами, преимущественным содержанием пирротина по сравнению с другими сульфидами, взаимопроращением пентландита и пирротина, имеются на территории Мончегорского района. Многие из этих рудопоявлений взяты на учет, как прогнозные ресурсы ЭПГ.

Учитывая трудности флотационного разделения пентландита и пирротина ввиду схожести физико-химических свойств и тонкого взаимопроращения, а также выявленную корреляционным анализом тесную взаимосвязь между извлечениями палладия и платины и извлечениями сульфидов, была выбрана комбинированная схема переработки, предусматривающая получение ЭПГ-содержащего коллективного сульфидного концентрата с последующей доводкой его гидрометаллургическими методами. Такая схема переработки позволяет существенно снизить потери ценных компонентов и экологическую нагрузку на окружающую среду.

Коллективная флотация сульфидов проводилась в присутствии депрессора пустой породы – жидкого стекла по схеме, включающей основную и контрольную операции. Установлено повышение извлечения не только платины, палладия, но всех сульфидных минералов в коллективный концентрат, а также возрастание скорости флотации при применении композиции бутилового ксантогената с ДИФ-содержащими собирателями в соотношении 1:3 (рис.1). Наиболее высокие показатели получены при использовании сочетания бутилового ксантогената с реагентом

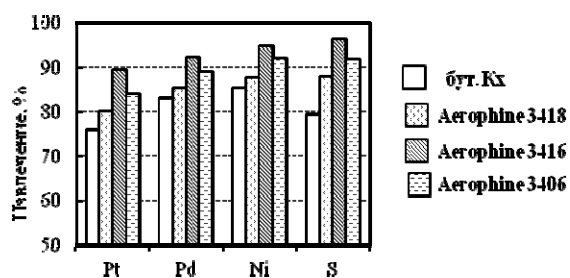


Рис. 1. Результаты флотации медно-никелевой руды бутиловым ксантогенатом и его композицией (1:3) с ДИФ-содержащими собирателями

Аероphine 3416. Извлечение Pt повысилось по сравнению с результатами флотации бутиловым ксантогенатом с 75,9 до 89,5 %, Pd — с 83,0 до 92,2 %, Ni — с 85,4 до 94,8 % при суммарном расходе собирателей 70 г/т. Для снижения содержания минералов пустой породы в коллективном концентрате предложено применение комбинации депрессоров – жидкого стекла и карбоксиметилцеллюлозы.

Взаимодействие ДИФ с основными сульфидными минералами медно-никелевых руд в наиболее полной мере изучено только для халькопирита. Показано, что ДИФ обладает сильным гидрофобизирующим действием по отношению к данному минералу [4] и адсорбируется на поверхности в виде дисульфида и соединения с медью [5]. Однако, влияние ДИФ на флотацию основных носителей ЭПГ и никеля в медно-никелевых рудах – пирротина и пентландита мало изучено.

В данной работе рассматривались гидрофобизирующая способность ДИФ и его влияние на флотационные, адсорбционные и электрохимические свойства синтезированных образцов пирротина, пентландита и куперита.*

Флотационными исследованиями выявлена лучшая собирательная способность ДИФ-содержащих реагентов по отношению к пирротину и пентландиту по сравнению с бутиловым ксантогенатом (рис.2).

Электрохимическими исследованиями установлено, что бутиловый ксантогенат в большей степени сдвигает электродный потенциал пирротина, пентландита и платиновой черни в сторону отрицательных значений по сравнению с Аероphine 3418А, что свидетельствует о большей адсорбции анионов собирателя на поверхности. Величина сдвига электродного потенциала в присутствии Аероphine 3418А уменьшается в ряду: платиновая чернь – пентландит – пирротин.

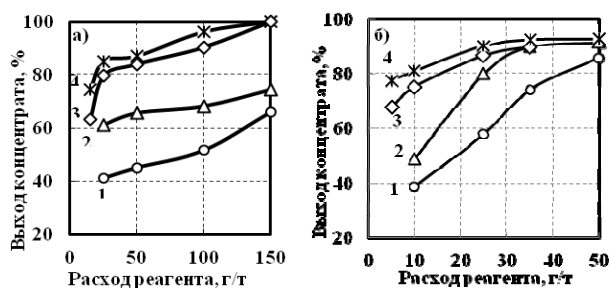


Рис.2. Флотация пирротина (а) и пентландита (б) бутиловым ксантогенатом (1), Аероphine 3418А (2), Аероphine 3406 (3), Аероphine 3416 (4)

* Синтез проводился в ФГБУН Института проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН Е.А. Красавцевой.

Измерением силы отрыва пузырька воздуха от поверхности платиновой черни и шлифов пирротина и пентландита выявлено преимущество ДИФ-содержащих собирателей по гидрофобизирующей способности по сравнению с бутиловым ксантогенатом. Максимальный гидрофобизирующий эффект достигается композицией бутилового ксантогената и ДИФ-содержащих собирателей с соотношением собирателей 1:3.

Методами экстракционной спектрофотометрии определено, что основной формой адсорбции ДИФ и бутилового ксантогената на пентландите и пирротине в дистиллированной воде является молекулярная форма-дисульфид, которая на порядок превышает адсорбцию в виде соединений собирателей с металлом на поверхности минералов (рис.3). На куперите бутиловый ксантогенат адсорбируется только в виде дисульфида (рис.4). В случае ДИФ имеет место и молекулярная форма (дисульфид) и ионная – в виде комплексной соли Pt с ДИФ (максимум поглощения в дихлорметане –425 нм [3,6]) (рис.4,5), наличие которой обеспечивает селективность флотации.

На основе комплекса проведенных исследований выявлена более высокая собирательная способность ДИФ-содержащих реагентов по сравнению с бутиловым ксантогенатом по отношению к сульфидным минералам медно-никелевых руд, которая может быть обусловлена более сильным гидрофобизирующим действием и способностью к пенообразованию.

Установлен механизм взаимодействия ДИФ с пирротинном и пентландитом в дистиллированной воде, заключающийся в образовании гидрофобных слоев на поверхности, состоящих преимущественно из дисульфида и незначительных количеств соединения с металлом на поверхности. Аналогичные адсорбционные слои образуются и при взаимодействии с бутиловым ксантогенатом. В случае куперита взаимодействие с ДИФ в отличие от бутилового ксантогената приводит к образованию не только молекулярной формы адсорбции – дисульфида, но и к образованию комплексного соединения с платиной, что свидетельствует о селективности действия ДИФ при флотации платиновых минералов.

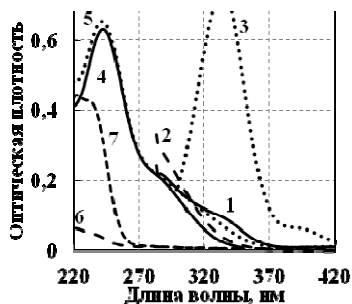


Рис. 3. УФ-спектры:

1 – смыв толуолом с поверхности пентландита после взаимодействия с ДИФ, 2 – дисульфид ДИФ (30 мг/л) в толуоле, 3 – Ni (ДИФ)₂ (30 мг/л) в толуоле; 4- гексановый смыв с поверхности пирротина после взаимодействия с ДИФ и рекстракции аммиаком, 5 –дисульфид ДИФ (20 мг/л) в гексане, 6 – ДИФ в растворе аммиака, 7 – аммиачный рекстракт гексанового смыва с поверхности пирротина

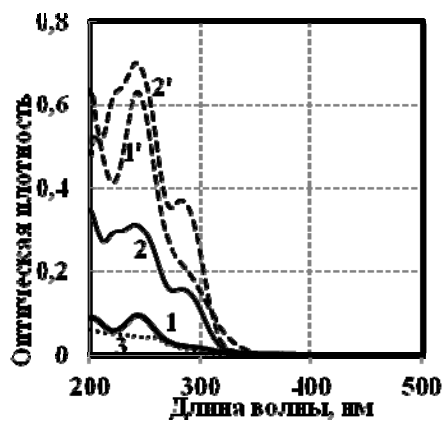


Рис.4. УФ-спектры гексанового смыва с поверхности куперита после взаимодействия с растворами ($0,5 \cdot 10^{-3} \text{M}$) Aegorphine 3418A(1) и раствором бутилксантогената (2), дисульфида ДИФ (20 мг/л) (1') и диксантогенида – 10 мг/л (2') в гексане, аммиачного реэкстракта гексанового смыва при взаимодействии с бутиловым ксантогенатом

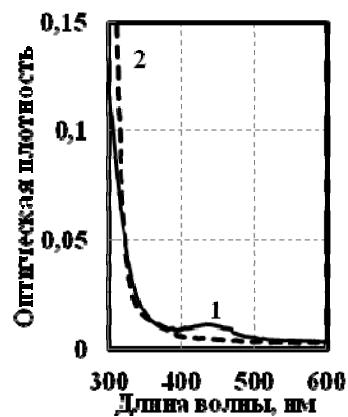


Рис. 5. УФ-спектры смыва дихлорметаном с поверхности куперита после взаимодействия с 0,1% р-ром Aegorphine 3418A (1) и бутилового ксантогената (2)

Установлена эффективность применения композиций ДИФ-содержащего собирателя Aegorphine 3416 с бутиловым ксантогенатом для повышения извлечения сульфидов и ЭПГ при флотации платиноидно-медно-никелевой руды с получением коллективного концентрата для дальнейшей гидрометаллургической переработки.

Литература

1. Додин Д.А., Оганесян Л.В., Чернышов Н.М. и др. Минерально-сырьевой потенциал платиновых металлов России на пороге XXI века / Под ред. В.П. Орлова. – М.: Геоинформмарк, 1998. – 121 с.
2. Чантурия В.А., Недосекина Т.В., Степанова В.В. Экспериментально-аналитические методы изучения влияния реагентов-комплексобразователей на флотационные свойства платины // ФТПРПИ. – 2008. – №3, – стр. 68.
3. Чантурия В. А., Иванова Т. А., Копорулина Е. В. О механизме взаимодействия диизобутилдитиофосфината натрия с платиной в водном растворе и на поверхности сульфидов // ФТПРПИ. — 2009. — № 2.

4. Gьler, T. and Hізуьlmaz, C., Hydrophobicity of chalcopyrite with dithiophosphate and dithiophosphinate in electrochemically controlled condition. Colloids and Surfaces A, Volume 235, issue 1-3, 11-15 (2004).

5. Таки Гьлер, Cahit Hізуьlmaz, Гьлььн Гуькараз, Zafir Ekmekzi. Voltammetric and drift spectrometry investigation in dithiophosphinate-chalcopyrite system. Journal colloid and Interface science Volume 279, issue 1, 46-54 (2004)

6. Усова С.В. Физико-химические свойства комплексных соединений металлов с дитиокислотами фосфора: дис. ... канд. хим. наук. — Душанбе, 1984. – 22 с.

ТВЕРДОФАЗНАЯ МОДИФИКАЦИЯ БУРЫХ УГЛЕЙ 1Б МЕСТОРОЖДЕНИЙ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И СИНТЕЗА КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ

Савченко И.Ф.¹, Сорокин А.П.^{1,2}, Гиренко И.В.¹, Савченко Т.А.¹

¹ *Институт геологии и природопользования Дальневосточного
отделения Российской академии наук*

² *Амурский научный центр Дальневосточного отделения
Российской академии наук*

Амурская область располагает обширной сырьевой базой бурых углей 1Б, ресурсы которых превышают 3 млрд т. Они сосредоточены в основном в четырех месторождениях: Свободное, Тыгдинское, Сергеевское и Сианчик (рис. 1). Эти угли в настоящее время не используются ввиду их низких потребительских свойств (табл. 1) [4].

**Таблица 1 – Средний состав и теплотехнические характеристики
углей марки 1Б месторождений Амурской области**

Место- рождение	W _г	W _а	A _д	V _г	Элементный состав горючей массы, %					Тепло- творность, МДж/кг	
	%				C	H	S	N	O	Q _с ^н	Q _с ^р
Сергеевское	52	7,9	17	63	66,5	5,7	0,4	0,8	26,6	27,0	8,6
Свободное	50–53	8,3	18	60	66,7	5,8	0,2	0,9	26,4	27,2	8,8
Тыгдинское	49–57	8,3	20	62	66,4	5,6	0,4	1,1	26,5	26,7	7,5
Сианчик	53	8,9	24,1	62	66,4	5,7	0,3	0,8	26,8	26,7	7,7

Приведенные в таблице 1 данные свидетельствуют о значительном содержании в горной массе азота, кислорода, высоком выходе летучих и преобладанием в органической массе гуминовых кислот (58–75%), но малой калорийности натуральных углей (7,5–8,8 МДж/кг).

Эти характеристики углей 1Б Амурской области предопределяют нетопливное их использование, применение в качестве углехимического сырья для получения буроугольного воска, ряда дефицитных органических кислот. Вещества гуминового комплекса легко экстрагируются и могут быть переработаны в эффективные биологически активные вещества и использованы в биосинтезе кормового белка, витаминов для полноценных рационов домашних животных, птиц и в рыбоводстве.

Еще Кухаренко Т.А. (1972) выявила зависимость выхода гуминовых кислот от степени окисления бурых углей в пластах и увеличение доли фульвокислот от их общей массы [2].

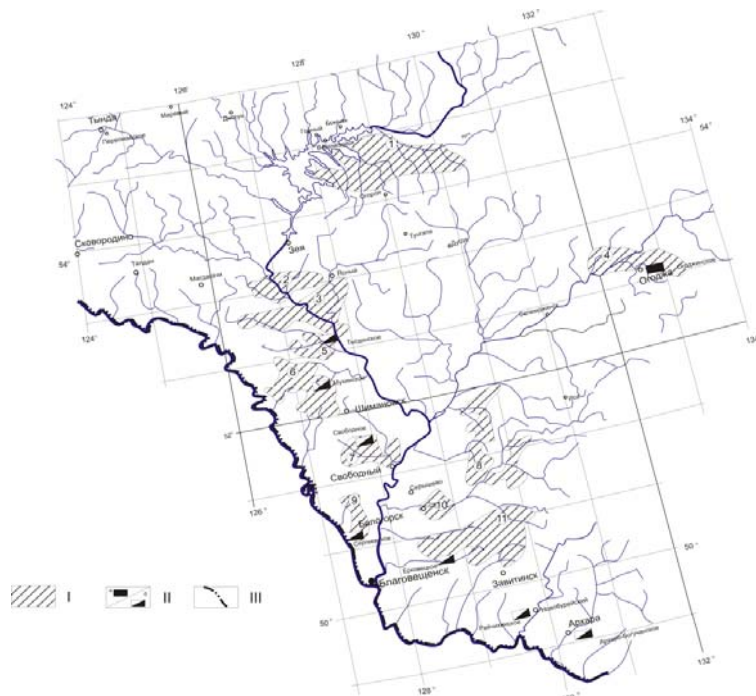


Рис. 1. Схема промышленной угленосности Верхнего Приамурья (Составили А.П. Сорокин, Ю.А. Агафонов, 1995)

*I – угленосные площади (1 – Верхнезейская, 2 – Пиканская, 3 – Демская, 4 – Гербикано-Огоджинская, 5 – Ольгинская, 6 – Сивакско-Ульминско-Мухинско-Бурейская, 7 – Климоуцевско-Семеновско-Юхтинская, 8 – Селемджинско-Маргаритовско-Томская, 9 – Загорненско-Сергеевская, 10 – Белогорская, 11 – Ерковецко-Ромненско-Завитинская);
II – месторождения углей: а) – каменных, б) – бурых;
III – государственная граница РФ, проходящая по р. Амур*

Учитывая особенность углей 1Б к окислению, нами в процессе угледобывания включено компостирование свежедобытого угля, т.е. проветривание с увлажнением, не допускающим самовозгорания, с последующей сушкой до воздушно-сухого состояния.

Основные положения технологии производства гуматов и дальнейшей глубокой их переработки можно разделить на следующие самостоятельные производственные операции:

1. Первичная подготовка сырья, которая заключается в компостировании угля 1Б продолжительностью 3–4 месяца с контролем влажности и 2–3 перештабелевками, завершаемыми естественной сушкой до влажности 30–35% (воздушно-сухое состояние).

2. Шихтование сухого угля с NaOH.

3. Твердофазная модификация компостированного угля (бароформинг) в двухзаходном шнековом модификаторе.

4. Инверсия с гидромодулем 12–15, отстаивание, декантация (слив).

5. Сгущение и последующая сушка, размол.

6. Затаривание, складирование и реализация.

Получение таким способом гуматов имеет ряд преимуществ перед традиционным и заключается в многократном (2–3 раза) сокращении объемов технологической воды, более точной дозировке NaOH, регулировании величины гидромодуля, исключения процесса кипячения пульпы в течение 2–3 часов и, наконец, исключение варочного агрегата (котла).

Полученные соли буроугольных кислот можно отнести к веществам роста и развития растений и животных или к биологически активным веществам, что связано с биологической полифункциональностью этой группы органических веществ, имеющей укоренившийся рабочее название «гуматы».

Нами установлено положительное влияние гуматов на рост и развитие выращиваемых на Дальнем Востоке полевых культур. Найдено оптимальное соотношение между содержанием в гуматах низкомолекулярных (НМВ) и высокомолекулярных веществ (ВМВ), которое для конкретных культур и сортов является индивидуальным. Интервал отношений ВМВ : НМВ равен 1,0–1,5. К ВМВ отнесена окислительная фракция веществ, осаждаемая 1% HCl.

Действие гуматов, полученных щелочной экстракцией (NaOH), исследовалось на опытном поле ВНИИ сои РАСХН в с. Садовом на пшенице, ячмене и сое сорта Соната.

Статистически достоверная прибавка урожая равна для сои – 2,2 ц/га, для ячменя – 3,8 ц/га; для пшеницы – 2,0 ц/га.

Кроме использования гуматов в качестве регуляторов роста и развития растений и животных перспективны технологии окисления гуматов для получения оксидатов в качестве источников питания при биосинтезе кормовых дрожжей.

Обычно окисление гуматов или твердых горючих ископаемых осуществляют в щелочной суспензии с концентрацией окисляемых веществ – 50-100 г/л, при температуре – 150-240 °С и давлении – 4-5 МПа. В качестве окислителя используют H_2O_2 , HNO_3 , $KMnO_4$. Наиболее выгодным оказалась применение окислации пульпы воздухом. В исследованиях Л.В. Косоноговой и Г.А. Евдокимовой (1977) показано, что оксидаты гуминовых кислот являются доброкачественными компонентами питательных сред при синтезе кормового белка дрожжами родов *Candida*, *Sporobolomyces*, *Lipomyces* [1].

Для получения компонентов питательных сред из гуматов нами разработано устройство, защищенное патентом РФ [3].

Согласно предлагаемому способу получение органических кислот для синтеза кормового белка включает приготовление щелочной суспензии, т.е. слива (декантанта), а затем окисление в реакторе сжатия. В качестве реактора применяют четырехтактный дизельный двигатель с внешним приводом, а окисляемая суспензия подается через форсунку по системе питания. Показатели работы реактора на базе двигателя Д-240 приведены в таблице 2. Устройство отличается выгодной компоновкой, малым удельным объемом, мобильно и производительнее прототипов в 1,5-2,0 раза.

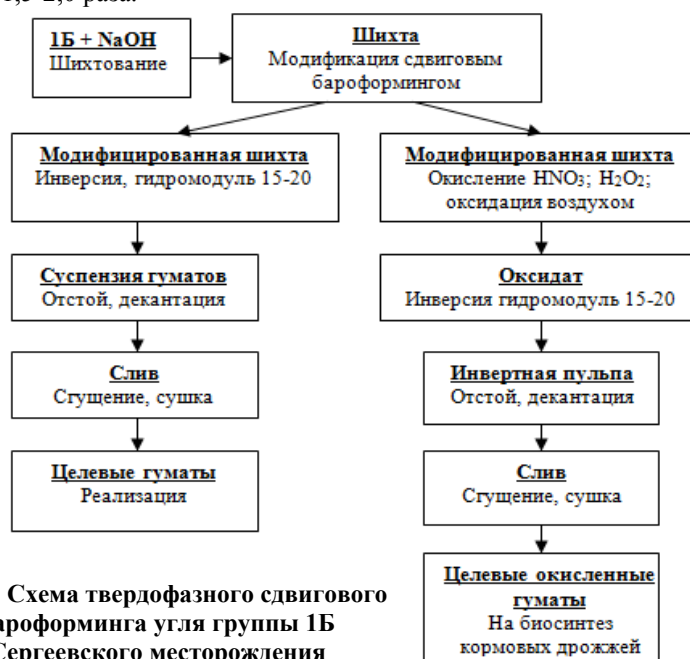


Рис. 2. Схема твердофазного сдвигового бароформинга угля группы IB Сергеевского месторождения

Таблица 2 – Показатели окисления суспензии гуматов в реакторе на базе двигателя Д – 240

№ п/п	Показатели:	Количество
1	Масса перерабатываемой суспензии по сухому веществу, кг/час	10–15
2	Расход воздуха, м ³ /час	85–100
3	Отношение массы органических веществ к NaOH в суспензии	5
4	Выход целевых органических кислот, кг/час	9–13

Совмещенная технологическая схема получения гуматов из углей 1Б Амурской области путем бароформинга и последующая глубокая переработка гуматов для биосинтеза кормовых дрожжей показана на рис. 2

Литература

1. Косоногова Л.В., Евдокимова Г.А. Биохимическая переработка остатка от гидролизата торфа // Получение кормовых дрожжей из торфа / В.Е. Раковский. Минск: Наука и техника, 1977, С. 173–192.
2. Кухаренко Т.А. Окисленные в пластах бурые и каменные угли. – М.: Наука, 1972. 216 с.
3. Пат. 2342359 Российская Федерация, МПК С 07 С 51/21, С 07 В 33/00, С 07 С 27/14, В 01 J 3/00. Способ получения органических кислот и устройство для его осуществления / И.Ф. Савченко, А.И. Савченко, А.П. Сорокин; ООО «Химтехуголь». – № 2006115724/04; заявл. 06.05.2006; опубл. 27.12.2008, Бюл. № 36.
4. Сорокин А.П., Савченко И.Ф., Межаков В.З., Артеменко Т.В. Инновационно-технологические разработки эффективного использования низкокалорийных бурых углей Западного Приамурья // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 4. С. 165–171.

ЗОЛОШЛАКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ ТЕХНОГЕННОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПОПУТНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Кунилова И.В., Лавриненко А.А., Лусинян О.Г., Гольберг Г.Ю.,
Чихладзе В.В., Шимкунас Я.М.**

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

Предприятиями топливно-энергетического комплекса в России накоплено свыше 1,7 млрд. т. золошлаковых отходов [1]. Они занимают значительные площади, а затраты на их содержание в результате оплачивают потребители. На содержание отвалов золы, шлака и их смесей тратится не

менее 150 млн. руб. в год. Ежегодный прирост золошлаковых отходов составляет порядка 30-40 млн. т., а используется не более 2 млн. т. Количество отвалов ежегодно увеличивается, требуя выделения все новых площадей, что особенно сложно обеспечить теплоэлектростанциям, располагающимся вблизи населенных пунктов. В докладе [1] приведена положительная динамика роста техногенных отходов топливно-энергетических полезных ископаемых – с 1500 млн. т в 2005 г. до 3100 млн. т в 2015 г. – т.е. в 2 с лишним раза за 10 лет! На фоне прогнозируемого роста добычи угля количество техногенных отходов топливно-энергетических полезных ископаемых также будет продолжать расти.

Экологическая модернизация экономики, снижение текущего негативного воздействия и ликвидация накопленного экологического вреда окружающей среде выделены в качестве приоритетных в документах стратегического планирования, в том числе Основах государственной политики в области экологического развития Российской Федерации (утверждены распоряжением Правительства Российской Федерации от 18 декабря 2012г. № 2423-р). Разработанные и реализованные технологии утилизации золошлаковых отходов предусматривают их использование в основном в производстве строительных материалов. Однако зола и шлак содержат целый спектр ценных элементов, в частности, редкие, редкоземельные (РЗЭ) и благородные металлы. Благодаря этому золошлаковые отходы являются комплексным техногенным сырьем, которое следует рассматривать не столько с точки зрения загрязнения окружающей среды токсичными элементами, сколько с точки зрения попутного извлечения этих элементов.

Недостаточность комплексности использования сырья в российском горно-промышленном комплексе привела к тому, что в настоящее время, например, при обогащении хибинских апатитовых руд с целью получения глинозема перерабатывается лишь 15% нефелина, при этом практически не извлекаются редкоземельные элементы [1]. Более глубокое использование золошлаковых отходов на основе попутного извлечения ценных элементов, в том числе редкоземельных, может явиться доступной альтернативой получения дефицитного минерального сырья, благодаря большим объемам отходов и меньшей себестоимости извлечения по сравнению с промышленным получением из руд. Например, себестоимость извлечения циркония из зол методом термохлорирования – 80тыс.\$ /т, а из руд – порядка 200 тыс.\$ /т [2]. Спрос на редкоземельные металлы в России к 2020 году достигнет, по разным оценкам, от 5 тыс. до 13 тыс. т в год, а на мировом рынке – почти 180 тыс. т [3]. Таким образом, разработка технологий попутного комплексного доизвлечения ценных элементов из золошлаковых отходов является решением актуальных проблем.

Рассмотрение золошлаковых отходов в качестве ресурсной базы дает возможность перевести их из статуса отходов в статус вторичного про-

мышленного сырья либо побочных продуктов производства и называть золошлаковыми материалами. Исключение золы и шлака из категории отходов позволит стимулировать угольные теплоэлектростанции проводить поиск инвестиций и технологических решений для их экономически выгодного использования. В проекте Дорожной карты по решению проблемы утилизации золошлаковых отходов угольных ТЭС РФ [4] констатируется, что из 30,4 млн. тонн золы, вырабатываемой ежегодно 145 угольными электростанциями, утилизируются только 13 % (данные за 2014 г.). Для приведения законодательно-нормативной базы в соответствие с концепцией вторичного использования золы и шлака предлагается внести изменения в нормы технологического проектирования технологий сжигания угля и улавливания попутных продуктов сжигания угля, обеспечивающие возможность дальнейшей утилизации золошлаковых материалов в качестве товарных продуктов ТЭС, а при проектировании новых угольных электростанций отказаться от золоотвалов в пользу складов товарных золошлаковых материалов или переработки золошлаков в готовую продукцию. Однако в проекте данной Дорожной карты не затронуто решение проблемы комплексного использования золошлаковых материалов, а именно попутного извлечения ценных элементов до использования золошлаковых материалов в строительных отраслях.

Комплексная переработка золошлаковых материалов с целью производства товарной продукции (силиката натрия, глинозема, магнетитового и углеродного концентратов) и попутного извлечения из них благородных металлов – золота и серебра, а также редких и редкоземельных элементов – иттрия, скандия, лантана и других – является перспективным способом решения экологических проблем, связанных с размещением зол и шлаков. Различные ценные элементы в товарных содержаниях выявлены в золошлаковых материалах практически во всех основных угледобывающих районах России.

Несмотря на экологическую и потенциальную экономическую выгоду извлечения благородных и редкоземельных металлов из золо- и шлакоотвалов, существует ряд проблем. Потенциально ценные элементы присутствуют в золошлаковых материалах, преимущественно, в виде кислородсодержащих соединений, в рассеянном состоянии, с низким содержанием благородных и редкоземельных металлов (в среднем порядка 0,1-1 г/т), поэтому необходимость создания технологии комплексной переработки золошлаковых отходов, не требующей больших капитальных и эксплуатационных затрат, является актуальной задачей. В ИПКОН РАН разрабатываются основы технологии выделения ценных компонентов из золошлаковых материалов с применением комбинированных процессов (классификации, магнитного и гравитационного обогащения, флотации, хи-

мической обработки), в зависимости от состава золы и шлака и поставленных целей.

В данной работе рассмотрены зола уноса и шлак, образовавшиеся в процессе сжигания бурых углей месторождений Сибири. Поскольку целью работы является оценка перспектив попутного извлечения ценных элементов из золошлаковых материалов, наибольшее внимание уделено исследованию эффективности процессов выщелачивания как основного процесса извлечения золота и редкоземельных металлов. Последующее концентрирование ценных элементов может осуществляться известными методами (цементации, сорбции и экстракции).

Основной состав золы – алюмосиликатный, шлака – железисто-алюмосиликатный. Большинство минералов переходят в золу из угля без существенных изменений. Анализ распределения ценных компонентов в исходных углях и золошлаковых материалах показал, что в золу уноса переходит большая часть церия, диспрозия, эрбия, европия, галлия, гадолиния, гафния, гольмия, лантана, лютеция, ниобия, неодима, празеодима, самария, стронция, тантала, тербия, тория, тулия, урана, ванадия, иттрия, иттербия и циркония. В шлаке остается больше 80% хрома, остальные ценные элементы распределяются примерно в равных количествах. Содержание благородных и редкоземельных металлов в золе и шлаке от сжигания бурых углей Сибири ниже, чем в золе от сжигания бурых углей Приморья. Несмотря на встречающиеся в литературе сведения о пиковых содержаниях в отдельных образцах (Au – до десятков г/т), содержание золота и серебра в подавляющем количестве исследованных образцов достаточно низкое (для золы – 0,03 и 0,16 г/т, шлака – 0,02 и 0,11 г/т). Содержание различных РЗЭ колеблется в диапазоне 10-160 г/т. Наибольшие содержания в образце золы установлено для Се, Y и Zr – порядка 50 г/т, а в шлаке для Zr – 160 г/т.

Показатели зольности (на сухое вещество) для образца золы уноса от сжигания углей Сибири составили 79,6%, для образца шлака – 68,5%. Изучение распределения минеральных компонентов и содержания органической (несгоревшей) части в зависимости от класса крупности показало, что для класса крупности -63 мкм содержание органической части составляет от 0,92% до 1,28%, в классе крупности -80+63 мкм – от 0,67% до 1%, в классе крупности +80 мкм органическая часть составляет от 4,95% до 5,6%. Электронно-микроскопические исследования минерального состава золы показали наличие в ней тонкодисперсных частиц золота.

Содержание магнитного продукта во фракции золы от сжигания бурого угля Сибири -71 мкм, направляемой на флотацию и последующее выщелачивание, 5,2%. По данным электронно-микроскопических исследований, он состоит в основном из шарообразных магнитных агрега-

тов и окислы. Следует отметить, что как для золы, так и для шлака, в крупной фракции весь магнитный продукт находится в сростках с немагнитным материалом; по мере уменьшения крупности частиц материала увеличивается степень раскрытия минералов магнитного продукта.

В классе крупности -63 мкм содержится наибольшее количество силикатных микросфер, размер которых составляет в основном 20-50 мкм. Результаты изучения распределения микросфер в магнитную и немагнитную фракции при разных классах крупности показали, что в случае отделения магнитного продукта (при содержании железа выше 7,5%), в магнитную фракцию, в отличие от шлака, переходит незначительная часть микросфер. Для шлака в классе крупности +71 мкм микросферы остаются преимущественно в немагнитной фракции, в более тонком классе (-71 мкм) содержание микросфер почти одинаковое. Из магнитного концентрата в жидкой среде при естественном всплывании извлекается 0,3% микросфер.

Отделение органической части от золы проводили методом флотации с керосином в качестве собирателя (расход 1,5 кг/т) и метилизобутилкарбинолом (расход 0,02 кг/т) в качестве вспенивателя при т:ж = 1:4. Для пробы золы от сжигания бурого угля, доизмельченной до -80 мкм, извлечение угольной фракции в концентрат составило 69% при выходе 8% и содержании в нем 42%. При этом в концентрат флотации переходит также большая часть благородных металлов. Полученный углеродсодержащий продукт после выщелачивания золота может быть направлен на сжигание в специальных печах совместно с углем с целью получения энергоресурсов.

Рентабельность технологии доизвлечения оставшихся в хвостах флотации ценных металлов во многом определяется эффективностью стадий выщелачивания. Для гидрометаллургического доизвлечения благородных металлов – золота и серебра – исследовано применение двухстадийного выщелачивания с использованием 10 г/л раствора тиокарбамида в кислой среде. Тиокарбамид образует наиболее устойчивые комплексные соединения с золотом, а также с серебром и медью [5], по сравнению с железом и иными компонентами золы. Кроме высокой избирательности к благородным металлам, использование тиокарбамида имеет преимущество по сравнению с использованием цианидов благодаря меньшей токсичности, большей скорости процесса выщелачивания, меньшим эксплуатационным затратам [5]. Поскольку тиокарбамид имеет несколько большую стоимость по сравнению с цианидами, снижение его расхода достигается предварительной обработкой растворами серной или соляной кислот. Установлено, что сернокислотная обработка приводит к большему переходу в раствор макрокомпонентов золы кремния, алюминия и железа, чем солянокислая, при которой в раствор

переходит в основном кальций и часть алюминия. Более высокое содержание золота в растворе за одну стадию достигается при использовании солянокислого раствора (0,27 мг Au/л) по сравнению с сернокислым (0,17 мг Au/л). Та же тенденция прослеживается для редкоземельных элементов. При тиокарбамидном выщелачивании шлака в солянокислой среде измельчение шлака до крупности -71 мкм дает возможность достичь в аналогичных условиях содержания золота в растворе 0,21 мг Au/л, которое сопоставимо с содержанием, полученным при выщелачивании золы, несмотря на более неблагоприятный состав, в том числе высокое содержание кальция в исходной пробе шлака (28,1%). Для повышения степени извлечения ценных металлов до 85-98% необходимо применение многократной обработки кека выщелачиваемым раствором.

Для гидрометаллургического доизвлечения редкоземельных элементов из золошлаковых материалов нами исследовано применение одно- и двухстадийного выщелачивания с использованием S, P – содержащего органического комплексообразующего реагента. Установлено, что при предварительной сернокислотной обработке золы в раствор за одну стадию переходит основная часть циркония (4,4 мг/л), значительная часть церия (2,1 мг/л) и лантана (1 мг/л). На примере хвостов флотации шлака показано, что в слабощелочной среде происходит селективное извлечение Au в раствор с содержанием 5,6 мкг/л, а в кислой среде в продуктивный раствор извлекается сумма РЗЭ с концентрацией 1,3 мг/л, позволяющей провести их концентрирование с целью последующего извлечения.

Таким образом, при переработке золошлаковых материалов использование селективного выщелачивания с применением комплексообразующих реагентов после предварительной кислотной обработки позволяет попутно доизвлечь редкоземельные и благородные металлы.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». – М.: Минприроды России; НИИ-Природа. – 2016. – 639 с.
2. В.Л. Мартыянов, С.С. Чувиков. Обоснование рационального порядка разработки угольных месторождений // Инновации в угольной отрасли и экономике Кузбасса. Сб.статей. Часть 1. – Белово, 2011. – с. 198-203.
3. Делицын Л.М., Власов А.С., Мелентьев Г.Б. и др. Угольная зола – отходы или сырьё? // Редкие земли. – 2015, № 2 (5). – С.126-135.
4. Дорожная карта по решению проблемы утилизации попутных продуктов сжигания угля (ППСУ) в России. – 14с. – Режим доступа: <http://ksfenix.org/ru/news/68> (обращение 15.03.2017).

5. Д. Эрдэнэчимэг, Д. Дорж. Влияние концентрации тиокарбамида, ионов меди на тиокарбамидное выщелачивание золота и серебра // Вестник Бурятского гос. ун-та. – 2012. – №3. – с.91-94.

6. В.И. Радомская, С.М. Радомский, Л.М. Павлова. Условия применения технологий тиокарбамидного выщелачивания золота и серебра // Георесурсы. – 2013. – №5(55). – с.22-27.

КИНЕТИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФЛОТАЦИОННОЙ СЕПАРАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ СУЛЬФИДНО-УГЛЕРОДИСТЫХ ПОРОД)

**Афанасова А.В., Конкина Д.А., Николаева Н.В.,
Александрова Т.Н.**

Санкт-Петербургский горный университет

В связи с истощением запасов легкообогатимого сырья стратегией развития горнодобывающей промышленности России является вовлечение в эксплуатацию новых типов месторождений. Черносланцевое сырье представляет собой интерес, как нетрадиционный источник благородных металлов, ввиду их тесной генетической и пространственной связи с углеродистым веществом.

Примерами известных месторождений черносланцевой формации являются: Мурунтау, Сухой Лог, Бакырчик, Наталкинское, Нежданинское, Олимпиадинское, Хомсийен и др [1]. Отмечено, что основные золоторассыпные регионы России сложены черносланцевыми толщами. Проведя литературный обзор современных данных [2–7], можно увидеть, что в последние годы практически во всех месторождения черносланцевой формации были обнаружены металлы платиновой группы (МПГ), что значительно увеличивает их практическое значение.

К наиболее изученным благородным элементам-примесям черных сланцев относится золото. Это объясняется экономическим значением золоторудных месторождений, пространственно связанных с черными сланцами. Кларковые содержания золота в черных сланцах мира, оцененные разными способами, составляют 0,008–0,01 г/т [8]. Аномальными можно считать содержания, превышающие 0,02 г/т. В черносланцевых толщах золото сконцентрировано в основном в пирите.

Количество золота в углеродистом веществе разной степени метаморфизма обычно составляет 16–60% от суммарного его содержания в углеродистых породах [9].

В работе проведены исследования образцов сульфидной углеродистой руды и флотационных концентратов с применением комплексных прецизионных методов анализа: электронная микроскопия, спектраль-

ный анализ с индукционной плазмой, комплексные термогравиметрические анализы и т.д.

В работе экспериментально установлен оптимальный реагентный режим для флотации углеродистого вещества с целью максимизации содержания углерода в концентрате. На основании полученных данных определены основные кинетические параметры процесса флотации.

С использованием комплексного термогравиметрического анализа (ТГА) рассчитаны основные параметры процесса деструкции образцов сульфидной руды.

Экспериментальные исследования по укрупнению ТЧБМ из исходной руды и флотационных концентратов с применением электромагнитного излучения показали эффективность данного метода коалесценции. Получены данные об элементном составе образцов и количестве ТЧБМ.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации № МК-1253.2017.5.

Литература

1. Буряк В. А., Михайлов Б. К., Цымбалюк Н. В. Генезис, закономерности размещения и перспективы золото-и платиноносности черносланцевых толщ // Руды и металлы. – 2002. – Т. 6. – С. 25-36.
2. Ханчук А. И. и др. Распределение благородных металлов в черных сланцах золоторудного месторождения Дегдекан (Северо-Восток России) // Тихоокеанская геология. – 2011.
3. Ханчук А. И., Александрова Т.Н. и др. Графитовые сланцы как перспективный источник благородных металлов на Дальнем Востоке России // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2010. – №. 3.
4. Ханчук А. И. и др. Тонкодисперсные золото и платиноиды в графитовых сланцах Буреинского массива новый // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – Т. 5. – №. 12.
5. Сначёв А. В., Рыкус М. В., Сначёв В. И. Благородные металлы в углеродистых отложениях южной части Арамилско Сухтелинской зоны // Геологический сборник №. – Т. 3. – С. 180-185.
6. Сазонов В. Н. и др. ЗОЛОТО В" ЧЕРНЫХ СЛАНЦАХ" УРАЛА // Литосфера. – 2011. – №. 4. – С. 70-92.
7. Бердников Н. В. Тонкодисперсные золото и платиноиды в графитовых сланцах Буреинского массива–новый тип благороднометалльного оруденения на Дальнем Востоке России // Вестн. ОНЗ РАН. – 2010. – Т. 2.
8. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Элементы примеси в черных сланцах. Екатеринбург: УрО РАН, 1994. 304 с.
9. Марченко Л.Г. Генезис и минеральные ассоциации золота и платиноидов в месторождениях «черносланцевого» типа Казахстана// Автореф. дисс док. геол.-минер. наук.- Санкт-Петербург, 2011. – 50 с.

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ПОЛИМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Яновский В.В., Кузнецов В.В., Николаева Н.В.,
Александрова Т.Н.

Санкт-Петербургский горный университет

Одной из главных проблем на обогатительных фабриках при массовом вовлечении в эксплуатацию месторождений труднообогатимых руд помимо значительных энергетических затрат на рудоподготовку является переизмельчение рудных минералов с одновременным неполным раскрытием их сростков. Особенностью такого минерального сырья является сложный минералого-геохимический состав, комплексность оруденения, субмикроскопические размеры зерен, исключительно неоднородные текстуры и разнообразие генетических процессов рудообразования.

Основная целевая задача при рудоподготовке – это разрушение многокомпонентных материалов на составляющие элементы, пригодные для промышленного использования, с минимальными затратами, главным образом, энергетическими. В связи с этим технологами постоянно предпринимаются попытки найти варианты рациональной организации процессов дробления и измельчения в рамках существующих и новых технологий рудоподготовки, позволяющих снизить потери за счет более полного раскрытия сростков зерен.

Анализ статистических и экспериментальных данных показал, что на эффективность процессов разрушения в рудоподготовительных аппаратах основное влияние на них (более 60 %) оказывают структурно-текстурные особенности горных пород и руд [1, 2]. В настоящее время для определения и прогнозирования прочностных характеристик руды и степени раскрытия сростков используются методы технологической минералогии на основе минералого-петрографического анализа. Поскольку этот метод является двумерным, он позволяет дать только качественное описание и имеет ограничения в описании объемных структурно-текстурных характеристик пород, что влияет на качество интерпретации результатов исследования. Появление новых методов исследования вещества, в том числе современных методов компьютерной рентгеновской микротомографии, позволяет расширить наши представления о структурно-текстурных характеристиках руд, дополнить традиционные оптико-петрографические исследования объемными характеристиками и дать их количественные значения [3, 4]. Основной целью данной работы было обоснование способа оценки степени дезинтеграции с учетом применения компьютерной микротомографии (изучение структурно-текстурных характеристик горных пород и руд).

В качестве объекта исследований были выбраны битуминозные сланцы Ярегского месторождения. Проба битуминозных сланцев отличается слоистостью и характеризуется высокой степенью сланцеватости. Материал был измельчен до флотационной крупности ($P_{80} - 0,074 +0$ мм) и проанализирован на микротомографе «SkyScan-1173» (КТ) и лазерном дифрактометре «Mastersaizer» (LD).

Результаты проведенных исследований показали, что метод компьютерной рентгеновской микротомографии позволяет быстро и достаточно точно охарактеризовать ряд морфометрических параметров, влияющих на физико-механические свойства пород (рис.1).

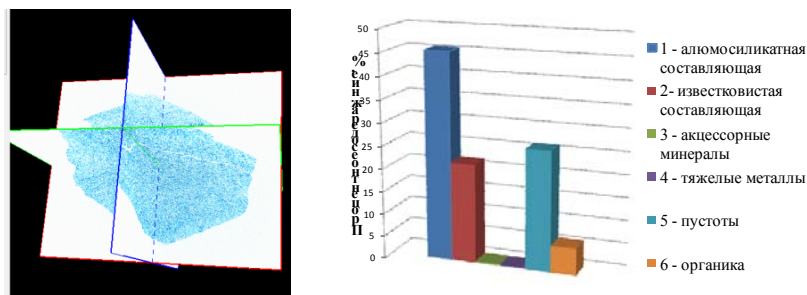


Рис.1. Результаты компьютерной рентгеновской микротомографии на микротомографе «SkyScan-1173»

Помимо морфометрических показателей методом КТ были изучены параметры порового пространства образцов. Именно фактор пористости часто является определяющим при интерпретации прочностных характеристик породы и ее поведения в процессе дезинтеграции, так как разрушение происходит по наиболее ослабленным зонам – границам срастаний отдельных минеральных фаз, трещинам и т.д. [6]. При анализе характеристик порового пространства образцов было выявлено, что при высокой общей пористости (26,7%), сланец обладает и высокой плотностью пор, рассчитанной как количество пор на единицу объема, что приводит к снижению прочности самой породы.

Сравнительный анализ данных по удельной поверхности, полученных методом компьютерной рентгеновской микротомографии, и с помощью «Mastersaizer», приведен в таблице 1.

Таким образом, параметры пористости и удельной поверхности, полученные методом КТ, коррелируются с различиями в прочности пород, тогда как общая удельная поверхность, определяемая лазерным дифрактометром, позволяет лишь косвенно судить о прочности породы и не дает информации о размерах пор, их сообщаемости и пространствен-

Таблица 1 – Сравнительный анализ данных по вновь образованной удельной поверхности

Исследуемый параметр	Битуминозный сланец		K _{уд} [*] , доли ед.	K _{уд} ['] , 1/мм
	КТ	LD		
Удельная поверхность, 1/мм	103,7	60,23	1,72	43,47

* K_{уд} – коэффициент пересчета удельной поверхности, учитывающий внутренние поры материала, $K_{уд} = S_{КТ} / S_{LD}$.

K_{уд}['] – коэффициент абсолютного значения удельной поверхности, учитывающий внутренние поры материала, $K_{уд}' = S_{КТ} - S_{LD}$.

ной ориентации. С этой точки зрения, рентгеновская микротомография дает ценную информацию для прогнозирования поведения породы в процессе дезинтеграции.

В заключение стоит отметить, что возможность получения статистических параметров различных морфометрических характеристик является несомненным преимуществом метода КТ, так как на основе большого объема полученных данных с помощью математико-статистического моделирования (корреляционный, факторный анализы и т.д.) возможно в дальнейшем прогнозировать зависимости между полученными морфометрическими параметрами горных пород и свойствами продукта дробления или характеристиками системы, такими как износ или потребление энергии.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации № МК-1253.2017.5.

Литература

- 1 Мельникова Т.Н., Ятлукова Н.Г., Литвинова Н.М. К вопросу оптимизации процесса измельчения руд // Обогащение руд. 2006. № 4. С. 5-7.
- 2 Литвинова Н.М., Мельникова Т.Н., Ятлукова Н.Г., Данилов Е.И. Интенсификация процесса измельчения труднообогатимой золотосодержащей руды Албазинского месторождения // Горный журнал. 2006. № 10. С. 63-64.
- 3 Willson, C.W., Lu, N. and Likos, W.J. Quantification of grain, pore and fluid microstructure of unsaturated sand from X-Ray CT images // Geotechnical Testing Journal. 2012. Vol. 35. №. 6. doi:10.1520/GTJ20120075
- 4 Evans C.L., et al. Quantifying mineral grain size distributions for process modelling using X-ray micro-tomography // Miner. Eng. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2015.03.026>
- 5 Штырляева А.А., Журавлев А.В., Герасимова А.И. Перспективы и проблемы использования компьютерной микротомографии для изучения образцов керна // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2016. Т.11. №1. http://dx.doi.org/10.17353/2070-5379/8_2016.

6. Таловина И.В., Александрова Т.Н., Попов О., Либервирт Х. Сравнительный анализ исследования структурно-текстурных характеристик горных пород методами компьютерной рентгеновской микротомографии и количественного микроструктурного анализа. Обогащение руд. 2017. № 3 (369). С. 56-62. DOI: 10.17580/or.2017.03.09.

СОВРЕМЕННЫЕ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЦИРКОНИЙСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Фатов А.С.¹, Васильева А.А.²

¹ – ФГБУ «ВИМС»

² – ФГБОУВО «Московский технологический университет
(МИТХТ)»

Рост мирового производства циркония (2009-2011 гг.) был вызван прежде всего развитием атомной энергетики, нашедшей цирконию конструктивное применение в качестве оболочек урановых стержней.

Несмотря на снижение цены с 2013 года на цирконовый концентрат (в среднем на 40% с начала 2000 годов), по оценкам экспертов, спрос на него в 2017 году превысит его предложение, что позволит надеяться на рост цены уже в 2018 году. Согласно данным компании Hannam & Partners (Advisory) LLP по усредненному прогнозу ряда аналитических и банковских компаний цена цирконового концентрата к 2020 г. поднимется до 1150 долл./т [1].

Промышленно ценными циркониевыми минералами являются – циркон (содержит 60-67% ZrO₂) и бадделеит (содержит 95-97% ZrO₂). На долю первого приходится более 97% мирового производства циркониевого сырья, на долю бадделеитового – менее 3%.

Многочисленные технологические решения, рекомендованные для переработки цирконийсодержащих руд и концентратов, основанные на спекании или сплавлении с оксидами и карбонатами щелочных металлов, гидроксидом натрия, содой, кремнефторидом калия, не всегда обеспечивают высокие показатели извлечения при переработке подобного сырья, не учитывают особенности вещественного состава. Сопряжены с образованием больших объемов экологически опасных солянокислых разбавленных растворов, для нейтрализации и утилизации которых необходимы дополнительные затраты, и безвозвратными потерями циркония за счет образования при спекании кислоторастворимых соединений.

Для переработки цирконовых концентратов за рубежом в основном используется хлорирование с последующим получением металлического циркония.

Промышленное получение циркония реакторной чистоты осуществляется в России электролизом фторидно-хлоридных расплавов.

Сегодня на АО «ЧМЗ» внедрена уникальная технология производства циркониевой губки ядерной чистоты путем магнетермического восстановления.

Одним из перспективных методов переработки цирконовых концентратов с получением циркония высокой чистоты является способ CSIRO, сочетающий сульфатизацию с предварительной плазменной активацией циркона.

Сернокислотная технология также используется для очистки черновых бадделеитовых концентратов. Технология, реализованная на ОАО «Ковдорский ГОК», включает сульфатизацию концентрата при температуре 180-200°C в течение 0.5-1 часа. По внедренной технологии работает цех по выпуску очищенного бадделеитового концентрата [2].

Альтернативным сернокислотному и хлорному способам является фторидная технология, при этом предпочтение отдается фторированию газообразным HF и элементарным фтором. Однако, пока нет реализованных в промышленности технологических схем, позволяющих комплексно и с высоким выходом извлекать цирконий из цирконсодержащего сырья, хотя попытки создания таких технологий предпринимаются.

Технология была опробована на пробах рудопроявления Алгама (Хабаровский край, Россия). Объектом исследования была особая активная форма циркона (гельциркон). Фторирование гельциркона протекало с образованием твердых комплексных фтораммониевых солей $(\text{NH}_4)_3\text{ZrF}_7$ и $(\text{NH}_4)_3\text{SiF}_7$, ступенчатое термическое разложение которых с выделением оборотного NH_4F и разделение циркония и кремния за счет низкотемпературной сублимации (отгонки) гексафторсиликата аммония позволило построить замкнутую по реагенту схему с получением целевых продуктов высокой чистоты [3].

Важной проблемой, осложняющей процесс производства и переработки цирконийсодержащих концентратов, является относительно высокое содержание в них природных радионуклидов, прежде всего, урана и тория.

Для дезактивации бадделеитовых и цирконовых концентратов предложены способы, включающий обработку концентрата растворами минеральных кислот и щелочей [4].

Потенциальным источником циркониевой продукции является эвдиалитовый концентрат. Перспективным методом переработки эвдиалитового концентрата может являться его разложение минеральной (соляной или азотной) кислотой с последующей термической обработкой и водным выщелачиванием получаемого геля в автоклавных условиях [5].

Заслуживает внимания вариант технологии переработки эвдиалитового концентрата, предусматривающей совмещение процессов разложения с экстракцией циркония. Трибутилфосфат насыщенный азотной кислотой вводят на стадию разложения. Степень извлечения циркония за счет перевода его в органическую фазу составляет – 95-99%.

Таким образом, на основе анализа существующих технологий переработки цирконийсодержащих руд и концентратов показано, что единственной освоенной промышленностью технологией является хлорная. Несмотря на имеющиеся технологические разработки, в том числе фторидную технологию, для переработки других концентратов (бадделейтовый, эвдиалитовый и др.), они требуют промышленной апробации с технико-экономическим обоснованием их целесообразности применения.

Литература

1. Информационно-аналитический центр «Минерал». URL: <http://www.mineral.ru/Facts/stat/124/229/index.html> (дата обращения: 06.09.2017)
2. Лебедев В.Н., Локшин Э.П., Бармин И.С., Ахметшина Л.Н., Забальский Д.В. Очистка бадделейтового концентрата разбавленными кислотами // Обогащение руд. 2006. №. 5. С. 16-19.
3. Патент РФ 2576710, МПК С22В34/14, С22В59/00, С22В1/00, С22В3/04. Способ бифторидной переработки редкого и редкоземельного минерального сырья. Гончаров А. А., Калашников Ю.Д., Мельниченко Е.И., Коваленко Д. В. Заявл. 08.10.14. Оpubл. 10.03.16.
4. Соколов В.Д., Кознов А.В., Селезнев А.О. Способ дезактивации цирконийсодержащего концентрата. Охранный документ № 0002574055. Дата охранного документа 29.02.2016.
5. Патент РФ 2522074, МПК С22В59/00, С22В34/14, С22В3/06. Способ переработки эвдиалитового концентрата. Матвеев В.А., Калинин В.Т., Майоров Д.В., Красилов С.А. Заявл. 05.07.2013. Оpubл. 10.07.2014.

ВЛИЯНИЕ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА СТРУКТУРНЫЕ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛМАЗОВ И ПОРОДОБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ КИМБЕРЛИТА

Анашкина Н.Е.

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

Повышение эффективности обогащения алмазосодержащих руд может быть достигнуто благодаря применению новых энергосберегающих методов, направленных на увеличение качества концентратов за счет разупрочнения кимберлита, селективное распознавание и выведе-

ние кристаллов алмазов при дроблении и измельчении, выявление новых разделительных признаков и увеличение контрастности физико-химических, электрофизических и технологических свойств алмазов и минералов породы.

В последние годы в России и за рубежом проводится широкий комплекс исследований по использованию нетрадиционных (немеханических) физических и физико-химических методов воздействия на минералы и минеральные суспензии для повышения контрастности физико-химических и технологических свойств минералов и, как следствие, эффективности разделения минеральных компонентов при обогащении руд сложного вещественного состава. Применение этих методов в процессах переработки алмазосодержащих кимберлитов будет способствовать повышению качества концентратов за счёт увеличения контрастности гидрофобных, липофобных, люминесцентных свойств алмазов и минералов породы [1].

В работах [2, 3] впервые сформулированы условия реализации и рассмотрены возможные механизмы процесса дезинтеграции и изменения контрастности свойств тонкодисперсных минеральных сред при нетепловом воздействии коротких (наносекундной длительности $\sim 1-10$ нс) электромагнитных импульсов (МЭМИ) с высокой напряжённостью электрического поля ($E \sim 10^7$ В/м). Так как энергия одного импульса (~ 0.1 Дж) и всей серии импульсов сравнительно мала, воздействия МЭМИ не приводят к существенному повышению температуры образца.

Материалы и методики исследований. Исследования проводили на пробах синтетических алмазов марки АС-120 с размером частиц $-50+40$ мкм и кристаллах природных технических алмазов класса крупности $-2+1$ мм из триасовых россыпей участка Булкур Нижне-Ленского района (северо-восточная часть Сибирской платформы). Для исследования влияния МЭМИ на породообразующие минералы кимберлитов (серпентин, оливин и кальцит) использовались образцы из месторождений Якутии.

Параметры импульсной обработки: τ (фронта импульса) $\sim 1-5$ нс, τ (длительность импульса) ~ 50 нс, U (амплитуда импульса) ~ 25 кВ, $E \sim 10^7$ В·м⁻¹, частота повторения импульсов 100 Гц, энергия в импульсе ~ 0.1 Дж, диапазон изменения времени электроимпульсной обработки $t_{\text{обр}}$ $- 10-150$ с, т.е. число МЭМИ $N_{\text{имп}} \sim (1-15) \cdot 10^3$.

Для анализа фазового состава и структурных примесей кристаллов природных технических алмазов использовали методы РФЭС (спектрометр Kratos Axis Ultra DLD с монохроматическим источником рентгеновского излучения AlK_{α}) и ИК-фурье-спектроскопии (спектрометр Nicolet-380 с микроосветительной приставкой фирмы Karl Zeiss; диапа-

зон волновых чисел $400-4000 \text{ см}^{-1}$). Морфологические и структурно-химические свойства поверхности алмазов изучали методами аналитической электронной (РЭМ – РСМА, растровый электронный микроскоп LEO 1420VP – EDX Oxford INCA Energy 350, низковакуумный микроскоп JEOL JSM-6610LV) и оптической (ОМ, оптический стереомикроскоп Olympus SZ61) микроскопии.

Оценку смачиваемости поверхности алмазов проводили на контактном приборе конструкции В.А.Глембоцкого КП–ЦК5. Флотиримость природных алмазов до и после электромагнитной импульсной обработки изучали методом беспенной флотации в дистиллированной воде без реагентов в трубке Халлимонда. Микротвердость порообразующих минералов в исходном состоянии и после обработки минеральных аншлифов МЭМИ определяли по методу Виккерса (HV, МПа) на микротвердомере ПМТ-3М, оснащенный фотоэлектрическим окулярным микрометром ФОМ-2.

Влияние МЭМИ на микротвердость порообразующих минералов кимберлита и алмазов. В целом максимальное относительное снижение микротвердости минералов достигало 42-66% в результате воздействия МЭМИ в течение 100 и 150 с. Для минералов с низкой твердостью (кальцит, серпентин) резкое снижение микротвердости достигалось уже при $t_{\text{обр}} = 10-30 \text{ с}$. Скорость изменения микротвердости,

по всей видимости, определяется твердостью минералов (природой химических связей, валентностью) и максимальна при малых дозах электромагнитного импульсного излучения для минералов со сравнительно низким уровнем твердости.

Нетепловое воздействие МЭМИ не вызывает образования микроповреждений кристаллов алмазов (диагностируемых методами микроскопии), так как величина электрического поля пробоя алмаза порядка $10^9 \text{ В}\cdot\text{м}^{-1}$, т.е. на два порядка превышает величину напряженности электрической компоненты поля E в межэлектродном промежутке генератора импульсов. По данным ИКФС в результате импульсного воздействия отмечались незначительные изменения структуры кристаллов алмаза, проявляющиеся в увеличении концентрации дефектов микросдвиговой природы, представленных междуузельными углеродными атомами – плейтлетс или В2. Подобные структурные изменения зафиксированы по систематическому увеличению коэффициента поглощения линии ИК-спектра около 1365 см^{-1} , обусловленной В2-дефектами, с ростом продолжительности обработки МЭМИ (таблица 1). Анализ микротвердости кристаллов алмаза показал, что подвергшихся деформации в природных условиях, что центры группы В увеличивают дисперсионную прочность природных алмазов по сравнению с исходным состоянием в 1,75 раза.

Таблица 1 – Содержание В2 дефектов в кристаллах природного алмаза в зависимости от времени обработки МЭМИ

№обр	Содержание В2, отн.ед					
	0 с	10 с	30 с	50 с	100 с	150 с
Б-3	7,04	8,31	9,9	9,5	10,7	10,9
Б-7	9,77	10,25	10,5	11,3	11,7	12,77
Б-8	9,89	13,9	14,3	19,65	19,7	19,94
Б-10	7,5	7,12	7,95	7,6	8,33	8,84
Б-12	6,28	6,46	6,43	7,5	7,66	7,28
Б-16	9,27	9,56	9,87	10,31	10,5	11,23
Б-17	6,41	11,72	10,83	10,5	10,65	10,55

Влияние импульсных энергетических воздействий на фазовый состав поверхности, гидрофобность и флотационные свойства алмазов

Анализ данных РФЭС показал, что структурно-химические преобразования поверхностного слоя кристаллов синтетических алмазов в результате обработки МЭМИ в основном связаны с изменением химического состояния атомов кислорода. В спектре O 1s-уровня наблюдали увеличение доли (ат. %) пика с $E_{св} = 530.9$ эВ на 3.2-4.3%, относящегося к кислороду гидроксильных групп, связанных с поверхностными атомами металлов (привнесенных при синтезе алмаза), или к кислороду в составе C=O поверхностных карбонильных группировок, что говорит о процессе гидроксирования поверхности кристаллов при $t_{обр} > 30$ с.

По данным РЭМ–РСМА в процессе обработки МЭМИ ($t_{обр} \geq 30$ с) кристалла природного алмаза происходило отделение фрагментов размером от 40 до 100 мкм вторичных минеральных фаз от поверхности алмаза, предположительно, сульфата кальция и оксидов (гидроксидов) железа, что свидетельствует об очищении поверхности от минеральных примесей.

ИК-спектры алмазов включали несколько систем спектральных линий. Полосы поглощения в области $1900-2600$ см⁻¹ обусловлены собственными колебаниями кристаллической решетки алмаза. Система линий 2860, 2930 и 2960 см⁻¹ связана с колебаниями CH₃- и CH₂- групп алифатических структур. Широкая диффузная полоса с максимумом ~3400 см⁻¹ и сопряжённая с ней линия ~1650 см⁻¹ связаны с поглощением OH-групп, по всей видимости, входящих в состав адсорбированной воды.

В результате воздействия на образцы природных алмазов высоковольтных наносекундных импульсов с увеличением продолжительности электроимпульсной обработки заметно изменялись ИК-спектры кристаллов. Прежде всего, это относится к кристаллам, имеющим на по-

верхности минеральные плёнки оксидов железа, примазки глинистых минералов и другие примеси, обусловленные длительным нахождением алмаза в экзогенных обстановках. Практически все изученные образцы, в которых обнаружены фазовые примеси, содержащие охарактеризованные выше углеводородные и ОН-группы, лишились этих примесей в результате воздействия электромагнитных импульсов.

В результате экспериментов по оценке влияния МЭМИ на гидрофобно-гидрофильное состояние поверхности природных алмазов среди образцов в исходном состоянии выделены три условных типа алмазных кристаллов: с гидрофобной, гидрофильной поверхностью и алмазы со смешанными свойствами. В ходе обработки число гидрофильных алмазов снижалось на 22% (с 45% до 23%), достигая минимума при длительности обработки $t_{обр} \sim 150$ с, а число кристаллов со смешанными свойствами увеличивалось. При этом максимальное содержание гидрофобных алмазов отмечалось при обработке в течение $t_{обр} \sim 50$ с, а при увеличении времени воздействия число гидрофобных индивидов снижалось.

Оценку флотационных свойств природных алмазов различных классификационных типов проводили методом беспенной флотации в трубке Халлимонта. Флотацию алмазов проводили до и после электромагнитной импульсной обработки кристаллов.

В результате проведенных экспериментов установлена нелинейная зависимость флотуемости алмазов от времени электроимпульсного воздействия с максимумом при $t_{обр} \sim 150$ с. В целом, содержание флотуемых кристаллов повышалось на 14% (с 47% до 61%). Обращает на себя внимание тот факт, что в области малых «доз» электромагнитного излучения ($t_{обр} \leq 30$ с) происходило значительное увеличение флотационной активности алмазов, максимальное содержание гидрофобных флотуемых алмазов достигалось в результате предварительной импульсной обработки кристаллов в течение $t_{обр} \sim 30$ с. Содержание гидрофильных нефлотуемых алмазов существенно уменьшалось после обработки МЭМИ в течение $t_{обр} \sim 10-30$ с.

В результате проведенных экспериментальных исследований по воздействию высоковольтных наносекундных импульсов на породообразующие минералы кимберлита, природные технические и синтетические алмазы получены следующие новые результаты:

1. Установлен эффект разнонаправленного изменения механических свойств (микротвердости) породообразующих минералов кимберлита (оливина, серпентина, кальцита) и кристаллов алмазов в условиях нетеплового воздействия наносекундных МЭМИ, состоящий в разупрочнении поверхностного слоя минералов породы и уменьшении их микротвердости в целом на 40–60% вследствие образования структурных де-

фектов и одновременном росте концентрации В2-дефектов в кристаллической структуре алмазов с увеличением продолжительности электромагнитного импульсного воздействия, что, предположительно, вызывает повышение прочностных свойств алмазных кристаллов. Полученный результат свидетельствует о возможности применения импульсных энергетических воздействий для повышения эффективности разупрочнения породообразующих минералов алмазосодержащих кимберлитов без повреждения алмазных кристаллов и обеспечения их сохранности процессах последующего измельчения руд.

2. Выявлено, что повышение гидрофобности образцов алмаза в результате обработки МЭМИ связано с отслоением и частичным разрушением минеральных плёнок на поверхности кристаллов, что свидетельствует о целесообразности применения высоковольтных наносекундных импульсов для эффективной деструкции и удаления гидрофильных минеральных микро- и наночастиц с поверхности кристаллов алмазов и увеличения контрастности физико-химических и технологических свойств минералов кимберлитов. Длительное энергетическое воздействие привело к окислению поверхности чистых кристаллов (подтверждено методом РФЭС для синтетических алмазов), что вызывало снижение гидрофобности алмазов и появление у них смешанных (гидрофобно-гидрофильных) свойств.

3. Экспериментально установлен эффект повышения флотационной активности природных алмазов на 14% (с 47% до 61%) в результате обработки алмазных кристаллов наносекундными МЭМИ ($t_{обр} \sim 10 - 50$ с), что указывает на принципиальную возможность использования импульсных энергетических воздействий для интенсификации процесса флотации алмазов при переработке алмазосодержащих кимберлитов.

Литература

1. Чантурия В. А., Бондарь С. С., Годун К. В., Горячев Б. Е. Современное состояние алмазодобывающей отрасли России и основных алмазодобывающих стран мира // Горный журнал. – 2015. – № 3. – С. 67–75.

2. Swart A. J. Evaluating the effects of radio-frequency treatment on rock samples: Implications for rock comminution // *Geochemistry – Earth's System Processes*, Edited by Dr. Dionisios Panagiotaras. — INTECH Open Access Publisher, 2012. — PP. 457-484.

3. Бунин И. Ж. Теоретические основы воздействия наносекундных электромагнитных импульсов на процессы дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов и извлечения благородных металлов из руд: дис. ... докт. техн. наук. – М.: ИПКОН РАН, 2009. – 324 с.

4. Налетов А. М., Ключев Ю. А., Григорьев О. Н. и др. Влияние оптически активных центров на прочностные свойства алмаза // Докл АН СССР. – 1979. – т. 246. – №7. – С.83-86.

ИННОВАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ И УРАНОВЫХ РУД В ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Ахмеджанов Т.К., Нуранбаева Б.М., Берикболов С.Б.

УО Каспийский Университет, г.Алматы, Казахстан

**Научная статья посвящается 25-летию Каспийского
общественного университета**

Казахстан является одной из ведущих стран по добыче и переработки урана. При этом, как и во всей горнодобывающей промышленности Республики Казахстан в настоящее время в отвалах и хвостохранилищах скопилось более 10 млрд.т. отходов, а занимаемая ими площадь плодородных земельных угодий составляет более 20 тыс.га. При чем, ценность некоторых отходов цветной и черной металлургии составляет 25-50 % от суммарной ценности добытого минерального сырья. В настоящее время значительное внимание уделяется на указанные отходы, как источник получения дополнительных полезных компонентов, так и с точки зрения снижения их влияния на экологию горнодобывающих регионов. При переработке и добыче урана, а также для утилизации забалансовых и труднообогатимых руд цветных и драгоценных металлов в отвалах в мировой и отечественной практике широко применяют способы кучного выщелачивания полезных компонентов. При кучном выщелачивании полезных компонентов используют различные токсичные вещества как, например, цианиды при выщелачивании золота, а так же растворы (серной, соляной и других кислот) при выщелачивании меди, цинка, свинца и др., которые отрицательно сказываются на окружающей среде, флоре и фауне регионов. При этом наиболее сильному загрязнению от утечек таких растворов, выделения пыли и газов подвергаются почва и грунтовые воды, а также атмосфера и близлежащие водоемы (реки, озера).

Анализ проведенных до настоящего времени исследований показывает, что вопросы разработки способов предотвращения загрязнения окружающей среды при кучном выщелачивании руд в районах открытой добычи требуют дальнейшего совершенствования. Поэтому разработка способов совместной утилизации и захоронения отходов добычи и переработки золотосодержащих и урановых руд для снижения степени загрязнения окружающей среды при кучном выщелачивании с использованием ранее отработанных горных выработок типа карьеров является актуальной научной задачей.

Предлагаемый способ совместного выщелачивания заключается в следующем.

В предлагаемом способе переработки руды, включающем определение высоты и пористости кучи, плотности и минимального размера гранул руды, коэффициента, учитывающего динамику процесса, содержания фракции 0-1 мм в руде и ее максимальную молекулярную влагоемкость, высоты кольматационного слоя и фракции 0-1 мм, поверхностного натяжения выщелачивающего раствора и краевого угла смачивания, отличающийся тем, что с целью повышения эффективности выщелачивания руды и захоронения отходов выщелачивания и переработки атомной промышленности, кучи формируют в пространстве отработанных карьеров, путем перемешивания объема руды (V_p) с объемом радиоактивных отходов (породы, пульпы и т.д.) (V_{po}) в соотношении

$$\frac{V_p}{V_{po}}=3, \text{ с последующим покрытием всех сторон поверхности кучи ра-}$$

диоактивными отходами атомной промышленности.

В предлагаемом способе осуществляется перемешивание выщелачиваемой руды с радиоактивными отходами (порода, пульпа и т.д.), что позволит повысить температуру и теплообмен между раствором и выщелачиваемой рудой, что в свою очередь приводит к интенсивному окислению руды, а, следовательно, к увеличению выхода в раствор полезных компонентов. Для увеличения теплообмена в куче ее поверхность так же покрывается радиоактивными отходами атомной промышленности. Все это приводит к повышению эффективности выщелачивания. Кроме того, для исключения появления новых отходов выщелачивания предлагается формировать кучи в отработанных карьерах для последующего их захоронения.

Предлагаемый способ выщелачивания осуществляется следующим образом. Способ выщелачивания реализовывался на моделях в лабораторных условиях. Для этого провели гранулометрический анализ подвергаемой переработке золотосодержащей руды по предлагаемому способу выщелачивания. Гранулометрический анализ осуществлялся весовым методом с определенным объемом руды. Объем руды обосновывается методом выборки для обеспечения репрезентативности модели.

Результаты вычисления пористости модели выщелачиваемой руды и радиоактивных отходов были подвергнуты экспериментальной проверке.

Вычисленная и экспериментальная пористости выщелачиваемого объема вместе с радиоактивными отходами совпадали с относительной погрешностью до 15 %. Можно сделать вывод о том, что таким образом выбранная модель адекватна реальному объекту.

Таким образом, модель формируется на бетонной плите с отверстием для стока выщелачиваемого раствора. Бетонная плита является вогнутой, так чтобы раствор вытекал из отверстия.

Модельная куча формировалась таким образом, чтобы отношение объемов руды V_p с объемом радиоактивных отходов V_{po} соответство-

вало $\frac{V_p}{V_{po}} = 3$, а также поверхность ее покрывалась радиоактивными

отходами.

Модельная куча орошалась 2 % тиосульфатным раствором. Продуктивный раствор после выщелачивания подвергался обработке редокситами, заменяющих ионообменные смолы для извлечения золота (табл.1).

Таблица 1 – Результаты выщелачивания золотосодержащей руды на моделях в лабораторных условиях

Тип руды	Извлечение Au в продуктивный раствор	
	Без радиоактивных отходов	По предлагаемому способу
Сульфидная руда месторождения Акбакай с содержанием золота 1,6 г/т	75-78	80-85
Руда с содержанием золота 2,0 г/т	87-96	93-97

Таким образом, предлагаемый способ выщелачивания руды позволяет повысить эффективность выщелачивания, а также снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, за счет захоронения отходов выщелачивания и атомной промышленности в отработанных карьерах.

Для повышения эффективности орошения при кучном выщелачивании и увеличения степени охвата руды в объеме кучи воздействием выщелачивающего раствора предлагается также новый способ орошения, сущность которого заключается в следующем.

Согласно этого способа кучное выщелачивание забалансовых и труднообогатимых руд включает покрытие кучи слоем определенной высоты из мелкопористого материала, например, из отходов урановой руды. Это позволит повысить полноту обработки рудной массы.

Для уменьшения потерь руды от коагуляционных явлений и степени загрязнения окружающей среды растворами нами разработан и апробирован новый способ орошения, который обеспечивает стационарный режим фильтрации выщелачивающей жидкости в навале руды.

Сущность данного способа заключается в следующем. При формировании кучи высотой h_k на ее поверхности перед орошением отсыпается слой из мелкопористого материала высотой h_c (рис.1). Отсыпанный слой из мелкопористой урановой руды предназначен для дозированной и равномерной подачи раствора по всей горизонтальной поверхности кучи. Кроме того, он предотвращает интенсивное испарение выщелачивающего раствора, так как последний подается внутрь этого слоя, т.е. место подачи раствора изолировано от атмосферы, что весьма важно при цианидном выщелачивании золота. Этот способ позволяет также повысить эффективность выщелачивания за счет: предотвращения явлений коагуляции; равномерности обработки объема раствором; увеличения времени взаимодействия выщелачивающего раствора с рудой. Эти факторы повышают извлечение полезных компонентов из куч, а также снижают затраты на выщелачивание за счет уменьшения необходимости многократного оборотного орошения руды для получения требуемой концентрации полезных компонентов в растворе, отсутствия запруд и других ирригационных сооружений. Перечисленные факторы уменьшают в конечном итоге степень загрязнения окружающей среды растворами.

Предлагаемый способ орошения выщелачиваемых куч осуществляется исходя из предварительного расчетного определения параметров насыпного слоя. В результате правильного подбора слоя сыпучего мелкопористого материала можно повысить эффективность выщелачивания за счет полноты извлечения полезных компонентов.

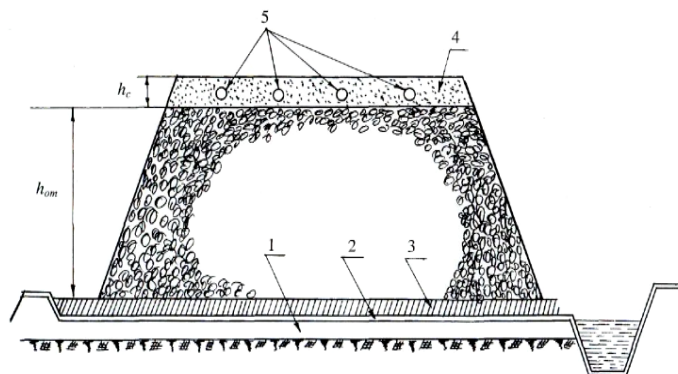


Рис. 1. Схема способа закрытого орошения при кучном выщелачивании руды
*1 – глина; 2 – полиэтиленовая пленка; 3 – песок;
 4 – мелкопористый насыпной слой; 5 – трубы для подачи раствора*

Кроме того, создание такого насыпного слоя исключает многократное строительство оросительных систем, снижает испарение и утечки продуктивных растворов и пылевыведение с горизонтальной поверхности кучи в окружающую среду за счет равномерности орошения и стационарности режима фильтрации жидкости и увлажненности поверхностного слоя.

Испытания в промышленных условиях предлагаемого способа орошения в условиях месторождения «Карьерное» показали высокую его эффективность.

Литература

1. Ахмеджанов Т.К., Берикболов С.Б., Нуранбаева Б.М. и др. // Инновационный патент РК. Способ выщелачивания руды.

2. Ахмеджанов Т.К., Берикболов С.Б., Нуранбаева Б.М. и др. //Инновационный патент РК. Способ кучного выщелачивания забалансовых и труднообогатимых руд.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ С ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТЬЮ

Ахмеджанов Т.К., Нуранбаева Б.М., Игембаев И.Б.

УО Каспийский Университет, г.Алматы, Казахстан

**Научная статья посвящается 25-летию Каспийского
общественного университета**

Общеизвестно возрастающее значение нефти в мировой экономике. Если учитывать сложившийся рост энергопотребления, то при существующей технологии добычи нефти эти запасы могут быть исчерпаны в течение максимум пятидесяти лет. Вместе с тем необходимо учесть, что нефть – не только энергетическое сырье. Важно сохранить ее запасы на более длительное время и прежде всего в качестве сырья для получения ряда ценных химических продуктов различного назначения.

В этой связи возникает необходимость более полного извлечения нефти из пластов, т.к. до настоящего времени неизвлеченные остаточные запасы составляют 60-80% от геологических. Сейчас создаются новые технические средства и технологические приемы, обеспечивающие более высокую полноту извлечения нефти из недр к которым можно отнести и тепловые технологии для извлечения высоковязкой нефти. Увеличение потребности в энергии и связанные с этим экологические проблемы вызвали рост интереса к методам повышения нефтеотдачи пластов с применением возобновляемых видов энергий.

В последнее десятилетие в нашей стране и за рубежом исследован ряд методов разработки нефтяных месторождений, позволяющих достичь более высокой нефтеотдачи, чем при обычном заводнении нефтяных пластов. Однако не все предложенные методы достаточно изучены, испытаны и, самое главное, не все приемлемы с экономической точки зрения. Большинство методов требует значительных капитальных вложений на дополнительную добычу нефти. Некоторые из них технически трудно осуществимы. Исследования показывают, что существенно увеличить коэффициент нефтеотдачи можно путем изменения технологии вскрытия пластов и добычи нефти, физических и физико-химических свойств вытесняющего агента, применения углеводородных растворителей, углекислоты, мицеллярных растворов, поверхностно-активных веществ, полимерных растворов и других агентов и, наконец, изменения температурного режима процесса вытеснения высоковязкой нефти из пласта.

Особое место термических методов воздействия на пласт обусловлено тем, что для их реализации используют широко доступные агенты – воду и воздух (окислитель). Масштабы применения этих методов не зависят от возможностей получения больших количеств химических реагентов, необходимых для внедрения физико-химических методов повышения нефтеотдачи пластов.

Развитию термических методов добычи высоковязкой нефти во многих нефтедобывающих странах мира уделяют большое внимание. В США, Венесуэле, Канаде термические методы широко применяют на многих месторождениях. Интерес к термическим методам добычи нефти с каждым годом возрастает. Вместе с тем термические методы основанные на подогреве воды и получении пара отличаются высокой степенью затрат на образования тепла и его большими потерями. Для подогрева пластовой нефти наиболее распространенным способом является закачка водяного пара высокой температуры.

На основании лабораторных и промысловых опытов установлено, что наиболее эффективным рабочим агентом, используемым для увеличения нефтеотдачи, является насыщенный водяной пар высоких давлений (8-15 МПа).

При этом закачка водяного пара является более эффективным методом, чем закачка горячей воды. Уже доказана высокая эффективность от нагнетания высокотемпературного пара и горячей воды при различных геолого-физических условиях" например, на месторождениях Кенкиак, Гремихинское и др. Это указывает на то, что при соответствующей небольшой модификации оборудования можно перейти от обычного заводнения к тепловому воздействию посредством нагревания нагнетаемой в пласт воды и пара.

Эффективность внедрения паротепловых методов воздействия на пласт во многом зависит от геолого-физических условий залегания нефтяных пластов. К ним относятся: глубина залегания; тип коллектора; характер насыщения коллектора нефтью, водой и газом, физико-химических свойства нефти, теплофизические свойства продуктивных горных пород пластов, насыщенных водой, нефтью и газом.

Так как объектом термического воздействия является нефть, насыщающая пласт, то при ее нагревании приходится нагревать и остаточную воду, и собственно породу. Следовательно, количество тепла, которое необходимо для нагрева нефти в пласте до заданной температуры, представляет собой функцию относительных объемов нефти, воды и породы и соотношения их теплоемкостей. При этом средняя теплоемкость коллектора может быть определена по формуле:

$$C_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$$

где C_i – теплоемкости входящих в коллектор элементов, т.е. воды, нефти, газа, горной породы.

Основными недостатками всех паротепловых методов воздействия на пласты является большие затраты на получение горячей воды и пара.

Нами предлагается инновационная схема получения горячей воды и пара с использованием солнечных коллекторов тепла, расположенных непосредственно у нагнетательных скважин.

При этом предлагается следующая технологическая схема получения и транспортировки горячей воды и пара (рис.1).

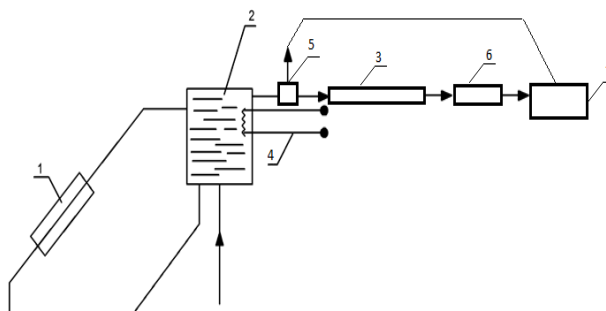


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема гелиоустановки горячего водопароснабжения

1 – солнечный коллектор, «черный ящик» для получения горячей воды; 2 – теплообменник; 3 – солнечный коллектор для получения пара; 4 – резервный источник нагрева воды в бессолнечный период; 5 – циркуляционный насос; 6- высокотемпературный водяной пар; 7 – скважина

Нами разработан солнечный коллектор, содержащий корпус из теплоизолированного элемента, при этом внутренняя часть корпуса окрашена в черный цвет и в верхней части корпуса на металлическом каркасе установлена светопроницаемая оболочка в виде цилиндрической формы из пластиковых линз, заполненная на половину нефтяным маслом, что обеспечивает максимальное поглощение и фокусирование прямой и рассеянной солнечной радиации [1].

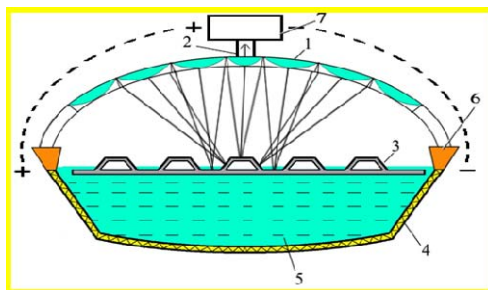


Рис. 2. Солнечный коллектор для опреснения воды и получения высокотемпературного пара и электроэнергии:

- 1 – фокусирующая линза,
2 – переключной клапан для пара,
3 – усеченный цилиндрический конус,
4 – электронагревательный элемент,
5 – опресняемая вода, 6 – желоб для сбора опресненной воды,
7 – паротурбина*

Недостатком данного устройства является невозможность его использования для получения водяного пара с высокой температурой.

В связи с этим нами разработана другая конструкция солнечного коллектора, обеспечивающего возможность опреснения морских и пластовых вод солнечным излучением и получением высокотемпературного водяного пара [2].

Сущность разработанного нами солнечного коллектора поясняется чертежом, как показано на рис.2.

Расчет экономической эффективности получения пресной воды проводился на 1 м³ солнечной морской воды и составил для одного модуля.

1. Срок окупаемости вложений – 1 год.
2. Прибыль от производства пресной воды 50 тг/м³.
3. Рентабельность производства – 50 %.

Литература

1. Ахмеджанов Т.К., Нуранбаева Б.М. и др. Солнечный коллектор для получения пара и электроэнергии //Инновационный патент №31256 на изобретение РК., 15.06.2016, бюл.№6.

2. Ахмеджанов Т.К., Нуранбаева Б.М. и др. Солнечный коллектор //Инновационный патент РК №28369 от 15.04.2014г., бюл. №4.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕАГЕНТА ВКП ПРИ ФЛОТАЦИИ МЕДНЫХ РУД

Чижевский В.Б., Гришин И.А., Фадеева Н.В., Гмызина Н.В.

*Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова»*

Реагент ВКП является кубовым остатком ректификации продуктов синтеза 2-этилгексанола из масляного альдегида и представляет собой подвижную жидкость от желтого до коричневого цвета и имеет следующие физико-химические свойства:

Плотность, кг/м^3 – 0,854-0,897.

Начало кипения, К – 513.

Показатель преломления – 1,468-1,4713.

Содержание фракций, %, выкипающих при температуре, К: 578 – 50;
613 – 90.

Вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$, не более $4,5 \cdot 10^{-7}$.

Температура вспышки, К, не ниже – 343.

Температура застывания, К, не выше 233.

Растворимость в воде, %, менее 2.

Реагент содержит масляный и изомасляный альдегиды, бутанол и изобутанол, 2-этилгексаналя, 2-этилгексанол, его димеры и тримеры. Кроме 2-этилгексанола (14,12%), в реагенте содержится 83,91% соединений с температурой выкипания более 371К при давлении 1330Па, в том числе 38,45% димеров и тримеров 2-этилгексанола [1].

Изучение пенообразующей способности реагента выполнялось на стандартной установке, позволяющей определять высоту столба образующейся пены и скорость ее разрушения. Для оценки пенообразующей способности реагента ВКП использовался вспениватель Т-80. Результаты приведены на рисунке.

Данные рисунка свидетельствуют о том, что при концентрации до $7,5 \cdot 10^{-5} \text{кг/дм}^3$ пенообразующая способность реагента ВКП несколько выше, а затем снижается и становится меньше, чем у реагента Т-80. Устойчивость двухфазной пены в случае реагента ВКП с увеличением его концентрации повышается и при концентрации более $15 \cdot 10^{-5} \text{кг/дм}^3$ становится выше, чем в случае реагента Т-80.

Для оценки действия при флотации реагента ВКП выполнена флотация вкрапленной медной руды с использованием в качестве вспенивателя реагентов ВКП и Т-80. Массовая доля меди в руде составляла 0,75%. Медь в руде на 86,7% представлена халькопиритом, имеются борнит и окисленные минералы. Измельчение руды производилось на лабораторной барабанной мельнице периодического действия объемом

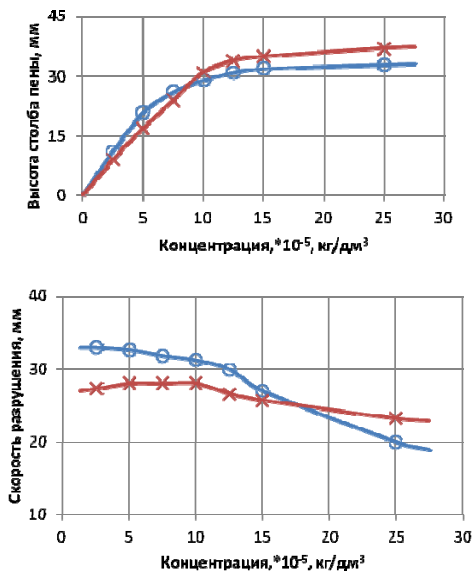


Рис. Влияние концентрации реагентов ВКП (1) и Т-80 (2) на высоту столба пены и скорость ее разрушения

2,3дм³ до крупности 65% класса -0,074мм при соотношении Т:Ж:Ш=1:1:6. Флотация выполнялась на лабораторной флотомашине механического типа с объемом камеры 1,8дм³ при содержании твердого 30%. Расход бутилового ксантогената составлял 0,08кг/т. Выполнялась основная флотация, величина рН составляла 7,9-8,1. Результаты флотации приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние расхода вспенивателей на показатели флотации

Наименование показателей	Расход вспенивателей, кг/т				
	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
	Реагент Т-80				
Выход концентрата, %	9,3	9,82	9,99	10,45	10,58
Массовая доля меди в концентрате, %	6,04	5,87	5,84	5,67	5,63
Извлечение меди в концентрат, %	74,95	76,88	77,82	79,03	79,45
	Реагент ВКП				
Выход концентрата, %	9,27	9,93	10,19	10,61	11,08
Массовая доля меди в концентрате, %	6,15	5,94	5,99	5,81	5,62
Извлечение меди в концентрат, %	76,07	78,65	81,42	82,23	83,06

Из данных таблицы 1 видно, что с увеличением расхода вспенивателей выход концентратов повышается, а массовая доля меди в них уменьшается. Значительную роль при этом играет механический вынос тонких частиц вмещающих пород. Увеличение выхода концентратов при некотором снижении качества обеспечивает повышение извлечения меди в концентраты. При этом прирост извлечения с увеличением расхода вспенивателей замедляется. В изученном диапазоне расхода вспенивателей в случае использования реагента ВКП извлечение выше 1,12-3,61%. Для объяснения этого выполнен ситовый анализ концентратов, полученных при расходе реагентов 0,08кг/т, с определением массовой доли меди в отдельных классах крупности. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Гранулометрический состав концентратов

Классы крупности, мм	Концентрат с Т-80			Концентрат с ВКП		
	Показатели, %					
	Выход	Массовая доля	Извлечение	Выход	Массовая доля	Извлечение
+0,15	9,78	4,47	7,48	13,06	4,31	9,39
0,15-0,074	29,91	6,14	31,44	33,89	5,97	33,77
0,074-0,044	34,86	7,07	42,20	30,05	7,52	37,72
-0,044	25,45	4,33	18,88	23,00	4,97	19,12
Итого:	100,00	5,84	100,00	100,00	5,99	100,00

Данные таблицы показывают, что при использовании вспенивателя ВКП крупные классы +0,15, 0,15–0,074 мм флотировались лучше и их количество в концентрате на 7,26% больше.

Высокая эффективность действия вспенивателя ВКП, обеспечивающая повышение технологических показателей установлена и при флотации медно-молибденовых руд [2], показана также возможность снижения расхода собирателя [3].

Реагент ВКП является эффективным заменителем реагента Т-80.

Литература

1. Чижевский, В.Б. Физико-химические основы и интенсификация процесса флотации графитовых руд: диссертация ... доктора технических наук : 05.15.08. – Магнитогорск, 1990. – 416 с.
2. Чижевский, В.Б. Эффективность действия различных пенообразователей при флотации медно-молибденовой руды [Текст] / В.Б. Чижевский, Х.Г. Давлетбаев // Международное совещание «Плаксинские чтения-2005» Современные проблемы комплексной переработки природного и техногенного сырья – С.-Петербург, 2005. – С.92-93.

3. Чижевский, В.Б. Применение различных собирателей при флотации медно-молибденовых руд [Текст] / В.Б. Чижевский, Х.Г. Давлетбаев // Материалы 10-й Юбилейной международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», – Екатеринбург, изд. АБМ, 2005. С. 87-88.

КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Мязин В.П., Шумилова Л.В.

Забайкальский государственный университет

В Забайкальском крае имеются значительные разведанные запасы углей. Многолетними исследованиями в них установлено присутствие цветных, редких, редкоземельных элементов, а в ряде случаев платиноидов [1]. Ранее проведены исследования и показана перспективность использования углей Восточного Забайкалья и продуктов их сжигания в качестве нетрадиционного источника для извлечения микроэлементов [2]. Особый интерес при этом вызывают зольные уносы теплоэлектростанций, в которых содержание некоторых микроэлементов выше, чем в золе исходного угля.

По данным Министерства энергетики РФ, в золоотвалах российских ТЭС накоплено порядка 1 миллиарда 70 миллионов тонн золошлаков. Использование золы, золы-уноса и иных отходов в 2010 г. составило 9,8 млн т. (14% от объема их образования), в 2014 г. – 4,3 млн т. (15%) и в 2015 г. – 6,1 млн т. (23%). Поэтому в России необходимо переходить к массовым производствам и технологиям по использованию золошлаков, а для этого необходима государственная стратегия [3].

Цель работы: исследование на обогатимость золошлаковых отходов от сжигания углей Харанорского и Уртуйского месторождений на ТЭС региона с целью комплексного использования сырья.

Объектом исследования являются усредненные пробы харанорского угля (марка 2Б) и зольного уноса от сжигания их на Читинских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, пробы уртуйского угля (марка 3Б) от сжигания их на Краснокаменской ТЭЦ. При отборе зольных уносов с электрофильтров полученный материал усредняли методом квартования, в соответствии с методикой РД 153-34.1-02.203-99.

Учитывая сложный полиэлементный состав угля и зольных уносов, количественное определение проводилось двумя различными методами. Состав основных золообразующих компонентов определяли силикатным анализом, а для определения микрокомпонентного состава использовали полуколичественный спектральный анализ.

Результаты исследований показали, что продукты сжигания углей также как и угли, относятся: по содержанию соединений железа, в основном, к среднежелезистым (Fe_2O_3 в золе составило 5-12 %); по содержанию соединений алюминия – к среднеглиноземным (Al_2O_3 в золе 15-28 %); по содержанию соединений кальция и магния – к средне- и высококальциевым ($\text{CaO} + \text{MgO}$ в золе > 12 %).

Из малых элементов (микроэлементов), содержания которых не превышают 0,1 %, методом ICP-MS зафиксировано около 50 наименований. Из числа зафиксированных промышленно значимых элементов четко прослеживается во всех углях исследуемых месторождений и их золошлаках повышенное содержание некоторых редких и редкоземельных, а также цветных металлов.

Методом тяжелосредней сепарации золошлаки разделены на легкую (плотность менее $3,6 \text{ г/см}^3$) и тяжелую фракции. Дальнейшим гравитационным фракционированием установлено, что выход тяжелой фракции узких классов крупности находится в диапазоне 2,3-6,5 %. Минералогическими исследованиями установлено, что легкая фракция представлена, в основном, силикатами и алюмосиликатами, а на оксиды железа приходится от 3,0 до 20 %. В тяжелых фракциях доля оксидов железа составляет 65-75 %, алюмосиликатов – 18-25 %, пирита – 4-15 %.

Высокая ценность зольных уносов установлена на Краснокаменской ТЭЦ, где содержание Y, Yb и Zr оказалось практически равно порогу ценности (ПЦ), а в ряде случаев Ti превышает его. Концентрация малых элементов (Ti, Y, Yb) в зольных уносах от сжигания харанорских углей составляет 40-50 % от порога ценности, остальные элементы по отношению к углю превышают свое содержание в 2-3 раза. Поэтому в дальнейшем решено использовать методы обогащения магнитной и электростатической сепарации для повышения содержания ценных компонентов в зольных уносах.

Для получения предварительных данных поведения микроэлементов при магнитном и электрическом обогащении использовали полуколичественный спектральный анализ. Методом квадратования отбирали пробы весом 50 г. каждая.

В продуктах обогащения, по сравнению с исходным содержанием элементов в зольных уносах, наблюдается увеличение содержания Mo, Ti и Mn, в большей степени в магнитной фракции, а содержания элементов Zr, Y, Yb в немагнитной фракции.

Магнитные исследования осуществляли на лабораторном магнитном сепараторе 138-Т (таблица 1), исследования процесса электросепарации зольных уносов – на лабораторном барабанном электрическом сепараторе ЭС-3 (таблица 2). В процессе обогащения выделялись три продукта: проводники (фракция 1), промежуточные продукты (фракция 2) и диэлектрики (фракция 3).

Таблица 1 – Концентрирование элементов при магнитном обогащении

Элемент	Содержание, г/т											
	ТЭЦ-1						ТЭЦ-2					
	Исх.		10 кА		30 кА		Исх.		10 кА		30 кА	
ЗУ	маг. фр.	немаг. фр.	маг. фр.	немаг. фр.	маг. фр.	немаг. фр.	ЗУ	маг. фр.	немаг. фр.	маг. фр.	немаг. фр.	
Mo	3	5	2	3	3	3	15	1	1	15	15	
V	30	70	60	60	60	60	20	5	20	30	30	
Be	8	7	4	7	4	4	3	4	7	5	4	
Ti	4000	6000	4000	5000	5000	5000	2000	2000	3000	4000	2000	
Mn	800	1500	1000	800	800	800	1000	2000	800	2000	700	
Sc	15	15	10	15	7	7	10	7	10	10	7	
Zr	300	200	200	200	300	300	150	70	200	200	100	
Y	30	40	30	40	30	30	20	20	30	40	10	
Yb	3	3	3	3	3	3	2	20	30	40	10	
La	60	50	50	60	30	30	50	30	40	50	40	

Таблица 2 – Содержание элементов в продуктах электростагической сепарации

U, кВ	№ фр.	Выход, %	Элементы							
			V	Zr	Y	Yb	Ce	Sr		
10	1	9,55	109,15	274,18	37,72	4,31	147,69	1816,22		
	2	78,88	100,4	396,81	46,82	5,45	198,70	1704,09		
	3	11,57	105,69	169,28	28,82	3,14	117,39	1837,03		
20	1	27,75	101,15	160,80	25,00	3,84	101,30	1783,43		
	2	51,86	112,52	235,51	33,86	0,62	134,73	1683,13		
	3	20,39	109,08	223,66	32,12	0,62	131,98	1764,78		
ТЭЦ-2										
10	1	34,38	109,15	240,30	40,39	0,73	155,02	3425,20		
	2	52,98	100,44	219,90	39,53	0,69	148,00	3998,35		
	3	12,64	105,69	226,53	43,12	0,77	167,19	2708,99		
20	1	28,67	101,15	260,22	43,30	0,78	156,63	2138,97		
	2	51,67	112,52	223,24	37,83	0,62	153,85	2796,86		
	3	19,66	109,08	218,23	40,50	0,69	156,20	2583,87		
Краснокаменная ТЭЦ										
10	1	8,43	121,0	465	68,5	19,4	495,0	77,7		
	2	68,34	113,0	270	27,0	11,8	204,0	37,1		
	3	23,23	193,0	270	27,5	15,0	296,0	64,5		
20	1	2,39	39,9	795	90,2	24,6	336,0	61,0		
	2	61,66	187,0	270	27,0	17,5	276,0	53,4		
	3	35,95	153,0	270	30,1	13,6	258,0	45,1		

При электростатическом обогащении для определения микрокомпонентного состава использовали метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ТЭЦ-1, ТЭЦ-2) и полуколичественный спектральный анализ (Краснокаменская ТЭЦ).

Предварительные результаты зольных уносов от сжигания углей на ТЭЦ-2 показывают, что наибольшее концентрирование стронция происходит во фракцию, представленную полупроводниками.

В зольных уносах от сжигания углей на ТЭЦ-1 наибольшее концентрирование стронция происходит во фракции проводников и диэлектриков. Концентрирование циркония и иттрия в полученных продуктах составляет примерно 50 % от ПЩ. Повышенные содержания Y, Yb, Zr в зольных уносах Краснокаменской ТЭЦ при увеличении напряженности электрического поля наблюдаются во фракцию проводников. Остальные элементы концентрируются в незначительных количествах. Данные замеров мощности ионизирующего излучения в контрольных точках указывают на то, что уровень дозы гамма-излучения находится на уровне естественного фона.

Предварительные результаты показывают возможность концентрирования редких и редкоземельных элементов в продуктах обогащения с использованием магнитных и электрических методов. Последующие этапы исследования – химические стадии разделения продуктов методами кислотного и щелочного выщелачивания, а извлечение металлов из раствора – экстракцией.

Для выделения редких и редкоземельных элементов из зольных уносов тепловых электростанций разработана поточная линия, включающая устройства для магнитной сепарации в сильном и слабом полях, электростатический сепаратор, аппараты для выщелачивания. Линия дополнительно снабжена установленными после приемного бункера последовательно соединенными флотомашинами для выделения ксеносфер и классификаторами для разделения материала по классам крупности, для дальнейшей его переработки в различных потоках [4].

Таким образом, для комплексного использования углей рекомендованы следующие направления: получение железосодержащих и редкометалльных концентратов; в качестве составляющей в производстве строительных материалов (бетон, газобетон автоклавный, деревозолобетон, керамзитозолобетон); в дорожном строительстве; в качестве закладочной смеси для заполнения выработанного пространства шахт; в сельском хозяйстве (добавки к удобрениям) и др.

Литература

1. Угольная база России. Т. IV. Угольные бассейны и месторождения Восточной Сибири / под ред. Череповского В.Ф. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001. 493 с.

2. Мязина В.И. Эколого-технологическая оценка золошлаковых отходов тепловых электростанций Восточного Забайкалья. Дис. к.т.н. – Чита, 2004.

3. Комплексное устойчивое управление отходами. Металлургическая промышленность / Н.В. Немчинова, Л.В. Шумилова, С.П. Салхофер, К.К. Размахнин, О.А. Чернова. – М.: Издательский дом Академия Естествознания, 2016. – 494 с.

4. Патент № 2393020, Российская Федерация. Поточная линия для выделения ценных компонентов из золошлаковых отходов. / Мязин В.П., Черкасов В.Г., Ихисоева И.П., Астафьев Е.В., Мязина В.И., Шестернев Д.М., заявка: 2009113176/03, 08.04.2009, приоритет 27.06.2010.

УТИЛИЗАЦИЯ ШЛАМОВ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕРАБОТКИ КИСЛЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ВОД ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Шевелин И.Ю., Вафин В.Р.

*Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова*

Объектами исследования были шламы нейтрализации, образующиеся в процессе переработки кислых техногенных вод Гайского и Бурibaевского ГОКов Южного Урала. Для изучения вопроса утилизации шламов нейтрализации были использованы различные физико-химические и физико-механические методы анализа.

Жидкая фаза техногенных вод обогатительных фабрик до начала процесса нейтрализации часто представляет собой гетерогенную систему, содержащую наряду с истинно растворенными веществами взвеси и коллоиды (степень дисперсности 10^6 мм^{-1}). В полученном осадке кроме рудных, металлсодержащих минералов присутствуют глинистые частицы, образовавшиеся в результате обогатительного передела из вмещающих пород: зерна крупностью 0,001-0,0002 мм составляют более 95 % [1].

Микроскопический анализ структурных составляющих осадков, образованных в результате естественного осаждения (рис. 1 а, б) и в процессе нейтрализации кислых подотвальных вод Гайского ГОКа (рис. 1 с), подтвердил, что осадки осаждения – однородные зерна крупностью 1,0-0,2 мкм (более 95 % осадка); шламы нейтрализации представляют собой однородную массу со средним размером частиц 70 мкм, имеющих большую прочность.

Шламы нейтрализации как продукты химического осаждения обладают высокой дисперсностью и поверхностной активностью. Высокая степень дисперсности придает шламам устойчивую коагуляционную структуру. Изучение этой структуры позволит охарактеризовать степень

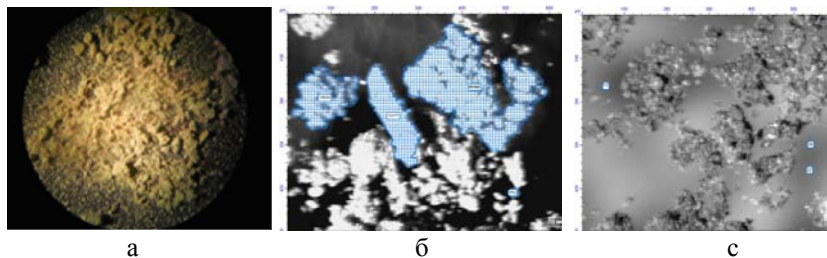


Рис.2. Структуры твердой фазы кислых техногенных вод:
а – глинистая составляющая, образующаяся в процессе механического осаднения; б – рудные (темные) и нерудные (светлые) частицы механического осадка; с – шлам нейтрализации

однородности, дисперсность и свойства образующихся осадков нейтрализации, такие как деформируемость, прочность, влагоемкость и др., а также подобрать наиболее полный способ их переработки.

Следует отметить, что шламы являются ближайшими аналогами высокопластичных глин, поэтому физико-химические процессы образования шламов во многом идентичны формированию структуры глин и связаны с воздействием воды. Признаками их общности является наличие в шламах и глинах мельчайших частиц, присутствие адсорбционной воды и высокая пластичность материала [2].

Авторами в ходе исследования было установлено, что первоначально на стадии нейтрализации техногенных подотвальных вод образуется гидроксид железа (III). При осадкообразовании скоагулированные частицы гидроксида железа (III) образуют так называемые цепочки, на поверхности которых адсорбируются коллоидные примеси. В процессе построения цепочечных структур, сочлененных в кольца, образуются поры, заполненные водой. Вследствие этого осадок содержит большое количество воды, удерживаемой частицами гидроксида железа (III) [3]. Особенностью исследуемых шламов, как аналогов высокопластичных глин является их пластичность, что предопределяет возможность их использования в производстве различных строительных материалов.

Несмотря на различия в химическом составе глин и шламов, структурно-реологические свойства последних значительно выше, чем у глин. Это обусловлено размерным фактором частиц шлама и большим количеством адсорбционно-связанной воды.

Минеральные шламы, по определению М. М. Сычева [4], представляют собой концентрированные растворы неорганических полимеров, образовавшихся в процессе гидролитической полимеризации малоконцентрированных неравновесных суспензий – промышленных стоков. Технология их образования позволяет отнести шламы к нанодисперс-

ным материалам техногенного происхождения. Шламы имеют пространственную координацию дисперсной фазы, обусловленную сцеплением коллоидных частиц и кристаллов через прослойку воды.

Химический состав исследованных шламов приведен в табл. 1.

Истинная плотность шлама 1 равна 4,592 кг/м³, шлама 2 – 3,959 кг/м³.

В соответствии с химическим составом данные шламы классифицируются как алюминатные и гидроксидные: это шламы, содержащие в основном оксиды двух- и трехвалентных металлов – CuO, ZnO, CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃.

Таблица 1 – Усредненный химический состав шламов нейтрализации техногенных вод Гайского (шлам 1) и Бурibaевского (шлам 2) ГОКов

Оксиды, %	Шлам 1			Оксиды, %	Шлам 2		
	Проба 1	Проба 2	Проба 3		Проба 1	Проба 2	Проба 3
CuO	1,45	1,40	1,37	CuO	1,33	1,44	1,29
ZnO	1,08	1,16	1,05	ZnO	0,12	0,08	0,11
Fe ₂ O ₃	63,05	64,72	66,18	Fe ₂ O ₃	58,03	58,17	52,22
MnO ₂	0,027	0,020	0,020	MnO ₂	1,15	1,12	1,23
CaO	0,68	0,79	0,72	CaO	0,41	0,43	0,42
MgO	0,48	0,45	0,36	MgO	0,95	0,86	0,92
K ₂ O	0,22	0,21	0,29	K ₂ O	0,66	0,59	0,56
Na ₂ O	0,14	0,11	0,18	Na ₂ O	0,05	0,11	0,13
Al ₂ O ₃	29,10	33,71	31,03	Al ₂ O ₃	41,06	35,30	41,24
SiO ₂	0,02	0,01	0,01	SiO ₂	0,01	0,01	0,01

Оценивая физико-механические (реологические) свойства шламов, изучали показатель пластичности, время истечения суспензии из воронки, отношение объема осадка к объёму исходной суспензии, плотность суспензии, показатель упругости, порог структурообразования и пластическую прочность. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Установлено, что положительное действие на реологические свойства осадков нейтрализации оказывают оксиды Al₂O₃, Fe₂O₃, RO (CuO+ZnO+MnO₂), присутствующие в шламе в виде аморфных гидроксидов. Они значительно увеличивают адсорбционную способность частиц, тем самым повышая пластичность. Более высокие реологические характеристики шлама нейтрализации кислых техногенных вод ПАО «Гайский ГОК» обусловлены значительным содержанием в его составе оксида цинка [5]. Бóльший объем осадка этого шлама также доказывает его более высокую пластичность, а, следовательно, и степень самоорганизации шлама [6].

Таблица 3 – Усредненные физико-механические свойства шламов нейтрализации техногенных вод Гайского (шлам 1) и Бурибаевского (шлам 2) ГОКов

Физико-механические свойства	Шлам 1	Шлам 2
Показатель пластичности	1048,76	1165,28
Время истечения суспензии из воронки, с	20,84	4,89
Отношение объема осадка к объему исходной суспензии	1,21	1,13
Плотность суспензии, г/см ³	0,77	0,88
Показатель упругости	1,19	1,30
Порог структурообразования, %	17,04	9,01
Пластическая прочность, 10 ⁻² мПа	0,31	0,52

На основе проведенных исследований, возможно, предложить следующие методы утилизации шламов нейтрализации техногенных вод ГОКов.

Первый метод предусматривает высушивание шлама и использование его в качестве минерального порошка в составе асфальтобетонных смесей при строительстве автомобильных дорог или других строительных и закладочных смесей (низкотемпературная цементация).

Второй метод предусматривает вовлечение шлама в состав глиняной массы при производстве строительной керамики или в составе сырьевой смеси для изготовления портландцементного клинкера (высокотемпературная цементация).

Исследование метода низкотемпературной цементации показало, что после удаления влаги высушиванием или взаимодействием с оксидом кальция исследуемый шлам по своим физико-химическим показателям соответствует нормам, предъявляемым к минеральным порошкам, которые рекомендуется применять для всех типов асфальтобетонных смесей.

Способ высокотемпературной цементации шлама основан на использовании влажного шлама в составе глинистого сырья при производстве строительной керамики. Для обоснования этого способа использования шлама исследовано поведение воздушно-сухих гидроксидов тяжелых металлов и соосажденных с гидроксидом железа при температурном воздействии.

Литература

1. Медяник Н.Л. Теоретическое обоснование и разработка ресурсо-воспроизводящих технологий комплексной переработки техногенных вод медно-цинковых горных предприятий: Дис. ... докт. техн. наук. М: ИПКОН РАН.2012. 450 с.

2. Павлов А.А. Применение техногенного сырья в производстве теплоизоляционных материалов на основе минеральных волокон // Современные наукоемкие технологии. 2007. № 9. С. 93-95.

3. Баюрова Ю.Л., Светлов А.В., Макаров Д.В. Возможности комплексной переработки хвостов обогащения медно-никелевых руд // Минералогия техногенеза. 2015. № 16. С. 115-120.

4. Сычев М.М. Неорганические клеи. Л.: Химия, 1996. 203 с.

5. Медяник Н.Л., Гиревая Х.Я. Извлечение ионов меди из сточных вод с помощью осадителей – восстановителей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 1. С. 113-114.

6. Медяник Н.Л., Калугина Н.Л., Варламова И.А. Изучение возможности селективного извлечения меди методом известкования из сточных вод горных предприятий гидрометаллургического комплекса // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 2 (42). С. 188-193.

ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ОПТОВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ В ПРОЦЕССЫ ОБОГАЩЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

¹Леоненко Н.А., ¹Ванина Е.А., ²Веселова Е.М.

¹ Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск

² Амурский государственный университет, г. Благовещенск,

Исследованы возможности интегрирования оптоволоконных лазеров в процессы обогащения и переработки минерального сырья. Проанализированы эффекты взаимодействия лазерного излучения с минеральными средами – объектами приамурских россыпных техногенных месторождений, содержащие субмикронное золото, не извлекаемое современными гравитационными методами. Установлено образование самоорганизующихся структур золота на поверхности силикатной матрицы, выявлены общие закономерности агломерирования и концентрирования «неизвлекаемых форм» золота.

Ключевые слова: лазерное излучение, ультрадисперсное золото, золото содержащий минеральный продукт, структурная упорядоченность

Резкое сокращение легкодоступных запасов золота в рудах и россыпях предопределило поиск новых малоотходных технологий для извлечения золота и других драгоценных металлов из россыпных техногенных месторождений. Для Дальневосточного региона, являющегося одним из основных золотодобывающих районов России, вовлечение в

переработку техногенных золотосодержащих новообразований, накопленных за длительный исторический период золотодобычи, является весьма актуальным. Такие месторождения, как правило, имеют высокое содержание глины в песках. Металл в иловых фракциях представлен в основном дисперсными коллоидными частицами пластинчатой или игольчатой формы. При гравитационном обогащении большая часть пластинчатых и дендритовидных частиц золота теряется с хвостами, особенно в классах крупности менее 0,25 мм [1, 2]. При воздействии внешних потоков энергии на минеральные среды в них происходят структурные перестройки, вследствие чего их состояние становится далеким от термодинамического равновесия. Одним из перспективных направлений подобных исследований является лазерная обработка тонкодисперсных минеральных сред. Это объясняется тем, что лазерное излучение создает как на поверхности, так и по объему материала высокие плотности теплового потока, достаточные для нагрева, плавления и испарения. Целью настоящей работы является экспериментальное исследование процесса взаимодействия лазерного излучения с дисперсными минеральными средами для возможности интегрирования современных мощных источников лазерного излучения в процессы обогащения и комплексной переработки минерального сырья. В таблице 1 приведено сравнение различных технологических источников лазерного излучения, которые применяются в настоящее время в технологических процессах обработки материалов.

Таблица 1 – Сравнение лазеров различных типов. Преимущества волоконных лазеров*

Параметр	Требуется для использования в промышленности	CO ₂	YAG-Nd с ламповой накачкой	YAG-Nd с диодной накачкой	Диодные лазеры	Волоконные лазеры
1	2	3	4	5	6	7
Выходная мощность, кВт	1...30	1...30	1...5	1...4	1...4	1...30
Длина волны, мкм	как можно меньше	10,6	1,064	1,064 или 1,03	0,8...0,98	1,07
ВРР, мм х мрад	< 10	3...6	22	22	> 200	1,3...14
КПД, %	> 20	8...10	2...3	4...6	25...30	20...25
Дальность доставки излучения волокном, м	10...300	отсутствует	20...40	20...40	10...50	10...300

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Стабильность выходной мощности	как можно выше	низкая	низкая	низкая	высокая	очень высокая
Чувствительность к обратному отражению	как можно ниже	высокая	высокая	высокая	низкая	низкая
Занимаемая площадь, м ²	как можно меньше	10...20	11	9	4	0,5
Стоимость монтажа, отн.ед.	как можно меньше	1	1	0,8	0,2	< 0,05
Стоимость эксплуатации, отн.ед.	как можно меньше	0,5	1	0,6	0,2	0,13
Стоимость обслуживания, отн.ед.	как можно меньше	1...1,5	1	4...12	4...10	0,1
Периодичность замены ламп или лазерных диодов, час.	как можно больше	-	300...500	2000...5000	2000...5000	> 50 000

*http://www.ntoire-polus.ru/apps_lasers.html

К числу нетрадиционных методов энергетического воздействия относятся: электрохимическая, СВЧ-, электроимпульсная, электрогидродинамическая, магнитно-импульсная обработка, воздействие потоком ускоренных электронов, сверхмощными гиперударными волнами и мощными электромагнитными импульсами [3]. Лазерное излучение позволяет обеспечивать высокие скорости локальных изменений температуры в облучаемой среде и градиенты температуры, как на узко локализованных участках поверхностей, так и по глубине материалов из-за малой температуропроводности. Такие параметры не могут быть достигнуты при других способах воздействия. Известно, что свойства микронных объектов и наноиндивидов отличаются от свойств их макроаналогов. Связано это с зависимостью удельной поверхности частиц от их размера и, следовательно, с несравнимо более высоким структурным совершенством и с поверхностными эффектами. Такими свойствами являются тепловые, электрические, магнитные, высокая агрегативная устойчивость. Например, температура плавления макрозерен золота 1064 °С, а наноиндивидов величиной 4 нм – 427 °С.

Авторами представлены экспериментальные данные, полученные на иттербиевом источнике лазерного излучения ЛС-06 с волоконной

системой передачи излучения. КПД такой установки составляет 30 %. На иттербиевой оптоволоконной установке ЛС-06 существует возможность управлять как мощностью излучения от 0 до 600 Вт., так и диаметром локальной зоны обработки при помощи размещения оптической головки над обрабатываемым материалом. Режим работы источника излучения непрерывный, частота модуляции выходной мощности составляет 5 кГц. Спектральная ширина 10 нм. Длина волны $\lambda = 1070$ нм. Для исследований готовились природные золотосодержащие дисперсные образцы минерального сырья из высокоглинистых техногенных объектов дальневосточных россыпных месторождений размерностью частиц 71 мкм, 40 мкм и 20 мкм. В результате лазерного воздействия по данным микроскопического анализа зарегистрировано образование укрупненного золота сферически агломерированных форм на алюмосиликатной матрице.

Электронно-микроскопические исследования образцов проведены на растровом электронном микроскопе «LEO EVO 40HV» (Карл Цейс, Германия), оснащенный энергодисперсионным анализатором «INCA-ENERGY». Исследование минералогических объектов с использованием детектора вторичных электронов (SE-детектор) позволило получить информацию о топографии образцов. Дополнительно к детектору вторичных электронов (SE-детектор) применен детектор обратно рассеянных электронов (QBS-детектор). С помощью QBS-детектора фазы с более высоким средним атомным числом при получении изображений отражаются в контрасте более ярко по сравнению с фазами с меньшим атомным числом. Поскольку разность атомных весов золота и минералов, содержащихся в исследуемых минералогических объектах велика, получается более контрастное изображение, позволяющее визуально выявлять золото. Выявлено рельефное отличие агломерированных поверхностей золота при воздействии непрерывного энергетического лазерного излучения (ЛИ). Чувствительность метода составляет $\sim 0,1\%$. Ширина электронного пучка $\sim 20-30$ нм. Глубина проникновения электронного пучка ~ 1 мкм. Локальным спектральным анализом подтверждается агломерирование золота. Таким образом, при лазерной обработке золотосодержащего минерального сырья установлен характер быстропротекающих процессов, приводящий к образованию различных структурных поверхностей золота, а также выявлены общие закономерности агломерирования и концентрирования ультрадисперсного золота, не извлекаемого гравитационными методами. В работах [4-6] показано, что доминирующий вклад в процесс укрупнения от наночастиц до размеров имеющих практическое значение, вплоть до сотен микрон, вносят термокапиллярные силы.

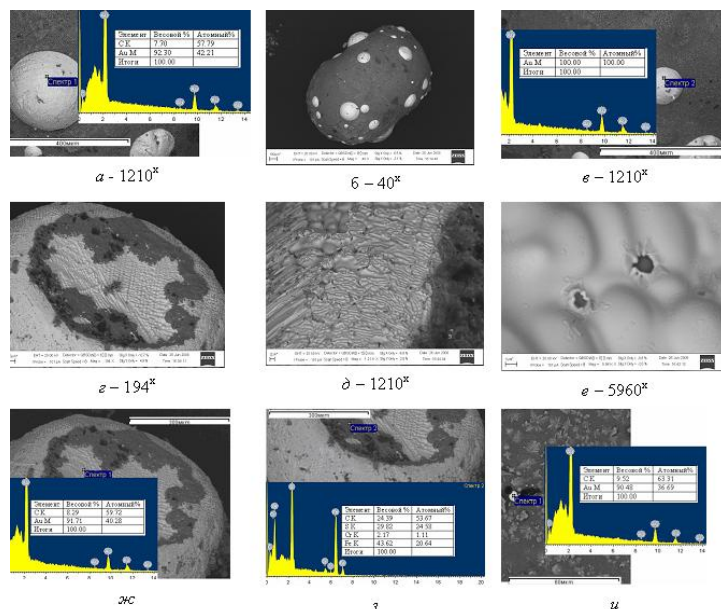


Рис. 1. Растровые изображения агломерированного золота сферической формы и исследованные участки ее поверхности после воздействия непрерывного источника лазерного излучения ЛС-06
Риски: 400 мкм – а, в, 300 мкм – ж, з, 100 мкм – б, 60 мкм – и, 20 мкм – г, 2 мкм – д, 1 мкм – е

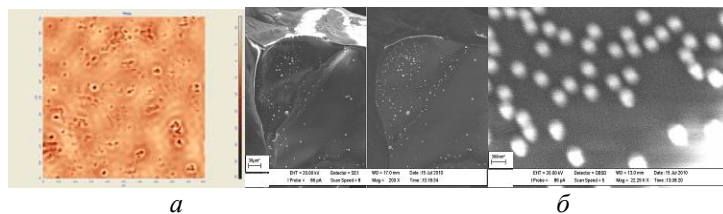


Рис. 2. Изображение фазового контраста алюмосиликатного сбека с субмикронным золотом после лазерной обработки, а – атомно-силовая микроскопия, площадь сканирования 5х5 мкм, б – электронная микроскопия, размер нанометрических объектов золота 300 нм

Приведённые примеры применения нетрадиционных технологий для извлечения ультрадисперсных и субмикронных частиц золота, позволяют считать, что решение проблемы трудноизвлекаемых форм благородных металлов возможно. Апробирован метод лазерной обработки золотосодержащих высокоглинистых песков, в результате которой про-

исходит перераспределение вещества с концентрацией и агломерацией золота, что дает возможность в дальнейшем интегрировать лазерные устройства в технологии обогащения и переработки минерального сырья [7, 8].

Литература

1. Мамаев, Ю.А., Литвинцев, В.С., Пономарчук, Г.П. Техногенные россыпи благородных металлов Дальневосточного региона России и их рациональное освоение. М., Изд. «Горная книга», 2010, 309.
2. Литвинцев, В.С., Банщикова, Т.С., Леоненко, Н.А., Шокина, Л.Н. Создание нетрадиционных технологий извлечения упорных форм золота из минерального сырья техногенных месторождений, Обогащение руд, 2009, 3, 11-14.
3. Чантурия, В.А., Бунин, И.Ж. Нетрадиционные высокоэнергетические методы дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов, Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2007, 3, 107-128.
4. Kuz'menko, A.P., Leonenko, N.A., Kharchenko, V.I., Kuz'menko N.A., Silyutin I.V., Khrapov I.V. Termocapillary mechanism of laser-stimulated agglomeration of ultradisperse and colloidal-ionic gold, Technical Physics Letters, 2009, T. 35, 9, 837-840.
5. Leonenko, N. A., Vanina, E. A., Veselova, E. M., Kapustina, G. G. Nonlinear effects of laser radiation and physical model of laser agglomeration process. / Russian Journal of General Chemistry. December 2013, Volume 83, Issue 13, pp 2759-2764.
<http://link.springer.com/article/10.1134/S1070363213130240>
6. Leonenko, N.A. Study of Nonlinear Effect about Laser-induced Processes of Nanodispersed Gold in Mineral Association / N.A. Leonenko, E.A. Vanina, G.G. Kapustina, E.M. Veselova // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 772. – P. 355-358 (doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.772.355)
7. Пат. 2255995 Российская Федерация, МПК 7 С 22 В 11/00, 1/00. Способ лазерного формообразования и обогащения благородных металлов в минеральных ассоциациях / Шевкун Е.Б., Кузьменко А.П., Леоненко Н.А., Ятлукова Н.Г., Кузьменко Н.А.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела ДВО РАН, Тихоокеанский государственный университет. – № 003135458/02(037974) заявл. от 04.12. 2003. опубл. 10.07. 2005 Бюл. № 19.
8. Пат. 2413779 Российская Федерация, МПК С 22 В 11/02, В 22 F 1/00. Способ извлечения дисперсного золота из золотосодержащего высокоглинистого минерального сырья / Леоненко Н.А., Кузьменко А.П., Силотин И.В., Рассказов И.Ю., Секисов Г.В., Гурман М.А., Капустина Г.Г., Швец Н.Л.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела ДВО РАН, Тихоокеанский государственный университет. – № 2010113683/02; заявл. 07.04.10; опубл. 10.03.11. Бюл. № 7.

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ОБОГАТИМОСТИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ

Некрасова М.А.

*Всероссийский научно-исследовательский институт
минерального сырья им. Н.М. Федоровского*

Железистые кварциты – основной источник железного сырья в России. Руды в большинстве своем труднообогатимы, поэтому важное значение имеет достоверная информация об их составе и строении. Необходимая и достаточная минералогическая информация, позволяющая прогнозировать поведение руд в технологических процессах и качество конечных продуктов, может быть получена при применении физических методов. Комплекс методов минералогического анализа позволяет определить минеральный состав исходной руды и продуктов обогащения, ее структурные характеристики (гранулярный состав минералов, их взаимоотношения), текстурный рисунок (ориентировка минеральных агрегатов), характер распределения полезных и вредных элементов по минералам, физические свойства (твердость, плотность, удельная магнитная восприимчивость). Основными методами при изучении железистых кварцитов являются оптико-минералогический, оптико-петрографический и рентгенографический. Для решения конкретных вопросов, связанных с определением реального состава и строения минералов, прежде всего рудных, используются методы электронной микроскопии, рентгеноспектрального микроанализа, Мессбауэровской спектроскопии и пр.

Железистые кварциты – сложные полигенные и полихронные образования. Породы характеризуются разнообразием минерального состава и текстурно-структурных особенностей.

Главными рудными минералами кварцитов являются магнетит и гематит, находящиеся в тесной ассоциации с кварцем, карбонатом, слюдами и другими породообразующими минералами.

Тектурно-структурные особенности определяются различными взаимоотношениями минеральных ассоциаций железистых кварцитов. Наиболее распространены слоистые, полосчатые, джеспилитовидные, неяснослоистые, микроплойчатые, пористые, кавернозные, с различными нарушениями (трещины разрыва, кливаж и будинаж в слоях) текстуры. Структуры железистых кварцитов также разнообразны. Преимущественно представлены зернистые, дендрито-скелетные и дендритоветвистые агрегаты, а также зерна различной степени идиоморфизма (идиоморфные, гпидиоморфные, аллотриоморфные, мирмекитоподобные сростания) и различные структурные замещения. Для железистых

кварцитов широко распространены процессы перекристаллизации и переотложения рудного и нерудного вещества, а также образование псевдоморфоз по рудным минералам (процессы мартитизации и мушкетовитизации).

Для железистых кварцитов выделяют несколько главных генетических типов: гематитовые, магнетитовые, гематит-магнетитовые и магнетит-гематитовые [2].

В качестве примера рассмотрены железистые кварциты Михайловского ГОКа – окисленные магнетит-гематитовые кварциты. Кварциты характеризуется сложным текстурно-структурным рисунком и тесными срастаниями главных рудных минералов как между собой, так и с нерудной составляющей (в основном с кварцем). Для кварцитов характерны полосчатые текстуры, микроплойчатость, микроскладчатость, будинирование, дробление слоев, микротрещиноватость, реже отмечаются массивная и вкрапленная текстуры. Структура зерен в основном аллотриоморфнозернистая, реже гипидиоморфнозернистая. Структуры замещения, цементации, переотложения и перекристаллизации связаны со сложными взаимоотношениями и тектоническим перераспределением вещества в породе.

Главными рудными минералами здесь являются: магнетит, гематит, мартитизированный магнетит и гетит-гидрогетит. В основном распространены агрегаты сложного магнетит-гематитового состава: мушкетовитизированный гематит, мартитизированный магнетит и т.д. с включениями и реликтами магнетита в центральных частях зерен.

Технологические свойства магнетит-гематитовых железистых кварцитов зависят от следующих минералогических особенностей.

- Наличие неоднородных текстурно-структурных особенностей (массивных, неяснослоистых, кавернозных, раздробленных текстур, текстур выщелачивания, будинажа и т.д.) обуславливает различную дробимость и измельчаемость минеральных ассоциаций.
- Существенный разброс значений размеров зерен магнетита и гематита предопределяет снижение эффективности различных методов сепарации ввиду образования флокул и шламов при переизмельчении магнетита.
- Наличие гематита и гетит-гидрогетита снижает эффективность процесса флотации;
- Псевдоморфозы и тесные срастания магнетита и гематита отрицательно влияют на раскрытие рудных минералов, способствуют образованию большого количества сростков с различными физико-механическими свойствами (в частности с различной удельной магнитной восприимчивостью, отрицательно влияющей на процессы магнитного обогащения), снижающими контрастность рудных зерен.

- Наличие кварца в тесном сростании с магнетитом и гематитом влияет на процессы дезинтеграции и раскрытия минералов. В то же время кварцевый состав нерудной части повышает эффективность применения гравитационных и флотационных методов обогащения;

На основании информации о минеральном составе, текстурно-структурных особенностях руд, контрастности и изменчивости физических свойств (магнитные, гравитационные, механические) минералов позволяют прогнозировать технологические свойства различных разновидностей железистых кварцитов. В дальнейшем полученные данные используются для разработки наиболее эффективной технологии обогащения железистых кварцитов.

Литература

1. Пирогов Б.И. Геолого-минералогические факторы, определяющие обогатимость железистых кварцитов. – Москва: «Недра», 1969. – 240 с.
2. Плаксенко Н.А., Горьковец В.Я., Ярошук М.А., и др. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Типы формаций. – Киев: «Наук. Думка», 1988. – 192 с.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ПРИРОДНЫХ АЛМАЗОВ ИЗМЕНЕННЫХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОРОД

Подкаменный Ю.А.¹, Двойченкова Г.П.¹, Ковальчук О.Е.²

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

² *НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО)*

Систематизация генезиса минеральных образований на поверхности алмазных кристаллов, а также их последующая классификация необходимы для обоснования и выбора технологии восстановления гидрофобных свойств алмазов перед процессами липкостной и пенной сепарации труднообогатимых кимберлитовых руд с высокой степенью метаморфизма.

Анализ информации о составе и структуре гидрофильных минеральных образований на алмазах позволяет:

- произвести выбор гипотезы минерализации алмазной поверхности в условиях гипергенных процессов в рудной массе месторождения и непосредственно в технологических процессах рудоподготовки и обогащения;
- на основе закономерностей процессов формирования и закрепления обосновать условия растворения (деструкции) и предотвращения повторного образования гидрофильных минеральных образований на поверхности алмазных кристаллов.

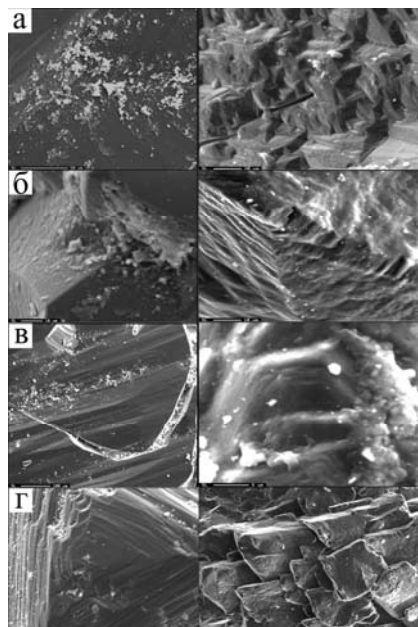


Рис. 1. Внешний вид рельефных минеральных образований на различных участках поверхности исследуемых алмазных кристаллов:

а) на ровной поверхности алмаза; б) во впадинах; в) в трещинах и сколах; г) на ступенях роста кристалла и во впадинах

Анализ снимков поверхности рассматриваемых алмазных зерен показывает, что наблюдаемые минеральные образования носят смешанный характер и заметно концентрируются вблизи нарушенной геометрически неоднородной поверхности (рис.1). Преимущественное расположение поверхностных минеральных образований на дефектах кристаллов алмазов дает дополнительное основание при анализе процессов гипергенной и техногенной гидрофилизации использовать гипотезу об образовании и закреплении гипергенных вторичных минералов и солеобразных веществ на участках поверхности алмазов с нарушенной кристаллической структурой, наиболее склонных к эпитаксиальному нарастанию [1,2].

Анализ характера распределения поверхностных минеральных образований на алмазах позволяет в качестве наиболее вероятного механизма их образования принять процесс кристаллизации в условиях пресыщения [3], то есть в условиях превышения фактической концентрации кристаллизующегося вещества над равновесной концентрацией в растворе.

Образование и рост зародышей кристалла происходит тогда, когда параметры взаимодействующих кристаллических решеток отличаются не более чем на 20% ($d = 0,2$) [4]. Чем меньше кристаллографическое несоответствие, тем с большей интенсивностью поверхность инициирует образование зародышей кристаллизующегося вещества, и тем меньше необходимое пресыщение раствора по осаждаемому веществу.

Для подтверждения гипотезы о процессе кристаллизации как основного механизма образования минеральных примесей на поверхности алмазных кристаллов в качестве предметов исследований изучены образцы изменённых кимберлитов, а также алмазные кристаллы, извлеченные из продуктов их переработки.

Исследование состава вторичных минеральных образований проводилось путем сравнения эталонных инфракрасных спектров пропускания слоистых минералов с полосами примесей на алмазах. Химический состав исследуемых объектов определялся методом микрорентгеноспектрального анализа с использованием микроанализатора JXA-8800R в ЦАЛ БГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО). Распределение элементов в минеральных образованиях изучено с использованием специальной программы анализатора INCA

На основании обобщения и анализа всего массива полученных данных составлен перечень минералов измененных кимберлитовых руд исследуемых месторождений Западной Якутии, способных кристаллизоваться на поверхности алмазов и развивать дальнейший процесс образования минеральных примесей на поверхности кристалла. В таблице 1 представлены наиболее часто диагностированные минеральные образования на поверхности алмазов, извлеченных из труднообогатимых кимберлитов различной степени измененности.

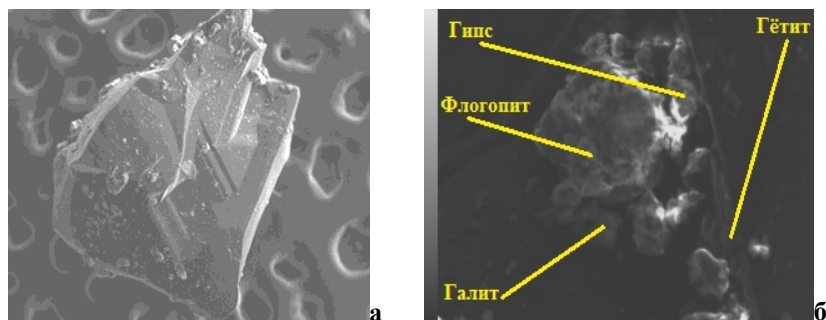
Таблица 1 – Вторичные минералы, диагностированные на поверхности исследуемых алмазов

№	Минерал, формула	Параметр решетки а, Å ⁰			Кристаллографическое несоответствие к алмазу		
		a	b	c	д(а)	д(б)	д(с)
	Алмаз, С	3,57	3,57	3,57	0	0	0
1	Серпентин, Mg ₃ [Si ₂ O ₅](OH) ₄	5,3	9,2	7,3	0,48	1,57	2,17
2	Кальцит, CaCO ₃	4,99	-	17,06	0,39	-	3,77
3	Слюда, X ₂ Y ₄₋₆ [(Si, Al) ₈ O ₂₀](OH, F) ₄	5,1-5,3	8,9-9,2	>10	0,44	1,49	>1,8
4	Хлорит, (Mg, Al, Fe) ₁₂ [(Si, Al) ₈ O ₂₀](OH) ₁₆	5,3	9,2	14,3	0,48	1,57	3
5	Тальк, Mg ₆ [Si ₈ O ₂₀](OH) ₄	5,28	9,15	18,9	0,47	1,56	4,29
6	Каолинит, Al ₄ [Si ₄ O ₁₀](OH) ₈	5,15	8,95	7,39	0,44	1,5	1,07
7	Сапонит, (Ca, Na) ₃ (Mg, Fe) ₃ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·4H ₂ O	5,3	9,14	16,9	0,48	1,56	3,73
8	Магнетит, Fe ⁺² Fe ⁺³ O ₄	8,39	8,39	8,39	1,34	1,34	1,34
9	Гётит, FeO·OH	4,59	9,94	3,02	0,28	1,78	0,15
10	Арагонит, CaCO ₃	4,95	7,95	5,73	0,38	1,22	0,6
11	Галит, NaCl	5,64	-	-	0,58	-	-
12	Гипс, CaSO ₄ ·2H ₂ O	5,68	15,18	6,29	0,59	3,25	0,76

Согласно кристаллографическому несоответствию решетки гётита к решетке алмаза ($d(c)$ равно 0,15), данный минерал может кристаллизоваться на поверхности алмазного кристалла и быть подложкой для кристаллизации остальных минералов.

Результаты микрорентгеноспектрального анализа показали, что в образцах исследуемых кимберлитов главными породообразующими минералами являются серпентин и кальцит; при этом достаточно широко распространены первичные и вторичные алюмосиликатные и карбонатные минералы, а также гидроксиды и оксиды железа, солеобразные минералы (таблица 1).

Представленное на рисунке 2 электронное изображение минеральных примесей на поверхности извлеченного из исследуемых кимберлитов алмаза иллюстрирует совместное закрепление гипергенных и солеобразных минералов (флогопита, гипса и галита) на пленке минералов железа (гетита).



**Рис. 2 – Изображение поверхности алмаза с породными минеральными образованиями в области нарушения кристалла:
а – общий вид алмаза; б – изображение минерального образования на его поверхности**

Выполненными исследованиями установлено, что гидроокислы железа в основном в виде гетита, являются первичными центрами кристаллизации и последующего образования минеральных образований на поверхности исследуемых алмазных кристаллов. Параметр кристаллической решетки гетита ($c=3,02$), близок по параметру кристаллической решетки с алмазом ($a=3,57$), а кристаллографическое несоответствие к поверхности алмаза равно 0,14, то есть находится в диапазоне, разрешающем процессы зарождения кристаллов и при определенных условиях может образовывать с поверхностью кристалла алмаза сильную связь. В дальнейшем гетит, закрепленный на поверхности кристалла алмаза, в свою очередь способствует осаждению на поверхность кри-

стала глинистых и мелкодисперсных гидрофильных частиц, что подтверждается минимальными значениями краевых углов смачивания. В слабоизмененных кимберлитах отсутствие компонентов, способных кристаллизоваться на поверхности алмазов, делает невозможным образование на ней гидрофильных пленок, что подтверждается достаточно высокими значениями краевого угла смачивания.

Таким образом, результаты комплекса выполненных экспериментальных исследований с учетом ранее полученных данных [5,6] позволили определить процесс кристаллизации как основную стадию механизма формирования полиминеральных образований на поверхности природных алмазов, а основным условием закрепления минеральных образований на поверхности алмазных кристаллов – соответствие кристаллографических параметров алмазной поверхности (подложки кристаллизации) параметрам кристаллизующегося вещества.

Предложена классификации поверхностных образований на поверхности алмаза, имеющих различное происхождение и свойства:

- остатки породы, сохранившиеся на кристаллах алмаза и имеющие общий генезис или одновременно подвергшиеся гипергенным изменениям;
- адгезионно закрепившиеся на гидрофильной или гидрофобной поверхности алмаза конгломераты (примазки) и единичные зерна шламовых классов гидрофильных или гидрофобных минералов;
- пленочные продукты процессов кристаллизации солеобразных минералов (карбонатов и гидроксидкарбонатов, и др.) из пересыщенных минерализованных водных систем подготовительных и обогатительных процессов переработки кимберлитовых руд.

Литература

1. Матусевич Л.Н. Кристаллизация из растворов в химической промышленности. М.: Химия, 1968. – 304 с.
2. Telkes M. Industrial and Engng. Chem. 1952, 44 (7). –P. 1308.
3. Ryznar J.W. A New index for Determining the Amount of Calcium Carbonate Formed by Water // Journal of the American Water Works Association. – 1944. #36. –Pp. 25-29.
4. Turnbull D., Vonnegut B. Nucleation catalysis // Industrial and Engng. Chem. 1952, 44 (6). –P. 1292 – 1298.
5. Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Ковальчук О.Е. «Классификация минеральных образований на поверхности природных алмазных кристаллов» // ФТПРПИ, 2016 №3. С. 116-
6. Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Ковальчук О.Е., Тимофеев А.С. «Особенности состава поверхности гидрофильных алмазов и их роль в процессе пенной сепарации» // ФТПРПИ, 2015 №6, С 173-181.

ИСПЫТАНИЯ МЕТОДА ПЛАНШЕТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ВИЗИОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СОРТНОСТИ РУДЫ

Морозов В.В.

Научно–исследовательский технологический институт
«Московский институт стали и сплавов» Минобрнауки РФ

Морозов Ю.П.

Уральский государственный горный университет Минобрнауки РФ

Дэлгэрбат Лодой, Тумэн Олзий Батмунх

ГОКа Эрдэнэт, Монголия

В последнее время получили развитие методы анализа, предусматривающие получение и анализ изображений руды непосредственно в технологическом потоке, на конвейере [1,2]. Их существенным недостатком является невысокая точность измерений вследствие несоответствия поверхностных и объемных параметров рудного потока.

Для повышения точности анализа минерального состава и параметров вкрапленности минералов в руде, поступающей в процесс обогащения полезных ископаемых, был разработан специальный планшетный анализатор субпорошковых проб (рис.1).

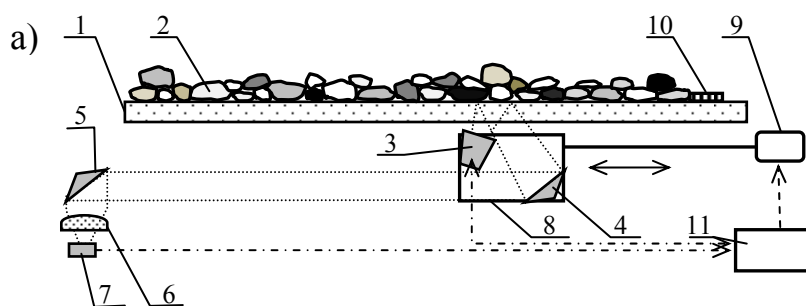


Рис. 1. Схема планшетного визиометрического анализа качества руды:
а) – при исполнении со стационарным расположением оптического преобразователя; 1 – столик из прозрачного стекла для размещения пробы; 2 – проба; 3 – светогенерирующая трубка; 4,5 – продольные зеркала; 6 – продольная линза; 7 – оптический преобразователь; 8 – каретка; 9 – привод; 10 – калибровочный элемент; 11 – контроллер

Реализация планшетного способа предусматривает отбор проб исходной руды непосредственно из технологического потока с соблюдением требуемых параметров опробования. Отобранная проба проходит операцию стадийного дробления до крупности – 5 мм. Затем проба дробленной сокращалась и из нее методом грохочения отбирался класс -3 + 1 мм. Отобранный класс промывался водой для очистки поверхности зерен от шламов и сушился при температуре 110-150⁰С.

При работе планшетного анализатора на стеклянный столик 1 помещалась подготовленная проба руды 2. В режиме сканирования осуществлялось освещение пробы 2 светогенерирующей трубкой 3, получение и передача визуального изображения пробы при помощи зеркал 4,5 и линзы 6 на цифровой преобразователем 7, где происходит переработка аналогового сигнала в цифровой, и передача цифрового сигнала в контроллер 11. Полученный цифровой сигнал, содержащий информацию о цветовых характеристиках всех зерен пробы, перерабатывается контроллером 11 в информацию о массовых долях и соотношениях минералов, а также размере вкрапленности минералов в породе.

Предложенная методика подготовки пробы руды, включающая дробление до крупности -5 мм, выделение класса +1 – 3 мм, отмывку и сушку выделенного класса, обеспечивает наилучшие результаты при получении изображения. При дроблении руды до крупности -5 мм достигается максимальный выход класса -3 +1 мм и минимальный переход мягких минералов в шламы. Выбор верхней границы класса крупности (+3 мм) обусловлен достижением максимальной однородности освещенности и контрастности цветовых характеристик анализируемой поверхности минералов. Выбор нижней границы класса крупности (+1 мм) обусловлен тем, что более мелкие зерна мешают плотному контакту крупных зерен с столиком. Характерно, что класс +1 – -3 мм сохраняет возможность правильной оценки вкрапленности и массовой доли минералов.

Результаты анализа на пробе постоянного состава позволили сравнить точность измерений доли окисленной меди относительно суммарной меди в медно-молибденовой руде при использовании планшетного анализатора и при использовании конвейерного анализатора и, одновременно, с точностью химического анализа.

Полученные результаты анализа доли окисленных минералов меди в руде указывают на удовлетворительную точность измерений при использовании испытанного анализатора и его преимущество по сравнению с анализом на конвейере (снижение погрешности на 7 абс. %). Погрешность относительно химического анализа руды не превысила 3,6%.

Предложенная установка использовалась для выбора и поддержания оптимального режима измельчения и флотации медно-молибденовой руды на основании контроля ее минерального состава и вкрапленности.

Исходная руда разгружалась из бункера среднедробленной руды, проходила стадию мелкого дробления, проверочного грохочения и направлялась в бункер мелкодробленной руды. Проба руды крупностью -12 мм отбиралась на разгрузке стадии мелкого дробления. Отбор пробы производился по утвержденной методике, разработанной для конечного химического анализа руды. Конечная проба составлялась из четырех разовых проб, отбираемых через 1 мин. Масса отобранной пробы составляла 12 кг. Отобранная проба пропусклась через щековую и валковую дробилку с конечной шириной разгрузочной щели 3 мм. После дробления руда крупностью -5мм усреднялась и сокращалась до массы 1,5 кг. Затем проводился рассев пробы на ситах размером 2 и 0,66 мм. Выделенный класс крупностью +1 -3 мм массой 0,8-0,9 кг сокращался до массы 0,3кг, отмывался на сите и подсушивался в микроволновой печи. Общая продолжительность операций пробоотбора и пробоподготовки составила 10 мин. Затем проба помещалась на столик анализатора и затем проводился ее анализ.

В процессе обработки входного сигнала о цветовых параметрах руды с использованием специальной программы «Геохром» получали информацию о массовых долях и соотношении основных минеральных форм медных минералов (первичных и вторичных сульфидных минералов, окисленных минералов). Полученная информация о минеральном составе использовалась для регулирования процесса флотации по сортности руды.

Для расчета оптимальных расходов флотационных реагентов проводилось определение состава руды, поступающей на переработку. При этом поступающая руда рассматривалась как смесь различных типов руд, а расходы реагентов рассчитывались как средневзвешенные по расходам для типовых руд с учетом массовой доли типовых руд в руде, поступающей на переработку [4].

Чтобы рассчитать параметры измельчения и флотации типовых сортов руды, ранее были проведены исследования на наиболее ярко выраженных типовых рудах: – массивных первичных рудах (МПР); – смешанных вторично сульфидированных рудах (СВСП); – бедных пиритизованных рудах (БПР); – смешанных серитизированных рудах (ССР) и смешанных окисленных рудах (СОР) [4].

Результаты технологических исследований (табл. 1) были использованы в качестве параметров для процессов измельчения и флотации каждого сорта руды. Рассчитанные значения были использованы для управления процессами измельчения и флотации на обогатительной фабрике ГОКа «Эрдэнэт».

Таблица 1 – Целевые функции в системах управления процессами измельчения и классификации

Переменная процесса	МПП	СВСП	БПР	СОР	ССР
Крупность измельчения, % кл. – 74 мкм	67,5	64,5	67,0	66,0	66,0
расход руды на мельницут/м ³ ч	1,65	1,74	1,71	1,75	1,75
Плотность пульпы %	43,5	41,0	41,5	40,0	40,0
Расход собирателя АероМХ-5140	10,0	12,0	13,0	17,5	10,0
Расход вспенивателя МИБК	13,0	16,0	16,0	19,0	13,0
Расход извести	1100	1300	1300	1300	1100

Проверка технологической эффективности проводилась на действующем процессе обогатительной фабрики. За счет повышения точности анализа минерального состава и крупности руды было достигнуто более эффективное регулирование процесса флотации и повышение его показателей. Вследствие повышения точности анализа сортности перерабатываемых руд и оперативной корректировки реагентного режима было достигнуто повышение качества коллективного концентрата, поступающего на дальнейшее обогащение, и сокращение потерь ценных компонентов – меди и молибдена в операции флотации на 1,1 и 2,2 %.

Таким образом, проведенными испытаниями планшетного анализатора на обогатительной фабрике ГОКа «Эрдэнэт» была подтверждена возможность повышения точности измерений анализа минерального состава и крупности руды за счет обеспечения лучшей представительности пробы и стабильности ее оптических свойств. Подтверждена возможность достижения положительного технологического результата при использовании планшетного анализатора в АСУТП в отделениях измельчения и флотации медно-молибденовой руды.

Литература

1. Daniel Sbrbaro, Renй del Villar Advanced Control and Supervision of Mineral Processing Plants // Springer-Verlag London Limited, 2010. – 332 p.
2. Волков А.И., Алов Н.В. Автоматизированные системы для определения химического состава сыпучих и кусковых материалов на конвейере (обзор) // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2011. – № 2. – С. 75-88.
3. Способ визиометрического анализа качества руды и устройство для осуществления / Морозов В.В., Лодой Дэлгэрбат, Морозов Ю.П., Шек В.М. // Патент РФ № 2620103 МПК В03В 13/00, В07С 5/34, Опубл. 23.05.2017 Бюл. № 15.
4. Morozov V., Ganbaatar Z., Delgerbat L., Stoliarov V. Engineering Optimization (Ed: Aurelio Araujo), CRC Press, 2014. – Pp. 519–522.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ФЛОТОРЕАГЕНТ НА ОСНОВЕ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ

Жарменов А.А., Ефремова С.В., Бунчук Л.В., Сухарников Ю.И.,
Ниязов А.А., Ли Э.М., Шалгымбаев С.Т.

*РГП «Национальный центр по комплексной переработке
минерального сырья Республики Казахстан» Комитета
индустриального развития и промышленной безопасности
Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан*

В последние годы в горно-металлургической отрасли актуализировались исследования по использованию нетрадиционного для этого сектора экономики сырья – многотоннажного отхода производства риса и продуктов его переработки [1-3]. В РГП «НЦ КПМС РК» разработана комплексная технология, обеспечивающая полную утилизацию рисовой шелухи с получением твердого и жидкого продуктов многофункционального назначения [4]. Ранее показано, что твердый продукт – кремнеуглерод – выступает в качестве шихтового материала для выплавки кремниевых сплавов и металлического кремния [5-6]. Жидкий – водный раствор органических соединений (ОП) – проявляет свойства флотореагента.

Настоящая работа посвящена оценке вспенивающих и собирательных свойств ОП в ходе укрупненно-лабораторных и полупромышленных испытаний.

Опытная партия ОП была наработана на опытно-промышленной установке термической переработки рисовой шелухи при температуре 400°C. Групповой состав продукта, установленный методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (газовый хроматограф с масс-спектрометрическим детектором GC/MS Agilent 6890 N/5973 N), характеризуется присутствием карбоновых кислот ~39%, фенолов ~15%, кетонов ~6%, циклических алифатических углеводородов ~4%, гетероциклических соединений ~5%, спиртов и эфиров ~1%, воды – до 25% и неидентифицированных веществ ~5%. Таким образом, жидкий продукт пиролиза рисовой шелухи представляет собой смесь органических соединений, имеющих гетерополярное строение, т.е. содержащих гидрофобные (алифатические и циклические углеводородные радикалы) и гидрофильные (-ОН, -COOH, -NH₂, -CO) группы атомов. На основании этого и с учетом водородного показателя (рН=5-6) его можно расценивать в качестве слабобокислого вспенивателя, обладающего собирательными свойствами.

Испытания флотационной активности полученного органического продукта проводили на свинцово-цинковой руде месторождения Акжал в сравнении с базовым опытом. Подготовку исходной пробы руды

выполняли по стандартной методике, включающей операции по дроблению, грохочению, усреднению руды методами «бункер-транспортёр-бункер» и «кольцо-конус». Из усредненной пробы руды общей массой 2000 кг крупностью -2+0 мм была отобрана средняя проба в количестве 20 кг для изучения минерального, химического и гранулометрического составов, которые определяли соответственно рентгенофазовым (ДРОН-4), химическим и мокрым ситовым методом. Распределение свинца, цинка, железа и серебра определяли по всем классам крупности.

Было установлено, что руда образована промышленно значимыми минералами – сфалеритом и галенитом – и породообразующими минералами, в числе которых присутствуют кальцит, доломит, кварц, барит, хлорит, мусковит. В незначительных количествах обнаружен пирит. Химический состав руды представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав руды Акжалского месторождения

Элементы и соединения	Содержание, %	Элементы и соединения	Содержание, %
Zn	5,20-5,60	Al ₂ O ₃	1,52
Pb	0,62-0,68	BaSO ₄	3,21
Cu	0,005	MgO	2,20-2,38
Fe _{total}	0,44-0,46	CaO	45,54
S _{total}	3,95	P	0,042
Ag, g/t	15,0-16,0	Потери при прокаливании	33,13
SiO ₂	4,01		

Гранулометрический анализ показал, что минералы свинца и серебра распределяются в тонких классах крупности, в то время как распределение минералов цинка не зависит от размера частиц. Минералогическим анализом было установлено, что наиболее полное вскрытие минералов свинца и цинка наблюдается при содержании класса крупности -0,074 мм в количестве 62-65%.

Испытания флотационного обогащения Акжалской руды с применением нового реагента выполняли по фабричной технологической схеме. ОП в качестве вспенивателя испытывали вместо реагента Т-92 и в качестве собирателя – заменяя универсальный реагент данафлот ТМ 067. Флотацию в укрупненно-лабораторных условиях осуществляли во флотомашинах с объемом камер, дм³: 3,0; 1,5; 1,0; 0,75; 0,5. Условия флотации отработывали на базовом опыте, т.е. с использованием традиционных реагентов. Оптимальное значение рН среды, создаваемое подачей разного количества извести, устанавливали по максимальному значению извлечения флотируемых минералов. Результаты показали, что наибольшее извлечение Pb достигается при рН=8,1. В этих условиях минимальное содержание цинка в свинцовом концентрате обеспечивается при расходе

ZnSO₄ в основную флотацию 400 г/т. Для флотации сфалерита – минерала цинка – была установлена необходимость введения перед флотацией CuSO₄ · 5H₂O в количестве 300 г/т и увеличения pH среды до 9,0-9,5 для снятия с цинка депрессии, осуществляемой цинковым купоросом в свинцовом цикле, и подавления флотации железа, присутствующего в пирите.

Анализ данных, полученных в ходе замкнутого опыта обогащения свинцово-цинковой руды в укрупненно-лабораторных условиях с использованием ОП как вспенивателя, в сравнении с базовым режимом (таблица 2) свидетельствует о том, что ОП работает практически на уровне Т-92. Так, с использованием нового вспенивателя вместо Т-92 при одинаковом извлечении свинца его содержание в свинцовом концентрате ниже всего на 0,22%. При этом содержание цинка в свинцовом концентрате меньше на 1,1% по сравнению с базовым. Качество же цинкового концентрата, полученного при флотации с ОП, несколько уступает концентрату, полученному в базовом опыте: извлечение цинка сократилось на 0,07%, и его содержание – на 0,33%. Соответственно, ОП позволяет снизить потери с хвостами свинца до 5,39% (вместо 5,77% в базовом опыте), но в то же время на 0,2% вызывает увеличение потерь цинка.

Что касается изучения коллекторных (собирательных) свойств ОП, эксперименты проводили в режиме 50% замены традиционного собирателя данафлота ТМ 067 на новый реагент. Результаты показали (таблица 2), что при таком реагентном режиме достигается высокое извлечение свинца в свинцовый концентрат (87,14% против 86,98% в базовом опыте). Однако увеличивается и извлечение цинка в свинцовый концентрат (12,62% против 11,85% в базовом опыте), что в результате приводит к заниженному содержанию свинца (61,87%) и, напротив, завышенному содержанию цинка (12,62%) в товарном продукте. Обогащение цинкового минерала имеет ту же тенденцию, что и в процессе с использованием ОП в качестве вспенивателя вместо Т-92.

В целом, можно сделать вывод, что механизм действия ОП, очевидно, проявляющего и вспенивающие, и собирательные свойства, одинаков в обоих вариантах выполненных экспериментов, что доказывается достаточно высоким качеством полученных концентратов свинца и цинка.

Для проведения полупромышленных испытаний ОП на опытной фабрике филиала РГП «НЦКПМС РК» «Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханобр» произведена сборка и монтаж схемы цепи аппаратов в соответствии с технологической схемой Акжалской обогатительной фабрики. Основную, контрольную и перечистные операции свинцовой и цинковой флотации проводили в четырехкамерных флотомашинах «Механобр» с объемами камер 12 дм³ каждая. Апробацию ОП в качестве вспенивателя вели согласно отработанному режиму, описанному выше.

Таблица 2 – Результаты замкнутого опыта с использованием ОП

Продукты	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Pb	Zn	Pb	Zn	
Свинцовый концентрат	0,90	62,05	10,75	86,98	1,83	Расход ОП в качестве вспенивателя: - Pb цикл – 20 г/т; - Zn цикл – 50 г/т.
Цинковый концентрат	8,17	0,60	57,42	7,63	88,56	
Хвосты отвальные	90,93	0,038	0,56	5,39	9,61	
Руда	100,0	0,642	5,382	100,0	100,0	
Свинцовый концентрат	0,92	61,87	12,62	87,14	2,23	Расход ОП: данафлот ТМ 067 в качестве собирателя: - Pb цикл – 10 г/т: 10 г/т; - Zn цикл – 25 г/т: 25 г/т.
Цинковый концентрат	8,10	0,61	57,00	7,56	88,84	
Хвосты отвальные	90,98	0,038	0,51	5,30	8,93	
Руда	100,0	0,65	5,20	100,0	100,0	
Свинцовый концентрат	0,88	62,27	11,85	86,98	1,96	Базовый режим: Расход Т-92: - Pb цикл – 20 г/т; - Zn цикл – 50 г/т. Расход данафлота ТМ 067: - Pb цикл – 20 г/т; - Zn цикл – 50 г/т.
Цинковый концентрат	8,16	0,56	57,75	7,25	88,63	
Хвосты отвальные	90,96	0,04	0,55	5,77	9,41	
Руда	100,0	0,63	5,317	100,0	100,0	

В ходе полупромышленных испытаний получены [7]:

- по базовому режиму:
 - свинцовый концентрат с содержанием свинца 57,72%, цинка – 13,90% при извлечении свинца 84,81%. Потери цинка в свинцовом концентрате составляют 2,41%. Выход свинцового концентрата – 0,955%;
 - цинковый концентрат с содержанием цинка 60,77%, свинца – 0,55% при извлечении цинка 89,98%. Потери свинца в цинковом концентрате составляют 6,88%. Выход цинкового концентрата – 8,14%.
- с использованием ОП в качестве вспенивателя:
 - свинцовый концентрат с содержанием свинца 58,22%, цинка – 14,36% при извлечении свинца 85,91%. Потери цинка в свинцовом концентрате составляют 2,51%. Выход концентрата – 0,96%;
 - цинковый концентрат с содержанием цинка 61,00%, свинца – 0,56% при извлечении цинка 89,88%. Потери свинца в цинковом концентрате составляют 7,09%. Выход концентрата – 8,10%.

Таким образом, полупромышленными испытаниями подтверждено, что использование ОП улучшает технологические показатели свинцовой флотации. Извлечение свинца возрастает (на 1,1%) при одновременном повышении качества свинцового концентрата (на 0,5%). Поскольку применение ОП способствует и росту качества цинкового концентрата (на 0,23%) при незначительном снижении извлечения цинка (на 0,1%), можно говорить о том, что органический продукт термической переработки рисовой шелухи – перспективный флотореагент для использования в процессах обогащения полиметаллических руд.

Работа выполнена в рамках проекта МОН РК № 2252/ГФ4.

Литература

1. Абыкаев Н.А., Жарменов А.А., Ефремова С.В., Сухарников Ю.И., Бунчук Л.В., Джусупов С.А., Кабланбеков А.А., Муртазаева Д.Б. Рисовая шелуха: от мировой проблемы к ценному сырью // Вестник Казахстанской национальной академии естественных наук. – 2016. – № 3-4. – С. 8-12.
2. Жарменов А.А., Ефремова С.В., Сухарников Ю.И., Бунчук Л.В., Капланбеков А.А., Анарбеков К.К., Есенгараев Е. Практическое применение продуктов термической переработки рисовой шелухи // XI Межд. науч.-практ. конф. «Рециклинг, переработка отходов и чистые технологии»: Сб. матер. XI Межд. науч.-практ. конф. – Москва, 28-29 октября 2015. – С. 145-148.
3. Zharmenov A., Yefremova S., Sukharnikov Yu., Bunchuk L., Kablanbekov A., Anarbekov K., Murtazayeva D. and Yessengarayev Ye. Carbonaceous materials from rice husk: production and application in industry and agriculture // XIX International Conference Waste Recycling: Book of abstracts. – Krakow, 22-23 October 2015. – P. 13.
4. Ефремова С.В. Физико-химические основы и технология термической переработки рисовой шелухи. – Алматы, 2011. – 150 с.
5. Sukharnikov Yu., Yefremova S., Bunchuk L., Anarbekov K. Silicon production using alternative raw material source // XIX International Conference Waste Recycling: Book of abstracts. – Krakow, 22-23 October 2015. – P. 14.
6. Муртазаева Д., Ефремова С., Кошкарбаева Ш., Сухарников Ю. Шихта из кремнеуглерода для выплавки высокочистых кремниевых сплавов // Промышленность Казахстана. – 2016. – № 6(99). – С. 23-25.
7. Yefremova S., Sukharnikov Yu., Bunchuk L., Kablanbekov A., Li E., Niyazov A., Shalgimbayev S., Zharmenov A. Development of a new flotation reagent based on rice husk // Mine Planning and Equipment Selection: Proceeding of the 26th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection. – Lulea, Sweden, 2017. – P. 265-270.

МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАРГАНЦЕВОЙ РУДЫ ТЫНЬИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Астахова Ю.М., Лебедев А.Н.

Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского

Растущая потребность промышленности РФ в марганцевом сырье требует вовлечение в освоение труднообогатимые и бедные по содержанию марганцевые руды, характеризующиеся сложным текстурно-структурным рисунком; переменным химическим составом как рудных, так и нерудных минералов, вызванные широкими изоморфными замещениями химических элементов в кристаллической структуре минералов; полиминеральным составом, обусловленным одновременным присутствием минералов разных парагенезисов; фазовой гетерогенностью и микрогетерогенностью минеральных зерен.

Для решения технологических задач по переработке марганцевых руд необходимо предварительное глубокое и всестороннее изучение их комплексом минералого-аналитических методов, позволяющих установить характерные особенности данного типа руд. На выбор технологии обогащения руды оказывают влияние:

- минеральный состав (определяет способ обогащения);
- структурно-текстурные особенности (влияют на схему рудоподготовки);
- химический состав полезных рудных минералов и распределение элементов в минералах (позволяют прогнозировать потери, содержание вредных компонентов и качество продукции).

В качестве примера были изучены карбонатные марганцевые руды Тыньинского месторождения, расположенного в Северо-Уральском марганцеворудном бассейне и относящегося к месторождениям никопольского типа. Марганценозные формации локализованы среди терригенных отложений глауконит – кварцевого состава. В рудах присутствуют две генетические группы минералов: терригенные, к которым относятся кварц, полевые шпаты и аутигенные, главными из которых являются родохрозит и глауконит. Второстепенные минералы – опал, кальцит, минералы фосфора, имеющие биогенное происхождение.

В изученных пробах количественно преобладают конкреционно-глинистые и песчано-глинистые руды, характеризующиеся сложным текстурным рисунком (рисунок 1 и 2). Песчано-глинистые, песчанистые, а также в кремнистые руды в основном имеют слоистые текстуры, обусловленные чередованием слоев различной мощности, различаю-



Рис. 1. Светлая, массивная глинисто-карбонатная руда. Фото образца.



Рис. 2. Брекчиевидная текстура руды. Фото образца.

щихся как по количеству терригенного или кремнистого материала, так и по структуре. Наряду со слоистыми текстурами, в рудах широко распространены обломочные, цементные, прожилковые, брекчиевидные, конгломератовидные текстуры.

Основным промышленно-ценным компонентом руды является марганец (31,5%), связанный главным образом с карбонатами марганца, присутствует в форме родохрозита. Химический состав приведён в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав руды, масс. %

Компонент/ Элементы	Mn _{общ.}	Fe _{общ.}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	K ₂ O	TiO ₂	Pb
Содержани, %	31,5	4,22	2,94	2,77	27,6	0,18	1,58	3,11	0,41	4,24	0,69	0,19	<0,02

По минеральному составу (таблица 2) руды существенно родохрозитовые со значительным содержанием кремнистого и глинистого материала. Из второстепенных минералов присутствуют манганокальцит, полевой шпат, пирит, гидроксиды марганца и железа, иногда кальцит. В незначительном количестве обнаружены апатит (франколит), магнетит, ильменит, амфибол, турмалин.

Кварц совместно с полевыми шпатами является составной частью обломков руды. Присутствует в виде угловатых и полуокатанных изометричных обломков размером 0,05-0,2 мм, а также в виде вытянутых сидеронитоподобных агрегатов, выполняющих межзерновое пространство в карбонатном материале размером до 0,3 мм (рисунок 3). Обломки кварца хаотично рассеяны в массе руды.

Таблица 2 – Минеральный состав руды

Минералы		Содержание, масс. %
Главные минералы	Родохрозит	51
	Кварц	15
	Монтмориллонит	14
Второстепенные минералы	Опал (кristобалит- тридимитовый)	6
	Гидрослода	5
	Альбит	3
	Пирит	2
	фторapatит	2
	Клинохлор	1
Глауконит	1	

Глауконит присутствует в виде выделений округлой формы агрегатного строения светло зелёного цвета, размером до 0,2 мм.

Монтмориллонит, хлорит, гидрослода и глауконит являются важными породообразующими минералами руды. Все они идентифицируются рентгенографическим анализом, под микроскопом отмечаются трудноразличимые агрегаты. Данные минералы образуют беспорядочные тонкозернистые скопления, обволакивающие обломочный материал, формируют цемент руды, отмечается их тесное срастание с родохрозитом. Размер чешуек (зёрен) меньше 0,01 мм.

Апатит является вредным минералом руды, определен рентгенографическим анализом как фторapatит.

Пирит — основная минеральная форма сульфидов железа, присутствующих в руде в количестве не более 1%. Выделения пирита размером до 0,05 мм. образуют одиночные и групповые скопления.

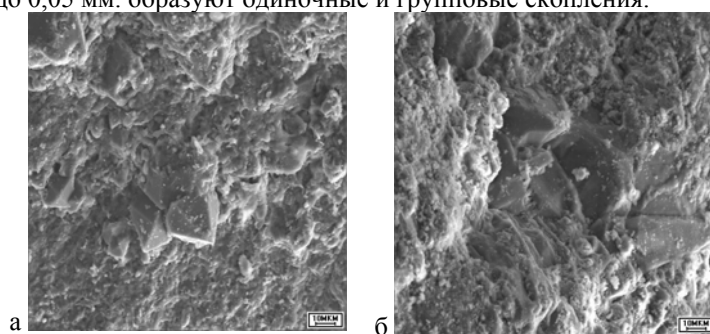


Рис. 3. Тонкозернистые агрегаты родохрознта и алюмосилкатов с включениями зёрен кварца. РЭМ

Таким образом, минеральный состав руды Тыньяинского месторождения предопределяет выбор комбинированной схемы извлечения марганца, предусматривающей механическое обогащение и гидрометаллургический передел.

На процессы рудоподготовки оказывают влияние сложное строение руд и содержание значительного количества слоистых алюмосиликатов, которые присутствуют как в виде самостоятельных агрегатов, так и в виде включений в родохрозите. В процессе рудоподготовки даже при тонком измельчении рудной массы невозможно получить полностью раскрытые зерна родохрозита.

Марганец сконцентрирован только в родохрозите, поэтому потери будут связаны только с потерями минерала.

СНИЖЕНИЕ ТРУДОЗАТРАТНА ПОЛУЧЕНИЕ ИНДЕКСА ШАРОВОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ БОНДА ЧЕРЕЗ ПРИМЕНЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МЕТОДИК

Читалов Л.С., Львов В.В., Элбэндари А.

Санкт-Петербургский горный университет

Индекс шарового измельчения Бонда (BWi) характеризует сопротивляемость материала разрушению при шаровом измельчении и широко используется для расчета типоразмера и количества промышленных мельниц, моделирования схем рудоподготовки [1].

Численно индекс шарового измельчения Бонда равен энергии, затрачиваемой на помол материала от теоретически бесконечного размера до заданной крупности в шаровой мельнице сливного типа диаметром 2.04 м и измеряется в кВтч/т. Тестирование на индекс шарового измельчения Бонда [2] представляет из себя имитацию замкнутого цикла измельчения с циркуляцией 250% на мельнице (305*305 мм, 70 об/мин, стандартизированная шаровая загрузка) с грохотом, размер ячейки которого обусловлен заданной крупностью измельчения. Для достижения стабилизации процесса измельчения необходимо провести порядка 8 циклов измельчения, которые в совокупности вспомогательными операциями занимают порядка 12 часов.

Целью данной работы является сокращение трудозатрат на нахождение индекса шарового измельчения Бонда. В качестве объекта исследования была принята апатит – нефелиновая руда.

На апатит-нефелиновой руде индексом шарового измельчения Бонда, определённым по стандартной методике ($BWi = 13.60$ кВтч/т – далее – стандартный индекс шарового измельчения Бонда), были проведены тесты по следующим альтернативным методикам [3]:

- Методика Магдалиновича-Ахмади (далее – Маг.-Ахм.) [4,5];
- Методика Берри-Брюса [6];
- Методика Гарешли [7];
- Методика Капура [8];
- Методика Хорста-Бассарера [9];
- Методика Бонда в двух модификациях:
 - с распределением всего исходного материала по классам крупности; питание циклов составляется из полученных классов крупности в пропорциях, соответствующих исходному питанию, что избавляет от необходимости проведения ситового анализа нового продукта измельчения перед каждым циклом (далее – Бонд М1);
 - с гранулометрическим анализом продуктов измельчения на сокращенной пробе из продуктов трёх последних циклов (далее – Бонд М2).

Допустимая граница относительной ошибки для альтернативных методов тестирования была принята как $\pm 5\%$ от результата стандартной методики определения индекса шарового измельчения Бонда.

По методике Магдалиновича-Ахмади индекс Бонда составил 14.55 кВтч/т, относительная ошибка 7.0%, при этом циркулирующая нагрузка достигла величины 225,6%, т.е. не стабилизировалась после первых двух циклов измельчения до необходимых 250%. В связи с этим были проведены 3 и 4 цикла измельчения, которые при циркуляции 248.0% показали относительную ошибку 0.55% (далее – Маг.-Ахм.М1).

Для этой же методики предложено ускорить стабилизацию циркуляции путём использования не стандартного числа оборотов мельницы в первом цикле измельчения (100 оборотов). Было рассчитано среднее число оборотов в последних трёх циклах стандартной методики определения индекса шарового измельчения Бонда на пробах апатит-нефелиновых руд. Для данных руд среднее число составило 171 оборот мельницы. Был произведен опыт где в первом цикле измельчения мельница совершила 171 оборот. После первого цикла измельчения была достигнута циркуляция в 250.3% с относительной ошибкой 3.53% (далее – Маг.-Ахм.М2).

Для методики Капура предложено использовать стандартные эмпирические коэффициенты, а отдельно найденные для апатит-нефелиновых руд. При использовании этих коэффициентов средняя относительная ошибка для массива апатит-нефелиновых руд снижена с 2.4 до 1.8% [10, 11], в данном случае – с 1.3 до 1.1% (далее – Капур М1 и М2).

Результаты всех методик были проанализированы с точки зрения снижения трудозатрат и точности воспроизводимости индекса шарового измельчения Бонда и представлены в таблице.

Таблица – Альтернативные методики получения индекса шарового измельчения Бонда

№ п/п	Методика	* N_c	** $C, \%$	$BW_i, \text{кВтч/т}$	*** $\Delta, \%$	**** $T, \%$
1	Маг.-Ахм.	1	422.5	9.09	33.17	41.7
		2	225.6	14.55	7.00	
2	Маг.-Ахм.М1	3	245.9	13.50	0.76	50.0
		4	248.0	13.68	0.55	
3	Маг.-Ахм.М2	1	250.3	13.12	3.53	41.7
		2	252.3	13.05	4.04	
4	Берри-Брюс	1	-	14.46	6.32	37.5
5	Хорст-Бассарер	3	-	14.75	8.44	62.5
6	Гарешли	5	250.0	14.07	3.46	83.3
7	Бонд М1	6	249.4	13.14	3.38	58.3
8	Бонд М2	6	248.8	13.50	0.74	125.0
9	Капур	2	-	13.20	2.94	29.2
10	Капур	2	-	13.51	0.66	29.2
11	КапурМ1	2	-	13.53	0.51	29.2
12	КапурМ2	2	-	13.38	1.62	29.2

* N_c – порядковый номер периода измельчения;

** C – циркуляция узла мельница-классификатор;

*** Δ – относительное отклонение от стандартного индекса шарового измельчения Бонда;

**** T – трудозатраты относительно стандартного теста Бонда на индекс шарового измельчения (стандартная методика шарового измельчения Бонда принята за 100% трудозатрат).

Совокупный график трудозатрат и результатов тестов по определению индекса шарового измельчения Бонда для апатит-нефелиновых руд представлен на рисунке.

Предложенные методики позволяют существенно сократить трудозатраты и время проведения тестирования руд по определению индекса шарового измельчения Бонда, что, помимо удешевления проведения тестовых процедур дает возможность применять их для определения прочностных свойств руды при массовом опробовании, в промышленных условиях с целью оперативного контроля и корректировки режимов работы измельчительного передела обогатительных фабрик.

Научный руководитель: профессор РАН, д.т.н., заведующая кафедрой Обогащения полезных ископаемых Александрова Татьяна Николаевна.

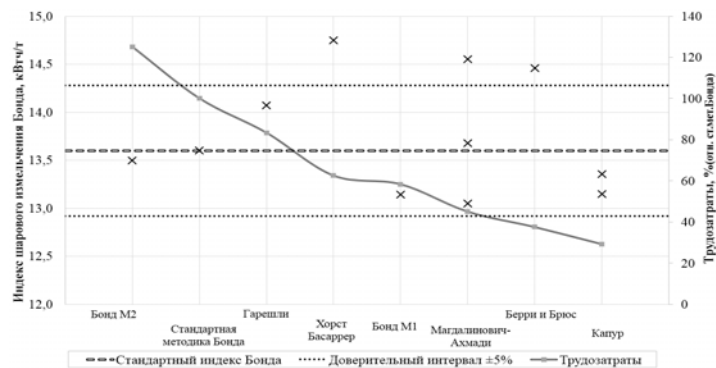


Рис. Результаты определения индекса шарового измельчения Бонда с применением альтернативных методик

Литература

1. Таранов В.А. Обзор программ по моделированию и расчету технологических схем рудоподготовки // Таранов В.А., Баранов В.Ф., Александрова Т.Н. / Обогащение руд №5(347), 3-7.
2. Bond F.C. Crushing and grinding calculations // Allis-Chalmers: Allis-Chalmers press., 1961, 16.
3. Мельникова Т.Н. К вопросу оптимизации процесса измельчения // Мельникова Т.Н., Ятлукова Н.Г., Литвинова Н.М. / Обогащение руд №4, 2006,5-7.
4. Magdalovich N. A. Procedure for Rapid Determination of the Bond Work Index // International J. Mineral Processing, 27, 1989, 125.
5. Ahmadi R. Procedure for determination of ball Bond work index in the commercial operations / R. Ahmadi, Sh. Shahsavari // Minerals Engineering 22, 2009, 104-106.
6. Berry T.F. A simple method of determining the grindability of ores / Berry T.F., Bruce R.W. // Canadian Mining Journal (July), 1966, 63.
7. GharegheshlaghHojjat H. Kinetic grinding test approach to estimate the Ball mill Work index // Physicochemical Problems of Mineral Processing, 52(1), 2016, 342-352.
8. Kapur P.C. Analysis of the bond grindability test // Institution of Mining & Metallurgy, v.79, IV, No. 763, 1970, 103-107.
9. Horst W.E. Use of simplified ore grindability technique to evaluate plant performance / Horst W.E., Bassarear J.H. // Trans. SME/AIME 260, 1976, 348.
10. Львов В.В. Моделирование рабочего индекса шарового измельчения Бонда // Львов В.В., Читалов Л.С. / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), Специальный выпуск 19, 2015, 242-245.
11. Львов В.В. Интенсификация методов тестирования различного минерального сырья для нахождения энергетических индексов шарового измельчения / Львов В.В., Читалов Л.С. // Сборник докладов: Международная научно-техническая конференция "Комбинированные процессы переработки минерального сырья: Теория и практика" Сборник научных трудов // Санкт - Петербург, 2015, 114.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОКИСЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ФЕРРОСИЛИЦИЯ В ОБОРОТНЫХ ВОДАХ ПРОЦЕССОВ ОБОГАЩЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ РУД

Тимофеев А.С., Двойченкова Г.П.

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

Процесс обогащения в тяжелых суспензиях применяется для выделения алмазов в грубый концентрат в схемах первичной переработки алмазосодержащих кимберлитов на обогатительных фабриках России и горнопромышленных предприятиях алмазодобывающих стран (Ботсвана, Канада, ЮАР, Ангола).

Современные секции тяжелосреднего обогащения на алмазодобывающих предприятиях РФ комплектуются дорогостоящими импортными модульными установками, для которых ферросилиций закупается за рубежом по достаточно высокой цене. В связи с этим потери или разрушение дорогостоящего утяжелителя, возникающие в технологическом процессе, приводят к удорожанию себестоимости извлекаемых алмазов [1, 3, 4].

Основной проблемой в области сокращения безвозвратных потерь утяжелителя (ферросилиция) является его окисление, вследствие чего ухудшаются технологические свойства суспензии в процессе тяжелосредней сепарации [7, 8, 10].

С возрастающим объемом переработки алмазосодержащих кимберлитов методом тяжелосредней сепарации увеличивается расход ферросилиция для приготовления ферросилициевых суспензий и, соответственно, затраты на его приобретение.

При этом в последние годы достаточно часто меняются поставщики ферросилиция на алмазодобывающие предприятия, что приводит к увеличению нестабильности его технологических свойств, и, соответственно, к увеличению потерь в процессе регенерации.

Таким образом, предварительная экспрессная оценка скорости окисления ферросилициевых гранул различных производителей с использованием разработанной математической модели позволит выбрать ферросилиций, наиболее устойчивый к разрушению в конкретных минерализованных водных системах процессов тяжелосредней сепарации алмазоизвлекающих фабрик.

Модель процесса окисления гранул ферросилиция на примере шарообразной частицы.

Пусть в исходном (не окисленном) состоянии шарообразная магнитная частица ферросилиция имеет произвольный диаметр D и намагниченность насыщения J_s^0 (рис. 1а). Тогда, эта частица в окисленном

состоянии в момент времени t имеет диаметр равный $D - 2\Delta$ и намагниченность насыщения J_s (рис. 1б) [5, 6]. Данный факт обуславливается переходом в раствор железа ферросилиция в виде трехвалентного железа [11, 0].

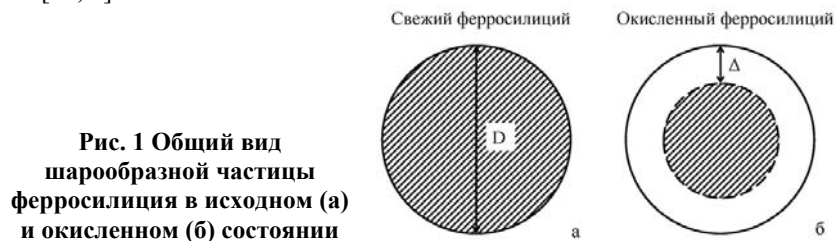


Рис. 1 Общий вид шарообразной частицы ферросилиция в исходном (а) и окисленном (б) состоянии

Рассмотрим отношение объемов частиц в исходном и окисленном состоянии:

$$\frac{V_{\text{магн}}}{V_{\text{магн}}^0} = \frac{\frac{\pi(D-2\Delta)^3}{6}}{\frac{\pi D^3}{6}} = \frac{(D-2\Delta)^3}{D^3} = \frac{J_s}{J_s^0}, \quad (1)$$

где J_s^0 – намагниченность насыщения свежей частицы ферросилиция, Ам²/кг; J_s – намагниченность насыщения окисленной частицы ферросилиция, Ам²/кг.

Предположим, что скорость окисления постоянна ($u = \text{const}$, мкм/сутки), тогда окисленная часть 2Δ определяется как:

$$2\Delta = \int_0^t u dt = ut, \quad (2)$$

где u – скорость окисления, мкм/сутки; t – время окисления, сутки.
а отношение (1):

$$\frac{J_s}{J_s^0} = \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} W(D) \cdot \left(1 - \frac{3ut}{D} + \frac{3(ut)^2}{D^2} - \frac{(ut)^3}{D^3} \right) dD, \quad (3)$$

где D_{\max} – максимальный диаметр частицы ферросилиция; D_{\min} – минимальный диаметр частицы ферросилиция; $W(D)$ – плотность вероятности для случайной величины диаметра частиц ферросилиция.

Предположим, что значение диаметра частиц ферросилиция представляется в результате взаимодействия большого числа слабых случайных факторов. Такие величины моделируются нормальным (Гауссовым) распределением [9]:

$$D \approx N(\mu, \sigma^2)$$

Функция плотности вероятности нормального распределения диаметра частиц ферросилиция D имеет вид:

$$W(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot \exp\left(-\frac{(D-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (4)$$

где μ – математическое ожидание (средний диаметр частиц ферросилиция); σ – разброс значений вокруг среднего (σ^2 – дисперсия).

При подстановке выражение 4 в выражение 3 получим:

$$\begin{aligned} \frac{J_s}{J_s^0} = 1 - 3ut \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-\frac{(D-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{D} dD + 3(ut)^2 \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-\frac{(D-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{D^2} dD \\ - (ut)^3 \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-\frac{(D-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{D^3} dD. \end{aligned} \quad (5)$$

Проинтегрировав выражение (5) по максимальному ($D_{\max} = 300$ мкм) и минимальному ($D_{\min} = 0,1$ мкм) диаметру частиц, получаем выражение скорости окисления от изменения магнитных свойств частиц ферросилиция при нормальном распределении по крупности (6).

$$\frac{J_s}{J_s^0} = 1 - 0.0903lut + 0.01212(ut)^2 - 0.01455(ut)^3. \quad (6)$$

Исходя из полученной зависимости скорости окисления от изменения магнитных свойств ферросилиция, можно вычислить скорость окисления u , мкм/сутки подставляя известные экспериментальные значения $\frac{J_s}{J_s^0}$ и t .

Оценка скорости окисления ферросилиция марки DMS Powder в минерализованных водах

Предложенная модель апробирована для оценки скорости окисления ферросилиция марки DMS Powder в минерализованных водах действующих алмазоизвлекающих обогатительных фабрик (табл. 1). Для расчета использованы экспериментальные данные намагниченности насыщения исходного ферросилиция и после нахождения в исследуемых водах (табл. 2).

Таблица 1 – Характеристика исследуемых минерализованных водных систем.

№ проб оборотных вод	pH	Eh, мВ	Сухой остаток, г/дм ³	NH ₄ ⁺ , г/дм ³	K ⁺ , г/дм ³	Na ⁺ , г/дм ³	Mg ²⁺ , г/дм ³	Ca ²⁺ , г/дм ³	Cl ⁻ , г/дм ³	SO ₄ ²⁻ , г/дм ³
1	7,84	63,8	33	0,017	0,15	9,26	0,378	1,59	17,06	1,71
2	7,65	45,6	4,45	0,005	0,05	1,31	0,079	0,34	1,78	0,56
3	7,56	103,6	22,15	0,005	0,74	1,39	1,87	2,93	12,06	1,27
4	7,44	64,4	0,69	0,037	0,1	0,08	0,06	0,27	0,083	0,09
5	5,86	69,5	2,47	0,038	0,21	0,17	0,182	0,37	0,18	0,96
6	6,33	79,9	22,71	0,043	0,51	3,36	0,879	2,32	11,18	1,71

Таблица 2 – Скорость окисления ферросилиция марки DMS Powder в исследуемых минерализованных водных системах

№ проб оборотных вод	Намагниченность насыщения, Ам ² /кг		Скорость окисления μ , мкм/сутки
	исходной суспензии	суспензии через 15 суток	
1	78,1	42,9	0,093
2	78,3	63,4	0,063
3	78,1	40,6	0,096
4	78,5	65,5	0,059
5	78,5	62,3	0,066
6	78,3	39,8	0,096

Выводы

Таким образом, на основе анализа выполненного комплекса теоретических и экспериментальных исследований получены следующие результаты:

1. Разработана математическая модель окисления ферросилиция для различных форм кривой распределения частиц по крупности, позволяющая определить значение скорости процесса окисления и размер (диаметр) частицы, утратившей вследствие окисления свои магнитные свойства.

2. Определены значения скорости окисления ферросилиция марки DMS Powder в минерализованных водах процесса тяжелосредной сепарации алмазоизвлекающих обогатительных фабрик, которые позволяют выполнить экспрессную оценку эффективности его применения для каждой из исследуемых водных систем.

Литература

1. Fengnian Shi Determination of ferrosilicon medium rheology and stability // *Minerals Engineering*, Volume 98, November 2016, Pages 60-70.
 2. Napier-Munn T.J. The determination of the size distribution of ferrosilicon powders // *Powder Technology*, Volume 42, Issue 3, June 1985, Pages 273-276.
 3. Napier-Munn T.J., Kojovic T., Scott I.A., Shi F., Masinja J.H., Baguley P.J. Some causes of medium loss in dense medium plants // *Minerals Engineering*, Volume 8, Issue 6, June 1995, Pages 659-678.
 4. Williams R.A., Kelsall G.H. Degradation of ferrosilicon media in dense medium separation circuits // *Minerals Engineering*, Volume 5, Issue 1, 1992, Pages 57-77.
 5. Вонсовский С. В. Магнетизм // Наука, М., 1971.
 6. Гончаров С.А., Ананьев П.П., Бруев В.П., Гзогян Т.Н., Болдырев В.А., Ряховский С.М. Магнитно-импульсная обработка (МИО) железистых кварцитов с целью их разупрочнения перед измельчением в мельнице // ГИАБ. – 2004. – №1. – С. 12-17.
 7. Двойченкова Г.П., Тимофеев А. С., Чернышева Е. Н., Ковальчук О. Е. Экспериментальное обоснование электрохимического и физико-химического методов стабилизации параметров ферросилициевой суспензии // ГИАБ. – 2015. – №9. – С. 41-48.
 8. Двойченкова Г.П., Чантурия В.А., Богачев В.И., Чернышева Е.Н., Морозов В. В., Ковальчук О. Е. Экспериментальные исследования физико-химического состояния свойств ферросилиция в процессе тяжело-средней сепарации алмазосодержащего сырья // Збагачення корисних копалин. – 2012. – Вип. 49(90). – С. 63-75.
 9. Колмогоров А.Н. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Наука, 1986. – 534 с.
 10. Ларионов Н.П., Кизилова О.Б., Савицкий Л.В., Усольцева Т.Ю., Бражников А. И. Опыт внедрения технологии тяжелосредней сепарации на предприятиях АК «АЛРОСА» // IV Конгресс обогатителей стран СНГ. – Москва. – 2003. – С. 74-76.
 11. Чернышева Е.Н. Повышение эффективности тяжелосреднего обогащения алмазосодержащих кимберлитов на основе электрохимического кондиционирования ферросилициевой суспензии: Дисс. канд. техн. наук.– М.: МГГУ, 2009. – 149 с.
- Эванс Ю.Р. «Коррозия и окисление металлов. Теоретические основы и их практическое приложение» // 1962. 856 с.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР

УГЛЕВОДОРОДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ АРКТИЧЕСКОГО МАКРОРЕГИОНА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Серова Н.А.

Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина КНЦ РАН

В 60-70 гг. прошлого века на материковой части арктических территорий СССР, США и Канады были открыты колоссальные запасы нефти и природного газа, а в последние десятилетия, из-за значительного уменьшения арктической ледяной «шапки», появилась возможность изучения и освоения ранее недоступных пространств Северного Ледовитого океана.

Однако полной и достоверной оценки арктических углеводородных запасов на сегодняшний день не существует. Наиболее авторитетным и часто цитируемым исследованием углеводородного потенциала Арктики является отчет Геологической службы США (USGS) «Оценка неразведанных запасов нефти и газа к северу от Полярного круга» («Circum-Arctic resource appraisal: estimates of undiscovered oil and gas north of the Arctic Circle»). Согласно данным USGS в Арктике содержится около 25% мировых неразведанных запасов углеводородов, из них: 95,7 млрд. баррелей нефти, 49,45 трлн.м³ природного газа, 44,7 млрд. баррелей газоконденсата [7]. При этом почти 75% неразведанных запасов углеводородов находятся на шельфе Северного Ледовитого океана, поэтому на них могут претендовать только страны, имеющие прямой выход к океану: Норвегия, Канада, США, Россия, Исландия Гренландия (Дания).

Большая часть углеводородных ресурсов приходится на Россию (31,87% неразведанных запасов арктической нефти, 66,84% природного газа и 61,52% газового конденсата) и США (33,23% неразведанных запасов арктической нефти, 13,45% природного газа и 12,98% газового конденсата). В целом общий потенциал углеводородных ресурсов Арктического макрорегиона на сегодняшний день составляет около 105,7 млрд. баррелей нефти, 64,5 трлн.м³ природного газа и 47 млрд. баррелей газового конденсата).

В настоящее время в Арктике добывается десятая часть общемировых объемов нефти и четверть природного газа. Например, в США добыча ведется на Северном склоне Аляски (неразведанные запасы по

разным оценкам составляет 15,908 млрд. баррелей нефти и газоконденсата и около 2,86 трлн. м³ природного газа [6]). Все арктические месторождения Норвегии сосредоточены в акватории Баренцева моря, где в промышленной эксплуатации находятся только газовое Snohvit (неразведанные запасы газа оцениваются в 193 млрд. м³ природного газа и 113 млн. м³ газового конденсата) и нефтяное Goliat (неразведанные запасы оцениваются в 180 млн. баррелей нефти и 8 млрд. м³ природного газа). В Канаде и Гренландии из-за отсутствия государственного финансирования на сегодняшний день освоение месторождений не ведется.

Россия, как отмечалось, обладает в Арктике наибольшими запасами углеводородных ресурсов. Основными центрами по добыче нефти и газа в Арктике являются Ненецкий и Ямало-Ненецкий АО. Кроме того, на западно-арктическом шельфе в акваториях Баренцева, Карского и Печорского морей также находятся крупнейшие нефтегазовые провинции, где на сегодняшний день открыто более крупных 20 месторождений [4; 5].

В соответствии с «Основами государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» одной из ключевых задач государственной арктической политики является превращение Арктической зоны РФ в ведущую стратегическую ресурсную базу России, причем главным образом за счет углеводородных ресурсов [3, с. 1-13; 8, с.18-21]. Крупнейшим нефтегазовым проектом в российской Арктике на сегодняшний день является «Ямал СПГ» (Ямало-Ненецкий АО). В рамках данного проекта ведется строительство завода по сжижению природного газа в районе поселка Саббета, в 2013-2015 гг. введены в эксплуатацию одноименные морской порт и аэропорт (общий объем инвестиций в проект оценивается в триллион рублей) [2]. Другим крупным нефтегазовым проектом является разработка Кумжинского и Коровинского газоконденсатных месторождений в Ненецком АО, строительство завода по сжижению природного газа и морского терминала в районе поселка Индига (проект «Печора СПГ»).

Вместе с тем, существует ряд факторов, осложняющих разработку и освоение арктических углеводородных месторождений. В первую очередь это отсутствие эффективных методов охраны уязвимой арктической природной среды и предотвращения негативных техногенных последствий при разработке и эксплуатации морских и сухопутных месторождений нефти и газа. Во-вторых, это отсутствие современных отечественных технических средств и технологий для освоения морских месторождений, т.к. те, что применяются на сегодняшний день, практически полностью используют зарубежные комплектующие, попавшие под введенные в отношении России санкции. В-третьих, значительная себестоимость добычи арктических углеводородных ресурсов (например, нефть стоит около 100-150 долл. США за баррель) делает ее неконку-

рентоспособной в нынешних условиях низких цен на углеводороды и профицита углеводородного сырья на мировом рынке [1, с. 5-14]. Рассмотренные факторы необходимо учитывать при формировании стратегии освоения и развития Арктики.

Список литературы

1. Ампилов Ю.П. Современные подходы и перспективные технологии в проектах освоения нефтегазовых месторождений российского шельфа // Вести газовой науки, 2015. – №2 (22). – С.5-14
2. Инвестиционный климат северных территорий: региональный и муниципальный уровни / Под науч. ред. д.э.н. проф. Т.П. Скуфьиной. – Апатиты: КНЦ РАН, 2015. – 164 с.
3. Прищепа О.М., Маргулис Л.С., Подольский Ю.В., Боровинских А.П. Углеводородный потенциал Арктической зоны России: состояние и тенденции развития // Минеральные ресурсы России, 2014. – №1. – С.1-13.
4. Региональная экономика и вопросы североведения: монография / Под науч. редакцией д.э.н., проф. В.С.Селина, д.э.н. Т.П.Скуфьиной. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2013 – 200 с.
5. Север и Арктика в новой парадигме мирового развития: актуальные проблемы, тенденции, перспективы / Под науч. ред. д.э.н, проф. В.С. Селина, д.э.н., проф. Т.П. Скуфьиной, к.э.н., доц. Е.П. Башмаковой, к.э.н., доц. Е.Е. Торопушиной. – Апатиты: КНЦ РАН, 2016. – 420с.;
6. Arctic Potential: Realizing the Promise of U.S. Arctic Oil and Gas Resources / National Petroleum Council, 2015. Part One. Prudent Development. URL: <http://www.npcarcticpotentialreport.org> (дата обращения 15.06.2017).
7. Bird K.J. Circum-Arctic resource appraisal: estimates of undiscovered oil and gas north of the Arctic Circle / K.J. Bird, R.R. Charpentier, D.L. Gautier, D.W. Houseknecht, T.R. Klett, J.K. Pitman, T.E. Moore, C.J. Schenk, M.E. Tennyson, C.J. Wandrey // U.S. Geological Survey Fact Sheet, 2008-3049, 4 p. URL: <https://pubs.usgs.gov/fs/2008/3049/fs2008-3049.pdf> (дата обращения 15.06.2017).
8. Skufina T.P., Samarina V.P., Krachunov H., Savon D. Y. Problems of Russia's Arctic Development in the Context of Optimization of the Mineral Raw Materials Complex Use // Eurasian Mining, 2015. – №2. – S.18-21.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ТУРИЗМ В ЗАБАЙКАЛЬЕ КАК СОЦИАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА ОСВОЕНИЯ НЕДР

Барабашева Е.Е., Парыгина Р.Ю.

Забайкальский государственный университет

Геологический, а точнее геолого-минералогический туризм – это редкая разновидность туризма, представляющая собой смесь туристического похода с углубленными знаниями геологии, минералогии, палеонтологии и других геологических наук. Он дает обширное представле-

ние о природе, особенностях пород и минералов, способах и методах геологической разведки, истории освоения месторождений полезных ископаемых, открывает тайны давно исчезнувших с лица планеты организмов – все то, что скрыто от глаз обычного туриста. Правильно и полноценно организовать его под силу только профессиональным геологам, людям, имеющим опыт геологических полевых работ.

В мире существует система геопарков, целью которых является сохранение памятников природы, включая памятники геологического наследия. Среди организаций, курирующих это направление: European Geopark Networks;- Global Network of National Geoparks (GGN);- Европейская Ассоциация по сохранению геологического наследия ProGeo, в которой есть российская рабочая группа. Согласно критериям отнесения природных территорий к геологическим паркам, разработанным ЮНЕСКО, геологические парки должны [1]:

- представлять предмет человеческой созидательной деятельности (уникальные отработанные месторождения, древние горные выработки), строительную, архитектурную, технологическую или ландшафтную целостность, природный геологический феномен;
- обеспечивать обмен человеческими ценностями, сохранность культурных традиций различных эпох цивилизации;
- отражать естественное, традиционное для той или иной эпохи, человеческое поселение или результаты недропользования, геологические эпохи в развитии Земли, развитие форм рельефа или природных геологических процессов;
- характеризовать важнейшие современные эколого-биологические процессы, происходящие на Земле, и естественные среды обитания.

На территории геопарков памятники природы делятся на геологические, ботанические, зоологические, археологические, гидрологические, культурные и др. [1]. В Забайкальском государственном университете уже на протяжении двух десятилетий проводится работа по изучению, описанию и ранжированию геологических памятников природы Забайкальского края. В завершении первого этапа изучения сдан в печать кадастр стратиграфических и палеонтологических памятников природы. Готовятся к изданию кадастры по минералогическим и геоморфологическим объектам.

В числе палеонтологических памятников описано [2] два геологических парка; тринадцать геологических заповедников, семь узлов геологических памятников и сто пятьдесят четыре монопамятника. Всемирный глобальный статус предлагается геологическим паркам Удокан и Георгиевка и трем палеонтологическим заповедникам – Кулинда, Дая-Толстый Мыс и Черновские Копи. К федеральному статусу отнесены десять заповедников, один узел геологических памятников – Апсат. Остальным природным геологическим объектам присвоен локальный (ме-

стный) статус. Описание произведено в соответствии с методикой, разработанной сотрудниками секции геологии при Совете по изучению и охране культурного и природного наследия РАН и включает: 1) название памятника, 2) географические координаты, 3) краткое описание, 4) сопутствующие типы природного наследия, 5) существующий официальный статус, 6) категорию охраны, 7) предлагаемый статус, 8) факторы угрозы. Текст сопровождается графическими приложениями и фотографиями уникальных объектов [2].

Не смотря на то, что край обладает огромной территорией, фантастическими природными ресурсами, а также приграничным положением с Китаем и Монголией, он относится к числу депрессивных регионов России. Выделяемые дотации на охрану недр и геологический туризм весьма скромные. Поэтому основная работа в развитии этого направления ложится на энтузиастов.

Студентами-геологами Забайкальского государственного университета разработано множество экскурсий по геологическим природным объектам, причем маршруты продуманы таким образом, чтобы турист мог познакомиться не только с интереснейшими геологическими объектами, но и с уникальностью мира живой природы, памятниками истории, культуры. В перечень наших маршрутов попадают геологические, минералогические геоморфологические, палеонтологические, стратиграфические, спелеологические, гидрологические, исторические, культурные и другие объекты.

Забайкальский край до сих пор остается недоступным для посещения иностранных туристов в виду отсутствия профессионально подобранной информации о геологических памятниках, включая рекламные ролики, инфраструктуры на объектах посещения; недоступности некоторых геологических объектов в случае их нахождения на территории национальных парков или заповедников, транспортной труднодоступности большинства объектов.

Проведение маршрутов по геолого-минералогическим объектам требует знаний не только по геологии и минералогии, но и по истории горно-рудного дела Забайкалья. Невозможно показывать месторождения без его истории. Каждая горная выработка – это история края, история людей, история развития геологической науки. Экскурсия должна быть комбинированная и в ней должны быть отражены как научные, так и исторические аспекты.

Существует множество проблем, из-за которых невозможно посещение уникальных горно-рудных и геологических объектов:

- проблема, встающая на пути развития геолого-минералогического туризма в последние годы – это запрет на посещение ряда действующих месторождений, находящихся в частных руках;

- проблема вывоза образцов как для обычных туристов и коллекционеров, так и для ученых-геологов, школьников и студентов, посещающих регион с образовательными целями;
- большинство копей, карьеров и шахт на территории бывших горно-рудных районов заброшены и в настоящее время превращены в свалки для мусора.

Геологические объекты в случае их уничтожения нельзя восстановить, и ни один памятник не может быть сохранен в неизменном виде, вследствие воздействия природных и антропогенных факторов. В Забайкальском крае ведется Геологическая Красная и Черная книги – реестры геологических объектов уничтоженных или находящихся под угрозой уничтожения.

На территории края находятся многочисленные остатки старинных горных промыслов, которые сами по себе являются объектами культурного (исторического) и геологического наследия. Карьерами и подземными выработками вскрыты интереснейшие геологические образования, но не существует ни системы оценки, ни разработанных критериев, по которым искусственные выработки могли бы быть отнесены к объектам геологического наследия.

Геологические памятники являются источниками первичной геологической информации, и запрет на посещение этих объектов не допустим. Геологическое наследие надо не охранять, а сохранять. Опыт развития европейских геопарков показал, что геологические парки сыграли гораздо более значительную роль в сохранении геологических памятников, чем самые строгие запреты и ограничения [1,2].

Для забайкальских геологов-туристов существует необходимость изучения зарубежных рынков геолого-минералогического туризма и требований к турам. Необходима стажировка сотрудников для подготовки всесторонне развитых гидов-геологов, так как практически все памятники природы комплексные.

В заключение отметим, что развитие геологического туризма – одно из самых перспективных направлений развития Забайкальского края. Это позволит развивать сотрудничество в сфере туризма между сопредельными Китаем и Монголией.

Литература

1. Барабашева Е.Е. Геологические памятники природы Восточного Забайкалья и их значение при геологоразведочных работах: диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук 25.00.11 / Чит. гос. ун-т. – Чита, 2005. – 159 с.
2. Синица С.М. Проблемы изучения и охраны геологического наследия Забайкалья. // Международная конференция «Забайкалье на пути к устойчивому развитию: экология, ресурсы, управление.» Тез. докл., часть 2. Чита, ЧитГТУ, 1997. – 56-59.

СТРУКТУРА СЕБЕСТОИМОСТИ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Латыпов Д.В.

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

Основной объем в промышленности строительных материалов (ПСМ) приходится на производство нерудных строительных материалов (НСМ): щебня, гравия, песка, песчано-гравийной массы, глины и др.

Основными потребителями НСМ являются предприятия по производству цемента, бетона, железобетонных изделий и конструкций. НСМ используются при строительстве подземных сооружений (СПС).

Производство НСМ требует инвестиций в модернизацию производственной базы предприятий, т.к. степень износа основных фондов достигает 60-65%, что приводит к их моральному старению и к фактическому сокращению производственных мощностей. Средний возраст основной части машин и оборудования 17-20 лет, а ежегодное выбытие основных фондов превышает их ввод. [1]

Использование неэффективных технологий и изношенного оборудования предопределяет высокую ресурсоемкость производства и низкую производительность труда, при этом доля заработной платы достигает в себестоимости продукции 30%. Например, затраты на добычные работы при разработке песчано-гравийных месторождений практически равны затратам на переработку горной массы и составляют более 35%, а доля затрат по отгрузке продукции составляет около 19%. [2]

Производство НСМ является топливно- и энергоемким процессом: удельный вес в структуре затрат – более 20%. Кроме того, в стоимости НСМ транспортная составляющая существенно превышает производственную (в 1,5–2 и более раза в зависимости от региона). Одним из основных сдерживающих факторов развития производства НСМ является недостаточная обеспеченность транспортом.

Перечисленные факторы существенно влияют на политику ценообразования и приводят не только к завышению цены, но нередко и к снижению прибыли.

Цены на рынке НСМ могут существенно различаться не только в разных регионах, но и даже в пределах одного региона.

При СПС используется природный строительный и облицовочный камень: строительные блоки, бутовый (фундаментный) камень; облицовочные плиты для облицовки стен, устройства покрытия полов и настилки наружных площадок.

На рынке природного камня отмечается скачкообразное изменение цен, снижение спроса и 20 % спад объемов выпуска продукции (объем камнеобрабатывающего производства составляет около 170 тыс. т в год) [3].

Затраты на сырье в себестоимости продукции камнеобрабатывающего предприятия составляют в среднем 70% и существенно зависят от типа сырья, его физических свойств, определяющих выход готовой продукции, а главное – от цены камня. Стоимость обработки сырья на каком-либо этапе технологического процесса зависит от вида оборудования, применяемого на предыдущем этапе. Камнедобыча традиционно отстает от камнеобработки, что приводит к хроническому дефициту блочного сырья, а невысокое качество большей части добываемых пород снижает не только выход продукции, но и снижает производительность оборудования. Отсутствие специализированных станков или блоков соответствующего камня приводят к невыполнению заказов на облицовочный материал [4].

Общая структура затрат на производство НСМ включает: материальное оснащение производства (техническое и технологическое); топливо и энергия на производство и реализацию продукции; амортизационные отчисления; оплата труда персонала, включая отчисления; стоимость транспортировки до потребителя продукции и прочие расходы.

На предприятии при расчете себестоимости НСМ следует:

- учитывать состав затрат;
- провести анализ специфики производства НСМ и ее влияние на формирование статей затрат;
- выявить основные факторы, влияющие на установление цены при производстве НСМ.

При добыче НСМ необходимо:

- учитывать коэффициенты сезонности и коэффициенты оплаты труда для каждого региона России;
- ввести в систему коэффициентов транспортных расходов и применять при расчете себестоимости и установлении цены на продукцию.

Однако в настоящее время отсутствует единая методика по расчету себестоимости НСМ, что приводит к широкому разбросу цен на рынке строительных материалов.

В практической деятельности отдельных отраслей ПСМ используют ряд нормативных документов регулирующих калькуляцию себестоимости, существуют обобщенные методики калькуляции. При этом их общий анализ показывает отсутствие нормативов в подотрасли НСМ, где производство продукции отличается специфическими особенностями.

Себестоимость НСМ отражается на производстве цемента, бетона, железобетонных изделий, которые широко используются при СПС. Следовательно, проблемы СПС в основном зависят от состояния производства строительных материалов, изделий и конструкций, т.к. в структуре себестоимости СПС доля строительных материалов в среднем составляет более 60%.

В настоящее время при производстве НСМ необходимо снижение основных и вспомогательных затрат на добычу, транспортирование, переработку и реализацию.

Снижение себестоимости и повышение конкурентоспособности производимой продукции для СПС обеспечит повышение спроса на строительные материалы, изделия и конструкции, а также удешевление объектов строительства.

Литература

1. Буткевич Г.Р. Этапы развития промышленности нерудных строительных материалов. // Строительные материалы, 2011. – № 1. – С. 3-5.

2. Буткевич Г.Р. Развитие промышленности нерудных строительных материалов России и США. Прошлое и перспективы. // Строительные материалы, 2013. – № 10. – С. 4-9.

3. Эйрих В.И., Никулин А.М. Производственный менеджмент в горной промышленности. Учебное пособие. – М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2009. – 264 с.

4. Латыпов Д.В. Особенности влияния переменных и постоянных затрат на изменение экономической эффективности при выборе технологии производства камнепродукции. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2013. – № 11, – С. 244-247.

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В КОМПЛЕКСНОМ УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Прокофьева Е.Н., Востриков А.В., Полесский С.Н.

Национальный исследовательский университет

«Высшая школа экономики»

Московский институт электроники и математики

им. А.Н. Тихонова

Информатизация охватывает все ключевые направления развития в современном мире. В информационном обществе основным вектором развития становится не только материальное производство, а производство знаний и информации на базе передовых информационных технологий. В настоящее время наибольшее внимание здесь уделяется вопро-

сам рационального использования всех пространственно-временных ресурсов. Концепция формирования и развития эффективной инфраструктуры пространственных данных в нашей стране была определена с 2001 года Федеральной целевой программой «Глобальная навигационная система», а также Стратегией развития информационного общества в Российской Федерации 2008 года, в действующем принятом варианте – на 2017 – 2030 годы и Стратегией развития космической деятельности России до 2030 года.

В настоящее время активно формируется сфера знаний, получившая название геоинформатика (геоматика, причём «гео» несёт здесь не только значение «территориальности», а также комплексности и интегрированности исследовательского подхода), которая имеет разнообразное практическое применение в геодезии, геологоразведке, маркшейдерии, а также в системах управления военно-промышленным комплексом, горном производстве, авиационном и космическом производствах, средствах обеспечения техники безопасности и контроля качества и рисков, инструментах и методах повышения энергоэффективности.

Современная геоинформационная система – это комплекс аппаратно-программных средств и алгоритмических процедур, созданных для цифровой поддержки, пополнения, управления, манипулирования, анализа, математико-картографического моделирования и образного отображения географических координированных данных для их эффективного использования при решении научных и прикладных задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией объектов. Геоинформационная система, таким образом, может одновременно рассматриваться как инструмент научного исследования, технология и продукт информационного производства.

Ключевым вектором развития инноваций здесь выступают создание и внедрение технологических решений при использовании программно-аппаратных инструментов, образующих комплексную систему информационного менеджмента. Большое значение здесь представляют программы «Интеллектуальное горное производство» и Комплексные системы аудита качества проектирования, где управление осуществляется дистанционно или полностью автоматически. Эффективность использования геоинформационных систем на горных предприятиях выражается во многом: в обновлении и пополнении топографической базы для территориальных объектов; контроле соблюдения границ отводов и природоохранных зон; качественном экологическом мониторинге; комплексном картографировании геологических образований в системе разведки полезных ископаемых; в планировании капитального строительства и создании инфраструктурных коммуникаций. Кроме того, цифровые

технологии позволяют существенно сократить сроки производственных процессов и снизить его затраты, а цифровое моделирование процессов существенно сокращает количество натурных испытаний и экспериментов. Российской промышленности будет сложно оставаться конкурентоспособной без внедрения систем цифрового проектирования процессов и управления их жизненным циклом. То есть большую важность здесь обретает комплексное управление качеством именно на этапе проектирования, а также разработка эффективных инструментов, методов и стандартов.

Внедрение геоинформационных систем в различные сферы науки и производства ведет к росту многообразия требований пользователей и обостряет традиционную проблему отечественной геоинформатики – отсутствие качественной стандартизации представления:

1) координатного пространства и широты охвата, что осложняет интеграцию геоинформационных моделей, созданных в разных системах координат;

2) квалиметрических показателей;

3) общих топографических поверхностей;

4) инструментов визуализации;

5) адаптивного оборудования и гибких IT-решений;

6) дискретных объектов геопространства, что влечет крайнюю неэффективность межсистемного обмена геопространственными данными;

7) картографических изображений, следствием чего является неудовлетворительное качество систем отображения.

Указанные проблемы в совокупности формируют интегрированную проблему представления геопространственных данных. Внедрение цифровых систем в проектирование процессов нерационально без создания эффективных геоинформационных решений и формирования стандартов систем. Решение здесь невозможно без разработки информационных продуктов и баз знаний в области качественного управления.

В мировых масштабах основное влияние в области стандартизации пространственной информации имеют International Standard Organization (www.iso.org), FGDC (Federal Geographic Data Committee, www.fgdc.gov), USGS (US Geological Service, mapping.usgs.gov), ANSI (American National Standards Institute, www.ansi.org) и NIMA (National Imagery and Mapping Agency, www.nima.mil), International Cartographic Association (ICA, www.geovista.psu.edu/sites/icavis), Open Information Interchange (OII, www.diffuse.org/oii/en/oii-home.html) и некоторые другие. Среди этого списка особо выделяется ISO, в состав которой входит технический комитет 211 (www.isotc211.org), занимающийся вопросами геоматики и стандартизации географической информации. В России с ISO/TC 211 работает Технический комитет №394 Госстандарта.

В области геоинформатики все стандарты можно формально разделить, в зависимости от порядка разработки и процедуры принятия, на три категории: стандарты «формальные», стандарты «фактические» и интегрированные. Где последние отличаются относительно высокой оперативностью разработки и эффективной процедурой принятия, представляя наиболее успешный аналог в сравнении с двумя другими. Российское законодательство по стандартизации также существование таких стандартов допускает.

Вопросами и разработкой формальных стандартов в области пространственной информации занимается множество организаций в разных странах. В России это Государственный комитет РФ по стандартизации и метрологии (Госстандарт, www.gost.ru), Федеральная служба геодезии и картографии России (Роскартография, www.roskart.ru), Государственный научно-внедренческий центр геоинформационных систем и технологий (Госгисцентр), а также Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии им. Ф.Н. Красовского (ЦНИИГАиК) и 29-й Научно-исследовательский институт МО РФ. В структуре Госстандарта проблемами геоинформатики занимаются два тематических комитета: ТК-22 (информационные технологии) и ТК-394 (географическая информация/геоматика).

Open GIS Consortium разрабатывает вышеуказанный третий вид стандартов, необходимость в котором определяется проблемами, связанными с качеством формальных стандартов, а также длительным сроком их принятия.

Все спецификации, разработанные Open GIS Consortium, делятся на два типа – абстрактную спецификацию (Abstract Specification), которая всего одна и регламентирует общие принципы построения ГИС, и конкретные спецификации для разработки программного обеспечения (Implementation Specification), число которых постоянно растет.

Членство в OGC стоит от 300 (учебные заведения) до 50 (партнер) тыс. долларов в год. К сожалению, ни одна российская компания или организация членом Open GIS Consortium не является. Результатом этого может стать тотальная неконкурентоспособность российских ГИС-продуктов на мировом рынке [1-7].

Таким образом, можно сделать вывод, что важнейшая цель развития современных геоинформационных систем заключается в повышении эффективности и создании рациональных инструментов формирования геоинформационных систем в комплексном управлении качеством проектирования процессов для горных предприятий.

В рамках указанной цели выстраивается ряд перспективных задач:

- формирование комплексного интегрированного координатного пространства;

- моделирование виртуальных объектов организационной и производственной структуры компаний,
- моделирование непрерывных объектов пространства;
- моделирование дискретных объектов геопространства и геосистем;
- программное построение визуальных картографических изображений;
- формирование рациональных прикладных решений в области цифрового проектирования;
- анализ существующих методик оценки показателей качества проектирования в рамках геоинформационных сред;
- анализ российских стандартов в области качества геоинформационных систем в рамках ГОСТ Р ИСО 19113-2003. – Географическая информация. Принципы оценки качества;
- анализ международных стандартов качества в геоинформационных системах, оценка преимуществ и недостатков;
- разработка баз данных, прикладного программного обеспечения и полезной модели в рамках модернизации и развития геоинформационных систем в комплексном управлении качеством цифрового проектирования;
- интеграция и адаптирование программного и нормативно-информационного обеспечения под гибкие требования рынка (заказчиков) и динамику внешней кокурентной и пространственной среды;
- разработка структурно-функциональной модели методики расчета комплексных и интегральных квалиметрических показателей эффективности системы управления качеством с учетом влияния различных факторов и рисков.

Таким образом, в области моделирования геоинформационных систем будут разработаны эффективные структуры данных, технологии, инструменты и алгоритмы, обеспечивающие возможность представления и построения моделей любой сложности, что имеет практическую и научную значимость, а, главное, повысит эффективность и качество комплексного управления качеством проектирования процессов на горных предприятиях.

Литература

1. Кравченко Ю. А. О решении проблемы интенсификации обращения геоинформации. *Геодезия и картография*, 2011, № 3, С. 45-51.
2. Prokofyeva E. N., Vostrikov A. V., Borisov N., Fernandez E. Navigation satellite systems as the audit foundation for mining companies // *Eurasian Mining**. 2017. No. 1. P. 30-32. doi 10.17580/em.2017.01.08.

3. Прокофьева Е. Н., Востриков А. В. Оценка качества управления информационными потоками в организациях // Вестник РМАТ. 2017. № 2. С. 45-48.

4. Прокофьева Е.Н. Техничко-экономический аудит как инновационная система организации управления на предприятиях горной промышленности // Горный журнал. – 2011.- № 12. – С. 30-35. 2.

5. Прокофьева Е.Н. Формирование комплексных систем управления рисками горного производства // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. 18-22 но-ября 2013: Материалы 10 Международной научной школы молодых ученых и специали-стов. – М: ИПКОН РАН, 2013. – 450 с: с 383-386.

6. URL: <https://www.itweek.ru/idea/article/detail.php?ID=61840>

7. URL: <http://gistechnik.ru/gost.html>

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЛАНИРОВАНИЕМ ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РУДНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Кузьмин М.Б., Красавин А.Г.¹, Усова Т.Ю.²,
Рыжова Л.П.³**

¹ *Институт проблем комплексного освоения недр*

² *Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии
редких элементов*

³ *Российский государственный геологоразведочный
университет им. Серго Орджоникидзе*

Существующая реальность: научно-технический прогресс (НТП) в начале XXI века в передовых странах мирового сообщества латентно основывается на георесурсах редких и редкоземельных металлов (Р и РЗМ), являющихся стратегическим сырьем современных индустрий, отличительной особенностью которых является доминирование развития технологии и техники V и VI поколений и, соответственно, социума.

Чтобы двигаться в фарватере передовых экономик мира Россия при практически неограниченном разнообразии и объемах сырьевых ресурсов должна направить модернизацию страны по инновационному пути развития, как отмечают эксперты. Для этого необходимо рассмотреть механизм инновационного развития минерально-сырьевой базы (МСБ) с обращением особого внимания на уникальную конкретику минерально-сырьевого потенциала Р и РЗМ, информационных полей руднометаллических месторождений (РММ).

Жизнеспособность национальных интересов в мире передовых технологий определяется оперативностью управления МСП информационных полей РММ, требующих гибкой системы подходов к научно-техническому заделу как текущего момента, так и в долгосрочной перспективе. Оперативность инновационного управления МСБ связана с конкретикой ситуационного момента и должна быть обоснована как в политической, военной, экономической, так и в научно-технической сфер влияния на международной арене /проф. Е.А.Козловский, РГГРУ/. Тем более, что сопоставление стратегического планирования в передовых странах мирового сообщества позволит прогнозировать научно-технический задел как важнейшего фактора определения векторов и динамики развития наукоемкой технологии и техники на международной арене.

Таким образом, определяя сырьевые рычаги глобализации экономических пространств, которые влияют на управление минерально-сырьевыми базами Р и РЗМ в мире передовых технологий позволит обеспечить не только безопасность страны, но минерально-сырьевого потенциала.

В последние годы развитые страны (США, ЕС, Япония, Южная Корея, Великобритания, Австралия) провели специфические исследования для оценки минерально-сырьевого потенциала критических металлов и минералов. К критическим видам металлов в мире в основном относятся то минеральное сырье, которое лежит в основе высоких технологий, имеет важнейшее значение для поступательного развития многих отраслей промышленности / акад. Н.С.Бортников и др. (ИГЕМ РАН) /. Вот почему на мировых рынках сырья необходимо определять латентность этапов развития высоких технологий, которые обеспечивают оборонную безопасность стран.

Определять сектор и вектора развития наукоемких технологий и техники как текущего момента, так и в долгосрочной перспективе поможет направленность поступления МСП, Р и РЗМ, РММ в конечный инновационный продукт. Поэтому, необходимо обращать особое внимание на геополитическое пространство жизненных циклов динамики развития промышленных производств, позволяющих упреждать и оценивать задействованный потенциал кластерных связей. Все это дает возможность оценить глубину организации и коммерциализации получения конечного инновационного продукта, раскрывая не только латентность планирования целей добычи МСП, где участвуют финансовые потоки, в том числе природного капитала недр, но и позволит понять основы высоких технологий современных индустрий, военно-промышленного комплекса (ВПК), аэрокосмических и телекоммуникационных систем, связи и т.д.

Важным моментом, определяющим механизм регулирования потенциального развития горно-геологических производств и предпринимательской деятельности при освоении МСБ является оценка их информационных полей. Таким образом, пути развития наукоемких технологий и техники связаны с оценкой научно-технического задела при освоении информационных полей руднометаллических месторождений. Этим успешно занимаются геолого-информационно аналитические системы (ГИАС), разрабатываемые в ИМГРЭ и ВИМСе / Усова Т.Ю., Архипова Н.А., Кременецкий А.А. (ИМГРЭ), Быховской Л.З. (ВИМС)/, которые необходимы для геометризации геолого-технологическим картированием, имеющих важное значение не только для последовательного развития отраслей промышленности, но и открывающих новые горизонты приумножения природного капитала недр.

Механизм освоения минерально-сырьевых баз также связан с успешными исследованиями газово-жидких включений / Наумов Г.Б., Наумов В.Б., Миронова О.Ф. (ГЕОХИ РАН) /.

Следует отметить, что развитие современного этапа горно-геологических производств, который связан с прогрессивными системами разработки с торцовым выпуском руды [1, 2] наукоемкими многозабойными тренд-технологиями и современной техники [3, 4], рассчитаны на управление государственным фондом недр конкретных руднометаллических месторождений через систему аккумулирующих емкостей (рудоспуски – магазины), которые открывают широкие возможности для инновационного развития МСБ.

Информационное поле и инфраструктура карт позволят прогнозировать ожидаемый эффект от разработки месторождений полезных ископаемых в национальных интересах на международной арене. Все это позволит осуществлять добычу не только разумной достаточности, на что указывает акад. К.Н.Трубецкой, но и осуществляет оптимизацию как текущей, так и прогнозной востребованности в мире индивидуального минерально-сырьевого потенциала сортности и видов металлов [5], а также осуществлять техногенное преобразование недр, создавая те виды полезных ископаемых для международных рынков с целевым назначением промышленно-технологических свойств, которые открывают широкие возможности для сотрудничества.

Таким образом, стратегия оперативного управления уникальной конкретики минерально-сырьевыми базами РММ носит международный характер с целевым назначением сотрудничества, имеющих важное значение для потенциального развития современных индустрий [6] в странах мирового сообщества.

Поэтому, системный выбор стратегических преимуществ освоения ценности минерально-сырьевого потенциала при отработке конкретных

руднометаллических месторождений и их участков на основе расчетливо составленных информационных полей, носит исключительный характер, влияющий на этапы развития высоких технологий.

Литература

1. Агошков М.И., Иофин С.Л., Будько А.В. и др. Обобщение опыта и оценка перспектив широкого применения вариантов систем разработки с торцовым выпуском руды. // Горный журнал. – 1983. – №6. – С. 34-38.
2. Кузьмин М.Б. Перспективы совершенствования системы разработки подэтажного обрушения с торцовым выпуском руды. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – №4. – С. 177-181.
3. Кузьмин М.Б., Красавин А.Г., Рыжова Л.П., Усова Т.Ю. Цели и тенденции развития инновационных технологий добычи многокомпонентных руд. // В сб. «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр». – М.: ИПКОН РАН. – 2016. – С. 201-204.
4. Кузьмин М.Б., Красавин А.Г., Рыжова Л.П. К вопросу о направлении научно-технического прогресса в горной промышленности. // Вестник ЗабГК. – 2016. – №9. – С. 19-22.
5. Кузьмин М.Б., Красавин А.Г., Рыжова Л.П. Инновационная технология геометризации подземной разработки с применением самоходного технологического оборудования. // Маркшейдерия и недропользование. – 2010. – №4. – С. 22-29.
6. Кузьмин М.Б., Красавин А.Г. Особенность эффективного функционирования горных предприятий в национальных интересах, обеспеченных геолого-технологическим картированием. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – №6. – С. 281-284.

РОЛЬ И ФУНКЦИИ МЕНЕДЖМЕНТА В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Краденых И.А.

*Институт горного дела Дальневосточного отделения
Российской академии наук*

Необходимость исследования системы менеджмента в золотодобывающей отрасли обусловлены большим спектром проблем, с которыми приходится сталкиваться предприятиям при освоении россыпных месторождений. Практическая значимость и нерешенность многих вопросов по оптимизации системы менеджмента в золотодобывающей промышленности определили актуальность исследования.

На эффективность управления оказывают воздействие многочисленные факторы, связанные с общим состоянием экономики, уровнем

взаимодействия организаций, компаньонов и конкурентов, законодательства и пр. При этом от современного менеджмента требуется направленность на рациональное управление деятельностью предприятия в условиях дефицита ресурсов, и необходимости достижения высоких конечных результатов с минимальными затратами и оптимальной адаптацией предприятия к существующим условиям деятельности. На основе эффективного управления предприятие получает возможность успешно развиваться в условиях меняющейся рыночной среды. Главными средствами при этом являются стратегические аспекты ведения бизнеса, организационные структуры бизнес-процессов, эффективные методы и технологии, с помощью которых происходит выявление определяющих факторов и критериев эффективного управления.

Управление должно осуществляться с учетом реальной оценки ресурсов и возможностей предприятий по отношению к условиям внешней среды. Известно, что ядром управления является формулировка стратегии, которая подразумевает единую концепцию, связывающую и направляющую рост сложной организации [1, 2].

В россыпной золотодобыче отмечается ежегодное снижение объемов разведанных запасов золота. Прогнозы по функционированию отрасли составляют около десяти лет, но в случае финансирования и проведения геологоразведочных работ на россыпях этот срок может отодвинуться еще на 10–15 лет [3, 4]. В связи с этим проблемы стратегического развития производства предприятий золотодобывающей промышленности являются весьма актуальными и требуют исследования.

Заинтересованность золотодобывающих предприятий в расширении собственной сырьевой базы позволяет преодолеть такие угрозы внешней среды, как дефицит минерально-сырьевой базы россыпного золота путем переоценки разведанных запасов, организации поисково-разведочных работ, вовлечения в освоение нетрадиционных геолого-промышленных типов россыпей. Также, золотодобывающие компании, используя возможность диверсификации хозяйственной деятельности, могут значительно повысить свою эффективность за счет освоения комплексных месторождений. Это может повысить эффективность горно-эксплуатационных работ путем добычи попутных компонентов, или за счет повышения извлечения мелкого и тонкого золота, и снижения его потерь, что увеличивает рентабельность производства.

Наряду с использованием стратегического подхода к управлению портфелем инвестиций, компании могут провести интеграцию своей производственной деятельности с целью обеспечения более высокой конечной стоимости. Данные стратегические решения, такие как реструктуризация; приобретение или слияние компаний, внедрение технологических инноваций, имеют серьезные долгосрочные последствия для будущего

компании [5, 6]. Таким образом, несмотря на сложную ситуацию в минерально-сырьевом секторе, некоторые стратегии можно использовать в качестве инструмента, позволяющего учитывать перемены на рынке

Одним из направлений стратегического менеджмента является инновационный менеджмент, поскольку стратегические решения инновационны по своей природе [7]. Задача инновационного менеджмента заключается в определении основных направлений научно-технической и производственной деятельности предприятия при разработке, внедрении или усовершенствовании выпускаемой продукции. Золотодобывающая промышленность – от геологоразведки до добычи и переработки нуждается в переходе к инновационному развитию отрасли. Решить проблему, связанную с необходимостью освоения месторождений с низким содержанием ценного компонента, возможно путем внедрения нетрадиционных технологий добычи и обогащения, использования при этом нового оборудования и реагентов, исследования и создания новых методов работы. Однако внедрение в производство современных технологических комплексов и оборудования в сложных горно-геологических условиях подвергается воздействию различных факторов, усложняющих систему управления предприятием [8].

Управленческие действия должны опираться на переход к инновационному технологическому развитию, основанному на передовых отраслевых технологиях, учитывающих снижение качественных характеристик россыпного золота. При этом для эффективного применения методов инновационного менеджмента золотодобывающим предприятиям необходима связь с отраслевой наукой, которая нарушилась в результате рыночных преобразований.

Современные условия на рынке минерального сырья характеризуются колебаниями спроса и цен на сырье, что приводит к снижению прибыли золотодобывающих компаний, в то время как затраты производства имеют тенденцию роста [9]. В такой ситуации, чтобы удержаться на рынке, золотодобывающим предприятиям необходимо предпринимать меры с целью повышения эффективности своей деятельности.

Например, мероприятия, направленные на снижение затрат путем их диагностики, позволят выявить способы повышения производительности, на основе которых возможна оптимизация доходности на вложенный капитал. Также одним из способов, направленных на повышение эффективности деятельности, является внедрение технологий, которые позволяют не только автоматизировать горные работы, но и дают возможность иметь зрительное изображение происходящих процессов, на основе чего можно выявлять неэффективные зоны и отслеживать степень производительности и соответственно оптимизировать производственные процессы.

Важным условием успешного функционирования предприятия является эффективность системы управления кадрами, которая обеспечивается в рамках кадрового менеджмента. Известно, что горнодобывающие предприятия часто находятся в районах с неразвитой инфраструктурой, что сопровождается проблемами занятости трудовых ресурсов. В связи с этим вопросы по обеспечению производственными кадрами горнодобывающих предприятий являются актуальными [10, 11]. Дефицит квалифицированных кадров в горной промышленности, по мнению аналитиков, будет увеличиваться. Борьба с этой проблемой нужно различными способами, например, путем повышения профессионального уровня своих сотрудников, предоставления им возможности повышения квалификационного уровня, оплаты их высшего специального образования и пр. Эффективное управление кадрами – важная задача, решаемая в рамках социального менеджмента.

В рамках социального менеджмента также решаются задачи, направленные на формирование здорового психологического климата во всех подразделениях предприятия. Общественное развитие требует создания новой концепции, основанной на становлении и развитии творческой личности. При таком подходе затраты, направленные на подготовку кадров, следует рассматривать как долгосрочные инвестиции в развитие организации [8]. Также в рамках социального менеджмента ставятся цели, связанные с поиском и разработкой эффективных мер по привлечению и консолидации сотрудников данной отрасли. При этом решение проблем и финансирование социальных мероприятий напрямую связано с действиями, принимаемыми на уровне финансового менеджмента.

Согласно исследованию П. Друкера в кризисные времена центральная задача управления заключается в укреплении структурной прочности и устойчивости организации к ударам и внезапным переменам, гарантированном обеспечении способов выживания и повышении устойчивости функционирования [12]. Следовательно, исследование навыков и приемов финансового менеджмента позволяет организации воспользоваться этими знаниями, и тем самым усилить свои позиции [13].

Решаемые в рамках финансового менеджмента вопросы заключаются в обеспечении необходимой доходности функционирования предприятия, его платежеспособности, привлечении средств, направленных на выпуск продукции, кредитовании, контроле эффективности использования вложенных средств и др.

В настоящее время многие золотодобывающие предприятия характеризуются нестабильным и даже кризисным финансовым состоянием. Для того, чтобы не просто выживать, но и двигаться к росту эффектив-

ности, золотодобывающим предприятиям необходимо преодолеть отставание в развитии техники и технологии, обеспечить высокое качество добычи и переработки золотосодержащего сырья, и в этом направлении целенаправленно проводить организационные изменения. Следует также отметить, что ограниченная возможность привлечения инвестиционного капитала, связанная с высокой степенью риска деятельности золотодобывающих предприятий, что в свою очередь снижает возможность формирования экономического роста регионов россыпной золотодобычи.

Вопросы снижения многочисленных рисков, характерных для горнодобывающих предприятий, актуальны как для руководства производства, так и инвесторов, поскольку деятельность золотодобывающего предприятия связана с высоким уровнем изменчивости условий горных работ. Поэтому изучение способов управления, применяемых как в зарубежной, так и в российской практике, позволит решать задачи эффективного управления рисками горных предприятий.

Ряд авторов под управлением рисками понимают, прежде всего, процесс, направленный на предотвращение или минимизацию отрицательных последствий для организации. Данное мнение может быть частично ошибочным, поскольку цели и задачи управления рисками организации определяются лицами, непосредственно ответственными за данный процесс. В связи с этим возможна такая ситуация, при которой руководство занимается не снижением, а увеличением рисков ради достижения определенных целей или задач, например, для получения большей прибыли [14].

В исследованиях профессора А.А. Петросова анализ риска осуществляется с позиции его взаимосвязи с результатом экономической деятельности горнодобывающего предприятия, под которым подразумевается величина полученной прибыли. Важный этап анализа заключается в выявлении факторов, влияющих на получение прибыли, с целью поиска возможностей влияния на риски [15]. В процессе функционирования золотодобывающего производства, риск-менеджмент предполагает разработку и реализацию экономически обоснованных рекомендаций и мероприятий, направленных на уменьшение их исходного состояния риска до приемлемого уровня.

Выводы. Современные предприятия россыпной золотодобычи нуждаются в более совершенном менеджменте, чтобы сделать свою работу более продуманной и эффективной, добиться при этом более высоких доходов. Воздействие внешних сил на функционирование золотодобывающих компаний проявляется в виде различных перемен, например, в виде изменения качества и количества сырьевой базы, что отражается на технологиях, методах и способах работы. Не принимая во

внимание эти перемены и, откладывая решения по дальнейшему развитию, золотодобывающие предприятия ставят под угрозу эффективность своей деятельности. В данном случае роль менеджмента заключается в обеспечении их устойчивого функционирования при различных сценариях развития отрасли.

Литература

1. Гольдштейн Г. Я. Стратегический инновационный менеджмент. – Таганрог: ТРТУ, 2004. – 267 с.
2. Ансофф, И. Стратегический менеджмент – СПб.: Питер, 2009. – 344 с.
3. Кашуба С. Г., Иванов В. Н., Дудкин Н. В. Обзор итогов добычи и производства золота в России за первое полугодие 2014 года // Золото и технологии. – 2014. – № 3 (25) – С. 6 – 15.
4. Самсонов Н. Ю., Дудкин Н. В. Золотодобывающая отрасль Сибири и Дальнего Востока факторы роста до 2020 года // Золото и технологии. – 2011. – № 4. – С. 74 – 78.
5. Ганицкий В. И., Велесевич В. И. Менеджмент горного производства. – М.: МГГУ, 2007. – 357 с.
6. Архипова Ю. А., Краденых И. А. Вариант повышения эффективности функционирования горнодобывающих предприятий в современных условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск: Дальний Восток-1. – 2010. – № ОВ 4. – С. 442–450.
7. Велесевич В. И., Лихтерман С. С., Ревазов М. А. Планирование на горном предприятии. – М.: Горная книга, 2005. – 405 с.
8. Таракановский В. И. Артельный труд теперь не в почете, прошлое и настоящее старательской золотодобычи // Золотодобыча. – 2014. – № 183. – С. 56 – 59.
9. Беневольский Б. И. Золото России: проблемы использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы. – М.: Геоинформмарк, 2002. – 464 с.
10. Селин В. С., Цукерман В. А. Управление персоналом и производительностью труда на горном предприятии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 11. – С. 200 – 208.
11. Даянц Д. Г., Романова Н. П. Управление персоналом на горных предприятиях – М.: МГГУ, 2001. – 302 с.
12. Друкер П. Задачи менеджмента в XXI веке. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 272 с.
13. Гаврилова А. Н., Сысоева Е. Ф., Барабанов А. И. Финансовый менеджмент: учебное пособие. – М.: КНОРУС, 2010. – 432 с.
14. Марцынковский Д. А., Владимирцев А. В., Марцынковский О. А. Управление рисками в современных системах менеджмента. – СПб: Береста, 2010. – 246 с.
15. Петросов А. А. Стратегическое планирование, прогнозирование, экономические риски горного производства. – М.: Горная книга, 2009. – 684 с.

**О ПРИНЦИПАХ ОРГАНИЗАЦИИ ИНСПЕКЦИИ
КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ОБЯЗАННОСТЕЙ РАБОТНИКАМИ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

Захаров В.Н.¹, Петров И.В.¹, Варганов С.А.¹, Васин А.А.²

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

² *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

Обеспечение безопасности производственных процессов, выполнение требований охраны труда и техники безопасности, требований промышленной санитарии является одной из важнейших функций руководства горнодобывающего предприятия. Коллективом авторов проведен всесторонний анализ существующей в настоящее время системы обеспечения безопасности производственных процессов, основанной на действующих регламентирующих документах, огромном практическом опыте и знаниях работников угледобывающих предприятий, в том числе:

- производственного процесса, обеспечения безопасности и охраны труда при подземной добыче угля для условий шахт СУЭК-Кузбасс;
- факторов (социально-экономических и технологических), влияющих на нарушение техники безопасности и дисциплины работниками угольных шахт;
- результатов аварий на предприятиях угледобывающей отрасли (как приведших к техногенным катастрофам, так и тех, при которых серьезных последствий удалось избежать), их причин и связи с сознательным и несознательным нарушением работниками угольных шахт трудовой дисциплины и техники безопасности ведения горных работ;
- системы управления производственным процессом при подземной добыче угля, анализ существующей системы наказаний и поощрений работников в зависимости от уровня их трудовой дисциплины, интенсивности и результатов труда;
- особенностей организации контроля производственного процесса и
- структуры расстановки производственного персонала угледобывающего предприятия.

Общим выводом из полученных результатов является необходимость дальнейшего совершенствования системы обеспечения безопасности. В первую очередь, необходимо перейти к обоснованным

моделям организации контроля выполнения требований технологической дисциплины, техники безопасности и охраны труда на горном предприятии (угольной шахте).

Для описания и построения системы контроля безопасности на горнодобывающих предприятиях необходимо учитывать, что в лице персонала предприятия мы имеем дело с коллективом индивидуумов, поведение каждого из которых можно интерпретировать как максимизацию некоторой внутренней функции полезности. Под полезностью понимается агрегированная величина, учитывающая материальные (зарплата, премии, штрафы), а также нематериальные компоненты (авторитет, место в неформальной иерархии и т.п.). Кроме того, имеется центр, принимающий решения (руководство предприятия), выигрыш которого напрямую связан с поведением персонала, в частности, с соблюдением ими техники безопасности.

Поэтому необходимо создать для работников занятых на опасных производственных процессах такие условия, чтобы для них наиболее выгодным поведением являлось то, которое необходимо горнодобывающей компании. Добиться этого можно, выбирая механизмы экономического и административного стимулирования горнорабочих, линейных руководителей, инженеров по технике безопасности, инспекторского состава, а также за счет создания иерархической системы контроля, включающей несколько уровней инспекционных проверок.

Важность и своевременность такого подхода определяется структурой аварийности на горном производстве и тем обстоятельством, что для его внедрения не потребуются технического переоснащения горных производств. Единственное, что может подвергнуться изменению, – это институциональная часть организации контроля безопасности, а также методы размещения и статусы технических средств контроля.

Исходя из вышеизложенных особенностей, разрабатываемый подход к инспектированию качества выполнения производственных обязанностей работниками горнодобывающих предприятий должен удовлетворять перечисленному далее ряду требований.

1. Обоснование оптимальной структуры инспекции (одно-, двух-уровневая), стратегии проведения проверок (внезапные проверки с заданной вероятностью на каждом уровне инспекции), схему наказания нарушителей (штрафные санкции, увольнение), а также заработные платы инспекторов нижнего уровня и затраты на инспекцию высшего уровня, исходя из статистической обработки данных по технико-экономическим показателям горного предприятия, в том числе технологиям, расстановке рабочих, схеме оплаты труда.

2. Учет возможности сговора на любых уровнях инспекции, кроме наивысшего, с обеспечением подавления возможности таких сговоров административно-экономическими методами.

3. Открытость архитектуры инспекционной системы для возможности модификации ее в дальнейшем с точки зрения динамики во времени, а также возможности учета дополнительных типов управленческих решений.

4. Допустимость в дальнейшем возможности учета дополнительных типов поведения работников и изменений в структуре персонала, в том числе перемещений бригад между предприятиями (вахтовые, командировочные схемы) и внутришахтные уровни мобильности сотрудников.

5. Возможность разработки методологических подходов к оценке вероятности возникновения чрезвычайных происшествий антропогенного характера и наносимого ими ущерба в зависимости от стратегии поведения работников.

6. Построение алгоритма оценки вероятности ЧП и наносимого им ущерба.

Изучая причины нарушения правил техники безопасности работниками горнодобывающих предприятий видно, что основной инструмент стимулирования труда – заработная плата, состоящая из тарифной ставки и премии от вклада каждого члена бригады в результат их труда, не настраивает работника на безусловное соблюдение требований безопасности.

Существуют положения по премированию работников, в которых определены показатели премирования (депремирования) и их весовые коэффициенты. Основные показатели работы производственных участков – это объем добычи или проходка горных выработок; дополнительные показатели – качество угля, соблюдение техники безопасности, отсутствие травматизма, соблюдение проектных параметров (сечение выработки, паспорта крепления выработок и др.). На вспомогательных участках заработная плата складывается из тарифа и премии за выполнение плана в целом по шахте. Простои оплачиваются за «время простоя по вине работодателя оплачивается в размере не менее двух третей средней заработной платы работника. Время простоя по причинам, не зависящим от работодателя и работника, оплачивается в размере не менее двух третей тарифной ставки, оклада (должностного оклада), рассчитанных пропорционально времени простоя» (статья 157 Трудового кодекса РФ). Примерное соотношение оклада и премий основного персонала угольных шахтах составляет 70/30. Таким образом, во время простоя работники, занятые добычей угля и проходкой, получают зарплату почти в 2 раза меньше, чем при работе. Такая разница провоцирует сговор между работниками и лицами, ответственными за контроль, с

целью сокрытия реальных отклонений от технико-технологических регламентов и требований промышленной безопасности, вплоть до вмешательства в работу автоматизированной системы аэрогазового контроля. Конечно, в этих рассуждениях не учитываются возможные материальные потери в случае возникновения аварийной ситуации. Но, так как такие аварии являются достаточно редкими событиями, многие работники не воспринимают эту компоненту, или считают требования техники безопасности слишком жесткими. Поэтому возникает задача создания контролирующей инспекционной структуры, обеспечивающей безусловное соблюдение техники безопасности и учитывающей вероятные пренебрежения требованиями безопасности и коррупцию.

Подобные проблемы возникают не только в горнодобывающей промышленности, но и в других сферах. Большинство инспекций сталкиваются со сходными проблемами контроля сотрудников, взаимодействующих с «конечными» агентами, например, гражданами, подлежащими проверке (налоговая или пожарной инспекции), клиентами компаний и т.д. Конечная цель организации проверяющей конечных агентов структуры – добиться от них поведения, приемлемого для компании.

Обеспечивать требуемое от агентов поведение должны сотрудники инспекции. Их задача – контактировать с агентами и выявлять истинное положение дел для каждого из них, применяя определенную систему наказаний в случае неподобающего поведения (штрафы при нарушении техники безопасности). Однако при таком взаимодействии часто возникает возможность сговора между проверяющим и внешним агентом, выгодного для каждого из них, однако негативно сказывающегося на инспекции в целом. Для того, чтобы воспрепятствовать этому, организуются проверяющие иерархические контрольные структуры, подавляющие коррупцию на всех уровнях с помощью малого числа надежных инспекторов.

Задача, которую решает центр ответственности за безопасность горных работ в компании, заключается в следующем: как с минимальными затратами создать эффективную контролирующую структуру, которая обеспечивает требуемое поведение работников всех уровней горнодобывающего предприятия и минимизирует возможность сговора между ними и проверяющими? Стратегия инспекции задается вероятностями проверок в зависимости от поступающей информации о результатах, полученных на предшествующих уровнях. В настоящее время разработана методология и понятийный аппарат, применяемые при решении задач оптимальной организации инспекций и показано, как с минимальными затратами создать эффективную контролирующую инспекционную структуру, обеспечивающую соблюдение требований безопасности и подавляющую коррупцию [1].

Как показывают ранее проведенные исследования возможно применение иерархической модели организации контролирующей структуры для решения задачи повышения безопасности на горнодобывающем предприятии, учитывающей ограничения, накладываемые спецификой горнодобывающей отрасли, реализация подобного подхода возможна при соблюдении ряда условий, требующих учета [2]. Доказана возможность использования теоретико-игрового подхода для предприятий горнодобывающей отрасли при построении модели выбора оптимальной нормы порогового содержания метана с точки зрения повышения прибыли и снижения аварийности. Цель рекомендуемой системы инспектирования – создание эффективной модели контроля соблюдения этой нормы [3].

Для достижения этой цели возможно использование двух моделей организации инспекции. Для модели с фиксированными штрафами определена оптимальная вероятность организации внешней проверки. Во второй модели, где в качестве наказания за нарушение техники безопасности рассматривается увольнение, найдено оптимальное значение зарплаты шахтового инспектора с точки зрения уменьшения затрат на проверки. Определено условие, при котором участие в проверке шахтового инспектора более выгодно, чем организация прямой внешней проверки бригады.

Предположим, что соблюдение правил техники безопасности обеспечивает максимальную среднюю прибыль на предприятии (с учетом ожидаемых потерь в случае аварии), и руководство заинтересовано в отсутствии нарушений нормы. В противном случае для организации эффективной инспекции потребовалось бы больше уровней.

При разработке моделей контроля техники безопасности необходимо проанализировать возможность эффективного внешнего контроля. Внешний контроль может осуществляться как дистанционно при помощи оборудования (датчики, камеры видеонаблюдения), так и личной проверкой на месте. Однако, в первом случае оборудование можно повредить или установить таким образом, чтобы его показания не отражали действительность. Таким образом, для того, чтобы инструментальная система внешнего контроля была эффективной, необходимо сделать ее недоступной для работников, задействованных на подземных работах. Если речь идет о видеонаблюдении, то оно должно быть скрытым, а работники не должны знать не только о местоположении камер, но и об их наличии. То же справедливо и для датчиков загазованности. Другим возможным вариантом является использование переносной аппаратуры, местоположение которой не фиксировано и может быть выбрано руководством предприятия. Однако доверить размещение подобных средств контроля можно только внешним инспекторам, которым придется лично посещать проверяемый участок.

Во втором случае проблема возникает, если работники будут заранее оповещены о приезде внешнего инспектора на шахту. Внешний инспектор не может спуститься в шахту инкогнито, если охранники, работающие на верхних уровнях, предупредят шахтеров. Одним из вариантов решения указанной проблемы может стать лояльная к руководству охрана, обеспечивающая внезапный приход внешнего инспектора. Далее предполагаем, что руководство может организовать внезапную проверку и выявить все нарушения, однако организация такой проверки требует существенных затрат.

В результате проведенных исследований выявлена динамическая зависимость, определяемая уровнем дохода участников производственно-инспекционного процесса. Эта зависимость позволяет рассчитывать конкретные рекомендуемые схемы контроля и определять уровни оплаты участникам процесса. Следует с осторожностью подходить к увеличению доходов мастеров и бригадиров – с ростом этих доходов возрастает и их заинтересованность в нарушении правил безопасности, увеличивающая, в свою очередь, расходы на инспекцию.

Одним из путей выхода из этой ситуации является обучение и тренинг инспекторов с постоянным контролем компетенций через систему тестирования и имитационное моделирование инспекционных ситуаций. Система такого обучения и контроля инспекторов может формироваться централизованно [4, 5].

По итогам проведенного исследования можно сформулировать ряд практических рекомендаций по организации контроля техники безопасности и предотвращения чрезвычайных происшествий. В частности, контроль за соблюдением техники безопасности рекомендуется возложить на двухуровневую инспекцию. Первый уровень инспекции состоит из работников, ответственных за соблюдение техники безопасности на самих добычных участках, непрерывно ведущих наблюдение за рабочими. Более высокий уровень инспекции представлен доверенными лицами руководства (представителями высшего звена управления, внешними инспекторами). Для повышения эффективности их работы, рекомендуется использование различных инструментальных средств контроля, неподконтрольных младшим управляющим звеньям. Проверка внешними инспекторами, таким образом, должна включать в себя не только непосредственный спуск в забой, но и создание соответствующей системы наблюдения, неподконтрольной только представителям высшего звена управления либо полностью автоматической. Сама по себе проверка должна проводиться случайным образом (рандомизированно), а интенсивность ее должна соответствовать смоделированным вероятностям.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности инспекционного контроля является расширение стратегии руководства (помимо организации внешней инспекции оно также имеет возможность ротации бригад). Проведенный предварительный анализ показал большие практические возможности в повышении управляемости ситуацией в сфере охраны труда. Отмечено снижение затрат на возможно применимые схемы организации контроля и, как следствие, повышения его эффективности.

Другим важным направлением повышения эффективности деятельности по обеспечению безопасности ведения горных работ являются стратегии руководства в сфере оплаты труда. Обосновано предположение, что зарплаты мастера и его бригады фиксированы и являются относительно рассматриваемой системы экзогенными параметрами, то есть определяются отраслевыми тарифами или иными нормативными актами на уровне выше, чем предприятие. Однако, в реальности возможно представить систему оплаты труда сотрудников динамично меняемой в зависимости от некоего комплекса параметров именно руководством предприятия, которое в реальном режиме времени определяет размер заработной платы всех работников (и схему оплаты их труда в целом). Поэтому другим важнейшим направлением развития рассмотренной системы является учет схемы оплаты труда работников нижнего уровня, как стратегии руководства компании.

В тоже время возможным путем минимизации рисков является минимизация численности персонала, задействованного на ведении основных производственных работ, посредством обеспечения роста производительности труда и создания высокопроизводительных рабочих мест [6].

Таким образом, представленные принципы организации инспекции качества выполнения производственных обязанностей работниками горнодобывающих предприятий могут стать основой организационно-экономических мер по обеспечению безопасности ведения горных работ.

Литература

1. Васин А.А., Николаев П.В., Уразов А.С. Механизмы подавления коррумпции // Журнал Новой экономической ассоциации, 2011. – С. 10-30.
2. Васин А.А., Захаров В.Н., Варганов С.А. О возможности применения теоретико-игровых принципов для построения модели управления технико-экономическими процессами горного предприятия // Материалы международной конференции Развитие идей Д.М. Бронникова в области разработки рудных месторождений на больших глубинах. – ИПКОН РАН Москва, 2013. – С. 104-108.
3. Васин А.А., Захаров В.Н., Варганов С.А. Разработка технологии непрерывного индивидуального мониторинга условий, интенсивности труда и технологической дисциплины выполнения горных работ шахтерами. // 2-я

Международная научная школа академика К.Н. Трубецкого «ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЗЕМНЫХ НЕДР». – М.: ИПКОН РАН, 2016. – С. 296-298.

4. Харченко В.А., Петров И.В., Казаков В.Б., Зайцев С.П. Направления совершенствования системы кадрового обеспечения предприятий горно-промышленного комплекса экономики России. // Горные науки и технологии, 2012. – № 3. – С. 134-139.

5. Петров И.В. Научно-образовательные центры как основа кадрового обеспечения развития горнодобывающих отраслей промышленности. В сборнике: СПРОС И ПРЕДЛОЖЕНИЕ НА РЫНКЕ ТРУДА И РЫНКЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ В РЕГИОНАХ РОССИИ. – Сборник докладов по материалам Десятой Всероссийской научно-практической Интернет-конференции. Под редакцией В. А. Гуртова, 2013. – С. 185-194.

6. Калачева Л.В., Петров И.В., Савон Д.Ю. Обеспечение промышленной и экологической безопасности на угольно-добывающем предприятии как путь к созданию высокопроизводительных рабочих мест. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2015. – № 4. – С. 276-282.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ АНТРОПОГЕННОГО ХАРАКТЕРА НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Захаров В.Н.¹, Петров И.В.¹, Варганов С.А.², Васин А.А.²

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

*2 Московский государственный университет
имени М.В.Ломоносова*

Согласно отчетам Ростехнадзора, большая часть аварий на предприятиях горнодобывающей отрасли происходит в основном по организационным причинам из-за неэффективности или отсутствия производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности, нарушения правил безопасности, технологической и трудовой дисциплины, неосторожных или несанкционированных действий исполнителей работ. То есть одной из причин является субъективный человеческий фактор, который может эффективно корректироваться специфической системой переподготовки, аттестации и мониторинга текущих компетенций персонала, в том числе через высокий уровень профессионализма и производительности труда [1,2].

В тоже время, одной из специфичной для угольных шахт причиной аварий являются взрывы метановоздушной смеси, вероятность которой,

без учета человеческого фактора объективно может быть смоделирована. Таким образом, оценка вероятности чрезвычайных происшествий антропогенного характера на угольных шахтах в виде основного типа аварий – взрыв метановоздушных смесей и наносимого ими ущерба является важнейшей задачей, стоящей перед отраслью [3].

Для всех предприятий горнодобывающей отрасли определена законодательная норма \bar{r} на предельную концентрацию метана в атмосфере шахты. Работы по добыче угля должны останавливаться, если показания приборов указывают на превышение содержания газа свыше нормы. Как правило, на шахтах устанавливается специализированное оборудование, которое в автоматическом режиме обесточивает участок добычи при резком повышении концентрации газа.

Весь период функционирования предприятия разделим на условные циклы, примерно соответствующие сменам. Каждый такой цикл состоит из двух частей, а именно, периода активной добычи и периода ожидания нормализации условий добычи. На первом этапе (активная добыча) производятся добычные работы. При достижении концентрации метана верхней границы r^a все работы останавливаются, и производится эвакуация персонала. После этого наступает период нормализации условий труда. На этом этапе производится проветривание шахты и ожидание понижения концентрации метана до нижней границы r_0^a .

Концентрация метана зависит от количества выделяемого из угля метана и от количества поступающего в забой воздуха. В первом приближении концентрацию метана в момент времени t можно представить в следующем виде: $w_d(r_0^a, t) = r_0^a + (\mu v - v_c)t$, где r_0^a – начальная концентрация метана, μ – среднее содержание метана в породе, v – скорость проходки, v_c – скорость проветривания участка добычи.

Важной составляющей, требующей внимания, являются внезапные выбросы метана, которые можно рассматривать как последовательность случайных событий. В качестве модели этого процесса хорошо подходит классический Пуассоновский процесс – благодаря свойствам ординарности и отсутствия последствий. Тогда среднее количество выбросов метана λt за время наблюдения t будет являться характеристикой интенсивности потока событий. Из этого следует, что вероятность появления k выбросов за время t будет равна $P(N(t) = k) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}$. В результате последовательных выбросов концентрация газа в атмосфере выработки повышается каждый раз на некоторую величину. Их последовательность обозначим X_1, X_2, \dots , это независимые и одинаково рас-

пределенные случайные величины. Случайные выбросы метана имеют показательное распределение с параметром $\delta > 0$: $F_X(v) = 1 - e^{-\delta v}$, $v \geq 0$. Тогда концентрацию метана в момент времени t можно представить в следующем виде: $w(r_0^a, t) = r_0^a + (\mu v - v_c)t + \sum_{j=1}^{N(t)} X_j$.

Как уже упоминалось выше, добыча угля останавливается, когда текущая концентрация превышает установленный руководством норматив r^a , а возобновляется, когда опускается до нижней границы r_0^a . Определим моменты остановки и возобновления добычи, как t_d^* и t_w^* .

Оценим экономические потери с позиции страховых выплат. Концентрацию метана в атмосфере выработки можно представить как случайный процесс, который может быть описан с помощью классического процесса риска. Тогда выбросам метана могут быть сопоставлены выплаты по страховым случаям, а моменту остановки работы t_d^* – момент приостановки страховых выплат страховой компанией. Для такой модели известен явный вид плотности распределения момента разорения. Применив этот результат к нашей модели, получим, что плотность распределения момента достижения $t_d^*(r^a, r_0^a)$ метана r^a при начальной концентрации r_0^a имеет следующий вид:

$$f_T(t, r^a, r_0^a) = e^{\delta(r^a - r_0^a + (v_c - \mu v)t)} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\delta^k (r^a - r_0^a + (v_c - \mu v)t)^k \lambda^{k+1} t^k e^{-\lambda t}}{(k!)^2}.$$

После этого добыча угля останавливается, и рабочие ожидают снижения концентрации до нижней отметки r_0^a . Концентрация метана на этом этапе изменяется по закону $w_w(R, t) = R - v_c t$, R – концентрация метана в момент остановки добычи угля. Применив для модели концентрации результат работ [47, 48], можно получить, что распределение размера превышения метана r_+^a в момент остановки является экспоненциальным с параметром $\delta > 0$. Тогда концентрация в момент остановки равна $w_w(r^a, t) = (r^a + r_+^a) - v_c t$, а добычные работы возобновляются, если $w_w(r^a, t) = r_0^a$. Из этого условия получим время ожидания нормализации условий добычи: $t_w^*(r^a, r_0^a) = \frac{(r^a - r_0^a) + r_+^a}{v_c}$.

Однако добыча угля может останавливаться не только из-за превышения концентрации метана, но и из-за уже произошедшего взрыва. Взрыв метановоздушной смеси представляет собой совпадение двух

событий: во-первых, концентрация метана должна быть выше нижнего предела взрывчатости $r_{НПВ}$ и, во-вторых, должен появиться источник воспламенения. Нижний предел взрывчатости, в общем случае, зависит от температуры в шахте, давления и от концентрации угольной пыли. В нашей модели мы принимаем нижний предел взрывчатости фиксированным. Определим моменты достижения концентрации метана отметки $r_{НПВ}$. Для этого воспользуемся результатами, полученными для нахождения момента остановки добычи. Тогда плотность распределения момента достижения $r_{НПВ}$ на этапе активной добычи при начальной концентрации r_0^a имеет следующий вид:

$$f_T(t, r_{НПВ}, r_0^a) = e^{\delta(r_{НПВ} - r_0^a + (v_c - \mu v)t)} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\delta^k (r_{НПВ} - r_0^a + (v_c - \mu v)t)^k \lambda^{k+1} t^k e^{-\lambda t}}{(k!)^2}$$

а на этапе нормализации условий добычи:

$$f_{r_{НПВ}(r^a, r_{НПВ})}(x) = \delta v_c e^{-\delta(v_c x - (r^a - r_{НПВ}))}, x \geq \frac{(r^a - r_{НПВ})}{v_c}$$

Неопределенность и непредсказуемость момента возникновения воспламенения является основным источником случайности при взрывах на горнодобывающих предприятиях. Нужно отметить, что при активной добыче угля намного больше возможных источников воспламенения (отбойка, транспортировка угля вентиляционная система), чем на этапе ожидания нормализации условий добычи (вентиляционная система). Однако в обоих случаях действует антропогенная составляющая, определяемая поведением работников и подробно описанная выше. Введем случайные величины X_d, X_w - моменты возникновения источника воспламенения для каждого этапа работ. Согласно техническим особенностям оборудования [4], которое используется на шахтах, величины X_d, X_w имеют показательное распределение с параметрами $\alpha_d > 0, \alpha_w > 0$. Если реализация случайных величин X_d, X_w попадает в промежуток времени, когда концентрация выше нижнего предела взрывчатости, то неминуемо происходит авария.

Ущерб, который несет горнодобывающее предприятие, зависит от мощности взрыва метановоздушной смеси. Чем сильнее взрыв газа, тем больший ущерб несет предприятие. В свою очередь сила взрыва зависит от количества участвующего в нем метана и множества других факторов (температура, давление, концентрация других газов). Если зафиксировать все параметры, кроме содержания метана, то согласно статисти-

ке [5] наибольшей силы взрыв происходит в среднем при концентрации равной 9,5%. При большей концентрации часть метана остается несгоревшей из-за недостатка кислорода.

Размер ущерба в таком случае может быть представлен в виде:

$$Y(w) = \hat{Y}l_{ex}(w),$$

где \hat{Y} – максимальный суммарный ущерб от аварии, $l_{ex}(w)$ – зависимость мощности взрыва от концентрации метана w .

Взрыв метановоздушной смеси наносит ущерб имуществу горнодобывающей компании и здоровью рабочих шахты. В соответствии с Федеральным законом №225 “Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причиненный вред” установлен размер компенсаций для различных случаев нанесения вреда жизни и здоровью рабочих шахты. Максимальная компенсация составляет 2 млн рублей и выплачивается при нанесении ущерба жизни. В этом случае максимальный размер ущерба предприятию от аварии можно представить в виде:

$$\hat{Y} = Y_m + \beta n,$$

где Y_m – затраты на полное восстановление функционирования шахты, β – размер компенсации при гибели шахтера, n – количество работников шахты.

Аварии на шахтах приводят не только к выплатам компенсаций и затратам на восстановление, но и к остановкам в работе предприятия. Продолжительность периода ликвидации последствий также сильно зависит от характера аварии. Чем более масштабная авария произошла, тем больше требуется времени на ее устранение. Таким образом, период ликвидации аварии $t^{ex}(w)$ может быть представлен в виде: $t^{ex}(w) = \hat{t}^{ex}l_{ex}(w)$,

где \hat{t}^{ex} – время восстановления при полном разрушении.

При этом инструментарий должен реализовываться в рамках механизма обоснования эколого-экономических мер по регулированию недропользования на предприятиях угольной промышленности [6].

Таким образом, в проведенном исследовании найдены аналитические выражения, позволяющие дать численную оценку возможного ущерба от аварийных ситуаций в связи с природными и антропогенными источниками аварийности. и при продолжении работ следует путем выполнения наблюдений, замеров и интервью получить необходимый набор числовых данных для осуществления моделирования работы предприятия в реальных условиях с определением вероятного ущерба от аварийных ситуаций.

Литература

1. Харченко В.А., Петров И.В., Казаков В.Б., Зайцев С.П. Направления совершенствования системы кадрового обеспечения предприятий горно-промышленного комплекса экономики России. // Горные науки и технологии, 2012. – № 3. – С. 134-139.
2. Петров И.В. Научно-образовательные центры как основа кадрового обеспечения развития горнодобывающих отраслей промышленности. В сборнике: Спрос и предложение на рынке труда и рынке образовательных услуг в регионах России. – Сборник докладов по материалам Десятой Всероссийской научно-практической Интернет-конференции. Под редакцией В. А. Гуртова, 2013. – С. 185-194.
3. Калачева Л.В., Петров И.В., Савон Д.Ю. Обеспечение промышленной и экологической безопасности на угольно-добывающем предприятии как путь к созданию высокопроизводительных рабочих мест. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2015. – № 4. – С. 276-282.
4. Герцбах И.Б., Кордонский Х.Б. “Математические методы в теории надежности и модели отказов”, 1965.
5. Калякин С., Костенко В., Завьялова Е. “Влияние примесей шахтных горючих газов на взрывоопасность угольных аэрозолей”
6. Васин А.А., Захаров В.Н., Вартанов С.А. О возможности применения теоретико-игровых принципов для построения модели управления технико-экономическими процессами горного предприятия // Материалы международной конференции Развитие идей Д.М. Бронникова в области разработки рудных месторождений на больших глубинах. – ИПКОН РАН Москва, 2013. – С. 104-108.
7. Петров И.В., Секистова Н.А. Механизм обоснования эколого-экономических мер по регулированию недропользования на предприятиях угольной промышленности Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 1. С. 314-322

ДИНАМИЧЕСКИЕ КОНДИЦИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА

Лементя О.Ю.

Забайкальский государственный университет

Геолого-экономическая оценка (ГЭО) месторождений полезных ископаемых (МПИ) проводится на всех стадиях разведочных работ и неразрывно связана с ними.

Месторождение полезного ископаемого – понятие не только геологическое, но в определяющей степени экономическое. По мере развития техники, технологии и изменения экономических условий меняются требования к качеству сырья, соответственно, и представления о промышленной ценности месторождения [3].

Основным инструментом геолого-экономической оценки месторождений в современных условиях является применение кондиций для подсчета запасов полезных ископаемых.

Наибольшее влияние на экономическую эффективность освоения месторождения полезного ископаемого оказывает рыночная конъюнктура, развитие техники и технологии ведения добычных работ, совершенствование технологии обогащения минерального сырья, налоговое законодательство. Данные факторы находятся в постоянной динамике. Следовательно, при изменении одного из перечисленных факторов возможен и необходим пересмотр результатов геолого-экономической оценки с уточнением и корректировкой параметров эксплуатационных кондиций.

Данная проблема присуща и градообразующему предприятию ПАО «ППГХО», ведущему отработку месторождений урана Стрельцовского удного поля.

Сегодня данное предприятие на этапе доработки столкнулось с проблемой истощения минерально-сырьевой базы обрабатываемых месторождений, ухудшением горно-геологических условий эксплуатации, падением содержания урана в добываемой руде по эксплуатируемым месторождениям, и как следствие ростом издержек производства и сокращением активных запасов.

При этом пересмотр эксплуатационных кондиций может стать одним из решений проблемы, позволившим продлить срок отработки данных месторождений в результате прироста запасов.

Так, оценка промышленной значимости эксплуатируемых месторождений урана в стране проводилась по основной их части в период плановой экономики, часть же запасов утверждалась ГКЗ ФБУ десять, а то и двадцать лет назад. В условиях динамично изменяющейся внешней среды, а так же достижений в области техники и технологии добычи и переработки урансодержащих руд ранее утвержденные кондиционные показатели могут стать не актуальными, что в свою очередь самым непосредственным образом сказывается на количестве балансовых запасов месторождений урана.

На сегодняшний день в промышленности не существует прямых заменителей урана, это свидетельствует о том, что в ближайшем обозримом будущем потребность в данном сырье со стороны атомной промышленности сохранится.

В условиях роста потребности в уране со стороны атомной промышленности страны становится актуальным вопрос о наращивании минерально-сырьевой базы за счет собственных месторождений. В данном вопросе видится два варианта решения: экстенсивный и интенсивный.

Экстенсивный путь развития минерально – сырьевой базы урана – это путь наращивания количества запасов за счет поиска и разведки новых месторождений.

Однако проведенные исследования [6] показали, что реализация данного направления при сложившихся низких ценах на уран является экономически не выгодной. С учетом рыночной конъюнктуры в обозримом будущем не прогнозируется существенного роста цен на уран. Следовательно, освоение новых месторождений (Эльконское – Якутия, Горное, Лунное – Забайкальский край) остается не выполнимой экономической задачей.

Вместе с тем существует и другой путь развития минерально-сырьевой базы – интенсивный. Это путь развития ресурсного потенциала горных отраслей за счет увеличения количества пригодных к эксплуатации запасов как на возможных к освоению новых участках месторождений, так и на полях уже действующих предприятий [7].

В условиях сложившейся рыночной конъюнктуры на рынке урана сегодня не представляется возможным экономически и технически разрабатывать новые месторождения урана, следовательно, необходимо сконцентрировать внимание на действующих уранодобывающих предприятиях, и в первую очередь, на ПАО «ППХО», доля которого в общем объеме производства природного урана в России в настоящее время составляет около 68%.

Данная проблема может быть частично решена за счет вовлечения в эксплуатацию участков месторождений с низким качеством руд, и, в первую очередь на базе месторождений Стрельцовского рудного поля.

В целях стимулирования недропользователя вовлекать в промышленную эксплуатацию промышленные участки с низким качеством урана необходимо использовать все инструменты и, в том числе государственного регулирования, дающие возможность интенсивного наращивания минерально-сырьевой базы месторождений урана на базе действующих предприятий в целях удовлетворения потребности страны в стратегически важном сырье, а так же продлении сроков их эксплуатации.

В качестве одного из инструментов государственного регулирования минерально-сырьевой базы выступает порядок пересмотра подходов к обоснованию кондиций и, в частности, введение такого понятия, как динамические кондиции.

В условиях изменчивой внешней среды регулирование эксплуатационных кондиций может стать одним из основных механизмов в пересмотре балансовой принадлежности запасов и, следовательно, расширения минерально-сырьевой базы обрабатываемых месторождений урана. В этом случае становится актуальным следующее определение кондиций: кондиции – это один из инструментов экономического механизма государственного регулирования недропользования, который позволяет влиять на размер балансовых запасов месторождения, участка, блока и, соответственно, на срок отработки запасов [2].

Динамические кондиции должны определяться на основе постоянного мониторинга внешней и внутренней среды и уточняться в процессе годового планирования работы уранодобывающего предприятия с учетом критерия оптимальности сочетания горно-геологических, технологических, экономических, экологических и социальных параметров.

Немаловажным фактом для рыночной экономики является и то, что с 1991г. в Российской Федерации функционирует новая налоговая система. Горнодобывающие предприятия, как самостоятельные хозяйственные единицы, должны платить ряд налогов, платежей, отчислений. Налоговая система оказывает значительное, а порой и решающее влияние на финансово-экономическую деятельность горнодобывающих предприятий. Поэтому представляется необходимым вновь вернуться на этапе доработки МПИ при обосновании динамических кондиций к вариантному подходу при обосновании кондиций, то есть разрабатывать кондиции с учетом всех налогов и платежей и без их учета для определения уровня государственной поддержки на этапе доработки месторождений урана.

Динамический метод, базируясь на детальном учете в пространстве и времени всех основных факторов, дает возможность наметить основные этапы повышения комплексности использования недр и в соответствии с этим регулировать состав и параметры кондиций, в то время как при статическом подходе это невозможно.

По мнению ряда авторов, используемые традиционные методы установления кондиций на минеральное сырье в условиях рыночной экономики должны претерпеть изменения.

При использовании динамического подхода при проведении геолого-экономической оценке необходимо соблюдать следующую последовательность:

1. Анализ и оценка перспектив развития отрасли горного производства.
2. Определение основных тенденций развития рынка (цена, спрос на минеральное сырье). При этом прогноз цен является одним из ключевых факторов.
3. Определение первоочередности освоения отдельных участков месторождения полезного ископаемого с учетом проведенных исследо-

ваний. Под первоочередными участками в период высоких цен понимаются участки месторождения с нерентабельными или граничнорентабельными запасами.

4. Расчет укрупненных технико-экономических показателей эффективности отработки месторождения для вариантов бортового содержания в случае изменения критериальных показателей (сценарный подход).

5. Определение критериальных показателей, при изменении которых возможен пересмотр кондиций и переоценка запасов.

6. Разделение запасов по способам добычи и переработки с учетом достижения техники и технологии ведения всех видов работ.

7. Выявление резерва запасов богатых руд, с помощью гибких (динамических) эксплуатационных кондиций, в составе бедных по содержанию урана и нерентабельных к отработке в контурах, установленных по постоянным или эксплуатационным кондициям.

8. Обоснование параметров гибких (динамических) эксплуатационных кондиций и пересчет запасов.

9. Разработка и утверждение текущих и перспективных планов развития горнодобывающего предприятия с учетом изменяющихся кондиционных показателей.

Установление динамических кондиций для подсчета запасов руды выгодно как государству, так и недропользователю. Следовательно, их правовой статус должен быть уравнен с постоянными и эксплуатационными кондициями. [1].

Однако действующая теория и практика экономической оценки минеральных ресурсов посвящена оценке преимущественно единичного объекта — месторождения или группы месторождений — и отражает тем самым интересы недропользователя, а интересы государства, кроме требования рационального и комплексного освоения недр, полноты использования недр, отражаются только показателем величины будущих налогов, собираемых при разработке месторождения (бюджетная эффективность) [4]. Крайне мало уделяется вопросу социального развития регионов и учету данного фактора при экономической оценке.

По мнению ряда авторов, интересы государства как собственника недр не могут ограничиваться только определением величины бюджетной эффективности и полнотой извлечения недр. Круг интересов государства в недропользовании гораздо шире и включает в себя такие направления, как укрепление минерально-сырьевой базы (МСБ) страны, установление экономической независимости российской экономики в части обеспеченности народного хозяйства минеральным сырьем, рациональное использование недр, соблюдение экологических требований, максимальная сохранность окружающей среды, решение социально-экономических проблем (создание новых рабочих мест, формирование инфраструктуры в районе расположения месторождения) и др. [5]

Особо актуальным решение данной проблемы видится на этапе доработки месторождений для градообразующих предприятий. Применение динамических кондиций позволит продлить срок эксплуатации месторождений, тем самым снизить негативные социальные последствия, присущие этапу их доработки и в полной мере реализовать принцип полного и комплексного использования недр.

Для использования предлагаемых авторами статьи динамических кондиций требуется внесение дополнений в действующие законодательные акты в целях упрощения процедуры пересмотра эксплуатационных кондиций, в части вовлечения в эксплуатацию не рентабельных или гранично – рентабельных запасов при условии изменения предусмотренных в законе критериев показателей. Особое внимание необходимо уделить при формировании законодательной базы в период доработки месторождений в районе моногородов России.

Литература

1. Резниченко С.С., Антипова Н.М. Особенности обоснования динамических разведочных и эксплуатационных кондиций. // ГИАБ (научно-технический журнал). 2012, № 11, с. 329 – 333.
2. Иванова Н.В. Игнатъева М.Н. Кондиции как инструмент государственного регулирования недропользования. [Текст] // Известия уральского государственного экономического университета. 2010, № 4 (30), с. 96 – 100.
3. Лементы О.Ю. Разработка алгоритма экономико-математической модели определения эффективности эксплуатации месторождений урана подземным способом. [Текст] // Вестник Забайкальского государственного университета. 2011, № 3 (70), с. 30 -34.
4. Лисов В.И., Назарова З.М, Маутина А.А., Заернюк В.М. Показатели добавленной стоимости для экономической оценки освоения месторождений полезных ископаемых. [Текст]. // Известия вузов. Геология и разведка. 2015, № 6, с. 90 – 96.
5. Маутина А.А, Назарова З.М. Методические основы оценки экономического эффекта для государства при составлении технико-экономического обоснования кондиций. [Текст. // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2012, № 4, с. 69 – 74.
6. Назарова З.М, Лементы О.Ю. Использование экономического потенциала для продления срока существования ПАО «ППГХО» (в целях расширения ресурсной базы ПАО «ППГХО»). // Вестник Забайкальского государственного университета. 2016, с. 106-116.
7. Шаклеин С.В., Рогова Т.Б., Ярков В.О. Динамические кондиции – методическая основа мониторинга минерально-сырьевой базы угольной отрасли. [Текст] / С.В. Шаклеин, Т.Б. Рогова, В.О. Ярков. // Недропользование XXI век. 2008, № 5, с. 44 – 48.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ РАБОТ

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА ИМАНДРА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ РАЗРАБОТКИ АПАТИТОНЕФЕЛИНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Даувальтер В.А., Кашулин Н.А.

*Институт проблем промышленной экологии Севера
Кольского НЦ РАН*

Озеро Имандра, самый крупный водоем в Мурманской области и одно из крупнейших в Заполярье, расположено на крайнем северо-западе Европейской территории России. Котловина озера находится в глубокой тектонической депрессии, которая простирается с севера на юг от Кольского залива Баренцева моря до Кандалакшского залива Белого моря (Моисеенко и др., 1997). Наличие уникальных месторождений полезных ископаемых и удобное расположение на пути основных транспортных магистралей вызвало развитие мощного индустриального комплекса на территории водосбора озера, что привело к высокой антропогенной нагрузке на водоем. Среди основных производств выделяются следующие: горнодобывающая промышленность (АО «Апатит»), металлургическая промышленность (цветная металлургия – ОАО «Североникель»; черная металлургия – ОАО «Олкон» и ОАО «Ковдорский ГОК»), энергетический комплекс (каскад Нивских ГЭС, Кольская АЭС, Апатитская ТЭЦ), а также хозяйственно-бытовые стоки городов Оленегорск, Мончегорск, Кировск, Апатиты и других населенных пунктов, расположенных на водосборе озера.

С целью оценки экологического состояния озера в зоне влияния промышленных стоков ОАО «Апатит» были проведены исследования химического состава донных отложений (ДО) на 12 станциях. ДО отбирались отборником колонок открытого гравитационного типа, сделанного из плексигласа (внутренний диаметр 44 мм), с автоматически закрывающейся диафрагмой. Колонки ДО были послойно разделены на слои по 1 см (всего 226 проб), помещены в предварительно помытую кислотой полиэтиленовую посуду и отправлены в лабораторию для анализа. Определялись концентрации Ni, Cu, Co, Zn, Cd, Pb, As, Hg, Cr, Fe, Mn, Al, P, Na, K, Ca, Mg, Sr, а также влажность и потери при прокаливании (ППП), как косвенный показатель содержания органического материала. Методы отбора колонок ДО, пробоподготовки и химического анализа описаны ранее (Даувальтер, 2012).

Наибольшие вариации величин влажности, ППП и исследуемых элементов отмечаются в ДО станций, ближе расположенных к месту поступления грубообломочных продуктов обогащения апатитнефелиновой руды – губе Белой и хвостохранилищу АНОФ-II ОАО «Апатит». В толще ДО станций южной части Большой Иманды четко выделяются две части – верхняя более молодая с высокими значениями влажности, ППП и большей части металлов и Р, и нижняя с меньшими значениями этих показателей, которая отложилась до начала горнодобывающей и перерабатывающей деятельности на водосборе оз. Имандра (рис. 1). Это распределение исследуемых элементов можно объяснить историей разработки Хибинских апатитнефелиновых месторождений и поступлением взвешенных веществ различных размеров с предприятий ОАО «Апатит» (Моисеенко и др., 1997). Промышленное освоение месторождений на берегах оз. Имандра было начато в начале 30-х годов XX столетия. До 1957 г. хвосты обогащения сбрасывались в р. Большая Белая, и далее они без всякой очистки поступали в юго-восточную часть Большой Имандры. На прилегающей акватории по данным В.В. Чижикова (1980) сформировалась техногенная залежь отходов апатитнефелиновых пород толщиной слоев до 8 м. Одновременно со строительством АНОФ-II (окончание строительства в 1964 г.) был сооружен огромный отстойник-накопитель площадью 3.4 км² путем отсечения залива (губы Белой) от всего озера (последняя дамба сооружена в 1968 г.). Сброс осветленной части стоков с высоким содержанием тонкодисперсных взвесей сохранялся. Загрязнение озера интенсивно продолжалось и в период 1976-1978 гг. В конце 1978 г. было введено частичное обратное водоснабжение, что позволило снизить объем сброса сточных вод более чем в 2 раза. Прозрачность воды увеличилась в среднем до 2 м. Однако, уровень загрязнения оставался очень высоким. Сказывался эффект вторичного загрязнения, когда вследствие ветрового взмучивания мелкодисперсные взвеси поднимались со дна и распространялись на большие расстояния.

Влияние стоков предприятий ОАО «Апатит» сказалось в высоких концентрациях элементов, содержащихся в апатитнефелиновых рудах и вскрышных породах (рис. 2). Это, прежде всего элементы, содержащиеся собственно в минералах апатите и нефелине – Ca, P, Na, K, Al, а также сопутствующие им щелочноземельный элемент Sr и редкоземельные элементы, не исследуемые в настоящей работе, но подробно описанные ранее по результатам исследований геохимической миграции элементов в оз. Имандра (Моисеенко и др., 1997; Даувальтер и др., 1999). На формирование химического состава ДО южной части плеса Большой Имандры оказывают также влияния сточные воды других предприятий, расположенных на его берегах, главным образом комби-

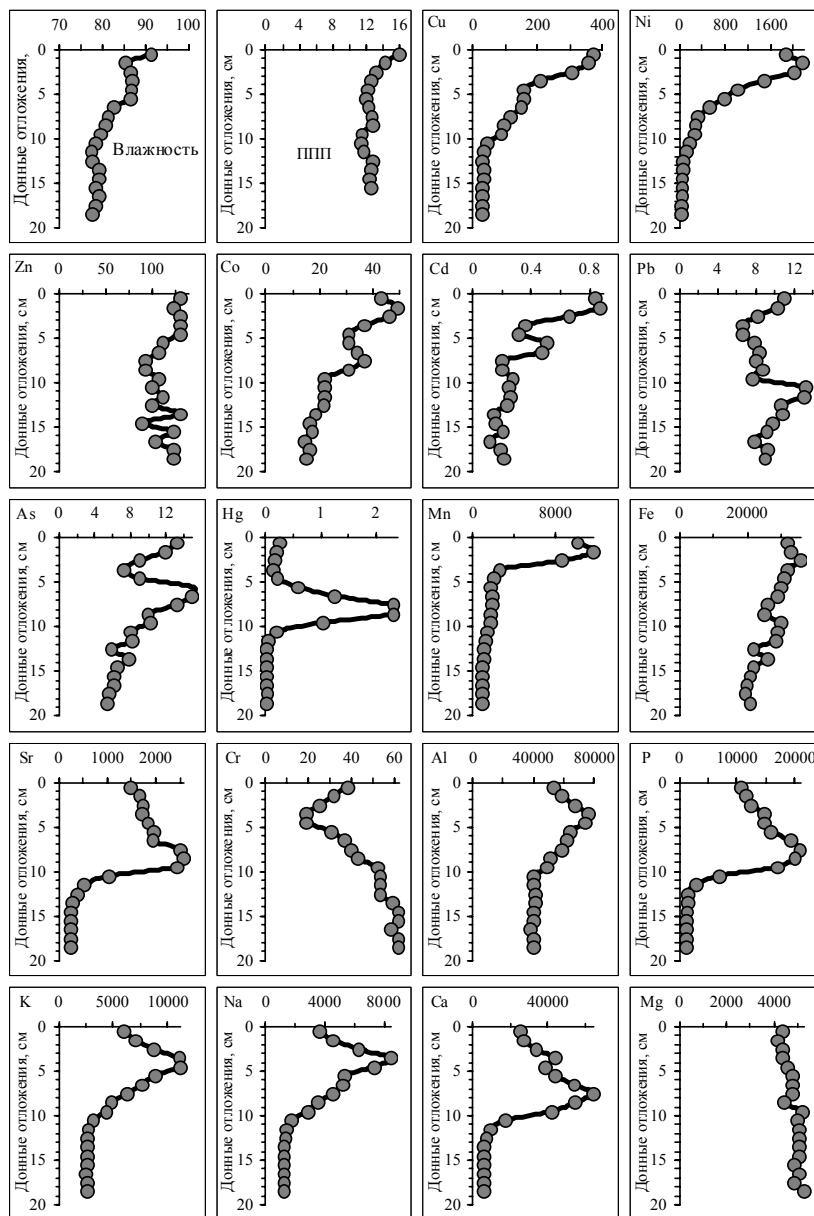


Рис. 1. Распределение исследуемых элементов (мкг/г сух. веса) в толще ДО станции I-32 оз. Имандра.

ната «Североникель» (сказывается в увеличении концентраций Ni, Co, Cu, Cd и других халькофильных элементов в поверхностных слоях ДО), а также Оленегорского ГОКа (Fe, Mn) (Даувальтер и др., 2000). За более чем 80-летнюю историю деятельности ОАО «Апатит» в Белой губе накопилась значительная толща минеральных ДО. Основным образующим их материалом являются взвешенные частицы, поступающие из рудников, обогатительных фабрик и хвостохранилищ, т.е. представляющие собой отходы добычи и обогащения апатитонепелиновой руды. В вертикальном распределении Hg в ДО исследуемых станций Большой Имандры четко отмечается приповерхностный максимум от 0.6 до 2.3 мкг/г (рис. 2), что практически на 2 порядка больше средних фоновых концентраций этого чрезвычайно токсичного халькофильного элемента в ДО озер Мурманской области (Кашулин и др., 2013). Эти максимальные концентрации отмечаются на разных глубинах от 7 до 14 см, в зависимости от скорости осадконакопления.

Сопоставляя с вертикальными профилями других загрязняющих тяжелых металлов (рис. 1), можно сделать вывод, что начало поступления Hg в оз. Имандра совпадает с началом поступления элементов со стоками ОАО «Апатит» (K, Na, Sr, P, Al, Ca) и комбината «Североникель» (Ni, Cu, Co и другие), но максимальные концентрации Hg фиксируются раньше по времени, чем максимумы основных загрязняющих тяжелых металлов – Ni и Cu. Можно предположить, что максимальное поступление Hg происходило в 30-е, а может быть и 40-е годы XX столетия. Возможно, что при проведении взрывных работ на первых этапах разработки апатитонепелиновых месторождений в качестве детонаторов использовалась гремучая ртуть.

Концентрации Hg в поверхностном слое ДО выше в плесе Большая Имандра, чем в Йокостровской Имандре. На исследуемых станциях содержание Hg в поверхностном 1-см слое ДО находится в диапазоне от 0.14 до 0.38 мкг/г. В Большой Йокостровской и Имандре происходит уменьшение содержания Hg по направлению распространения потока загрязнения от главного источника загрязнения на этой акватории оз. Имандра – ОАО «Апатит», что говорит в пользу того, что именно сточные воды объединения являются причиной увеличения содержания Hg в ДО озера. Минимальные содержания Hg отмечаются на станциях Йокостровской Имандры, где происходит разбавление загрязненных вод, поступающих из Большой Имандры.

В целом оз. Имандра характеризуется как загрязненный водоем вследствие поступления стоков металлургического (комбинат «Североникель») и горно-перерабатывающего (ОАО «Апатит») производства. Наибольший вклад в высокое загрязнение практически на всей акватории Большой Имандры оказывают приоритетные загрязняющие тяжелые металлы – Ni, Cu, Co, а также такой высокотоксичный халькофильный элемент, как Hg.

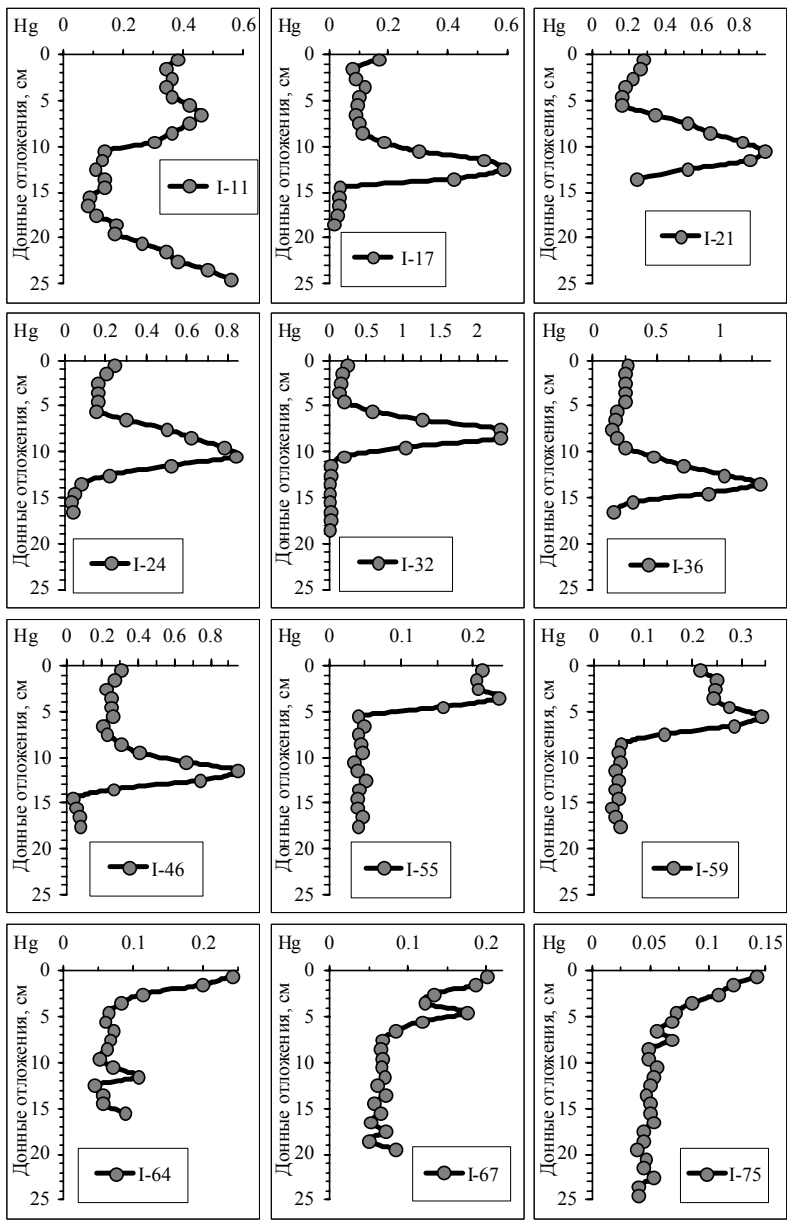


Рис. 2. Распределение Hg (мкг/г сух. веса) в толще ДО исследуемых станций оз. Имандра.

Литература

1. Даувальтер В.А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во Мурманского гос. техн. ун-та, 2012. 242 с.
2. Даувальтер В.А., Моисеенко Т.И., Родюшкин И.В. Геохимия редкоземельных элементов в озере Имандра, Мурманская область // Геохимия. 1999. № 4. С. 376-383.
3. Даувальтер В.А., Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Сандимиров С.С. Накопление тяжелых металлов в оз. Имандра в условиях его промышленного загрязнения // Водные ресурсы. 2000. Т. 27, № 3. С. 313-321.
4. Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Родюшкин И.В. Геохимическая миграция элементов в субарктическом водоеме (на примере озера Имандра). Апатиты: Изд-во КНЦ, 1997. 127 с.
5. Кашулин Н.А., Даувальтер В.А., Денисов Д.Б., Валькова С.А., Вандыш О.И., Терентьев П.М., Кашулин А.Н. Некоторые аспекты современного состояния пресноводных ресурсов Мурманской области // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, №1. С. 98-107.
6. Чижиков В.В. Гидрохимия и донные отложения озера Имандра под влиянием техногенного загрязнения // Экосистемы озера Имандра под влиянием техногенного загрязнения. Апатиты: Изд-во Кольского ФАН СССР, 1980. С. 24-64.

ТЕХНОЛОГИЯ И РЕАГЕНТ ДЛЯ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ АО «АПАТИТ»

**Конина О.Т.¹, Светлов А.В.², Турганов А.В.³,
Макаров Д.В.², Маслобоев В.А.⁴**

¹ЗАО «Орика СиАйЭс»

²Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН

³АО «Апатит»

⁴Кольский научный центр РАН

Хвостохранилища АО «Апатит» являются одними крупнейших техногенных массивов и наиболее интенсивными источниками аэротехногенного воздействия на окружающую среду в Мурманской области. В атмосферном воздухе г. Апатиты в летние месяцы ежегодно отмечаются повышенные разовые концентрации взвешенных веществ в результате пыления хвостов АНОФ-2.

Сотрудники Института проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС) и Горного института КНЦ РАН в 2012-2016 гг. выполнили цикл исследований, посвященных прогнозу рассеяния мультidisперсной пыли при вариации высоты дамбы хвостохранилища АНОФ-2 [1].

Учет потенциального дискретного расположения источников пыления (около 10 га) при штормовом ветре также подтверждает прогноз превышения загрязнения уровня ПДК для г. Апатиты. При этом наиболее опасным в целом для города является расположение участков пыления со стороны предгорья Хибин, что позволяет, в первую очередь, рекомендовать природоохранным подразделениям АО «Апатит» обратить особое внимание на эту часть хвостохранилища.

Проблема пыления действующих хвостохранилищ до сих пор не имеет единого универсального решения. При эксплуатации хвостохранилищ не удается избежать обезвоживания отдельных участков и образования надводных пляжей, которые в сухую ветреную погоду становятся интенсивными источниками пыли. Обеспечение подводной укладки хвостов по всей площади хвостохранилища сложно осуществимо. Нагрев поверхности хвостохранилища в летний период приводит к быстрой потере влаги верхними слоями и усилению ветровой эрозии. Способы, используемые для снижения площадей зон пылеобразования, подбираются в зависимости от условий конкретного объекта. В разных комбинациях используется ряд методов, среди которых наиболее часто применяют методы гидрообеспыливания, физико-химической стабилизации пылящих поверхностей и биологической рекультивации хвостохранилищ после завершения эксплуатации.

Закрепление пылящих поверхностей с применением битумных эмульсий является наиболее простым технологическим решением, ранее применявшимся для пылеподавления хвостов АНОФ-2. Битумная эмульсия имеет достаточно широкий температурный интервал использования, не теряет своих потребительских свойств при замораживании, что особенно важно в условиях Заполярья. Существенным преимуществом битумной эмульсии является долговечность, которая составляет 4-6 месяцев. Это позволяет использовать ее для закрепления не только намывных пляжей, но и поверхностей откосов и оснований дамб. Однако при неблагоприятных метеорологических условиях (скорость ветра ≥ 10 м/с) под действием ветровой эрозии поверхностная пленка разрушается. Кроме того, для битума характерна низкая растворимость в холодной воде и, как следствие, недостаточная технологичность процесса обработки хвостов.

В этой связи на АО «Апатит» ведется поиск и испытание новых связующих реагентов. В 2015 году на территории хвостохранилища АНОФ-2 были проведены пробные испытания реагентов Floset S44, Dustbind и Alcotac DS1. Сотрудниками ИППЭС выполнен мониторинг в натуральных условиях и лабораторные исследования свойств покрытий образованных связующими реагентами (рис. 1).



Рис. 1. Экспериментальная площадка (1) и пыление незакрепленного участка хвостов (2) вблизи нее

Определение условной прочности покрытия и времени образования защитного слоя наибольшей прочности позволило расположить исследуемые реагенты в следующий ряд:

Alcotac DS1 > Dustbind > Floset S44 (рис. 2а).

По атмосферостойкости наилучшие результаты продемонстрировали реагенты Alcotac DS1 и Dustbind.

Степень водопроницаемости хвостов как искусственных грунтов при обработке поверхности связующими реагентами изменилась от водопроницаемых до слабопроницаемых. Наименьшее значение коэффициента фильтрации было получено при обработке хвостов реагентом Floset S44.

Исследования водного выщелачивания компонентов реагентов на полимерных пленках при различных значениях pH среды (кислой, нейтральной и щелочной) показали, что по устойчивости реагенты располагаются в следующий ряд:

Floset S44 \approx Dustbind > Alcotac DS1 (рис. 2б).

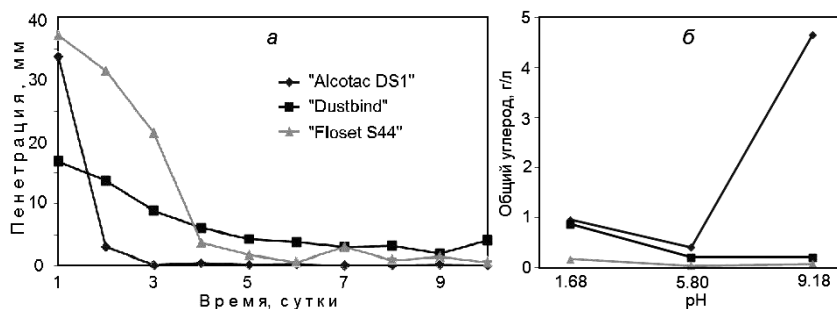


Рис. 2. Изменение условной прочности покрытия (а) и концентрации общего углерода в растворе после выщелачивания пленок реагентов (б)

Изучение влияния связующих реагентов Floset S44, Dustbind и Alcotac DS1 при максимально возможных их концентрациях в оборотной воде на ее свойства и флотацию апатита показало, что:

- реагенты Floset S44 и Dustbind не оказывают негативного влияния как на показатели получения апатитового концентрата, так и на кинетику осветления оборотной воды;
- реагент Alcotac DS1 снижает скорость осаждения взвешенных веществ в оборотной воде, а при флотации приводит к некоторому повышению пенообразования и снижению селективности процесса; при уменьшении концентрации в 2 раза относительно максимальной возможной его отрицательного воздействия не наблюдается.

В целом можно отметить, что все исследованные связующие реагенты показали близкие характеристики.

Согласно суммарной экспертной оценке, наиболее предпочтительным связующим реагентом следует признать реагент Dustbind фирмы NALCO. Основные преимущества, повлиявшие на итоговую оценку это: низкая стоимость обработки, хорошие атмосферостойкость, водонепроницаемость покрытия и его устойчивость к выщелачиванию в водных растворах. Реагент Dustbind в настоящее время успешно применяется АО «Апатит» для пылеподавления хвостохранилища АНОФ-2 вместо анионной битумной эмульсии, обеспечивая не только существенное сокращение трудозатрат, но и снижение времени обработки единицы площади хвостов.

Авторы признательны к.т.н. В.А. Ивановой и к.т.н. Г.В. Митрофановой за флотационные исследования и полезное обсуждение результатов.

Литература

1. Маслобоев В.А., Бакланов А.А., Амосов П.В. Результаты оценки интенсивности пыления хвостохранилищ // Вестник МГТУ. 2016. Т.19. №1. С.13-19.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ОТХОДЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Кочнева А.В.

*Иркутский национальный исследовательский
технический университет*

Использование вторичного сырья в промышленности – это наиболее рациональный способ снижения количества накопленных отходов и уменьшения антропогенной нагрузки на окружающую среду. Наибольший объем образования отходов приходится на добычу полезных иско-

паемых – порядка 90 % от общего количества по всем отраслям промышленности [1]. При этом масса отходов может достигать 4 т на 1 т добытого сырья [2], что влечет за собой отчуждение и загрязнение земель. Поэтому особенно актуальной становится разработка направлений утилизации отходов, образующихся при добыче полезных ископаемых.

В рамках данной работы разработана технология утилизации отходов, образующихся на предприятии ООО «Карьер «Перевал», расположенном в г. Слюдянка Иркутской области. Предприятие ведет добычу мрамора и является сырьевой базой для производства цемента в г. Ангарск. Ежегодно на предприятии образуется более 150 тыс. т отходов различной крупности. Наибольший интерес представляет мелкодисперсная фракция, так называемый микромрамор, имеющий крупность частиц менее 100 мкм. Такие частицы могут быть с успехом применены в качестве минерального наполнителя композиционного строительного материала.

Разработанный материал представляет собой композит на основе ПВХ марки СИ-64, комплекса модифицирующих и стабилизирующих добавок и микромрамора. Доля аддитивов составляет 21 % по массе. Композиция перерабатывается методом экструзии с возможностью получения таких погонажных изделий как террасная доска, брусок-лага, сайдинг и др.

С целью максимального использования техногенного сырья изучалась возможность получения высоконаполненного минерально-полимерного композита (МПК) с содержанием микромрамора 40 %, 50 % и 60 %. Для отработки технологических режимов экструзии композиции исследован показатель текучести расплава (ПТР) – основная численная характеристика вязкости расплава, определяющей параметры переработки материала. Образцы исследовались по стандартной методике ГОСТ 11645-73 при температуре 210 °С. Выбор температуры связан с отсутствием текучести при более низких значениях и, как следствие, невозможностью фиксирования конкретных значений ПТР. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – ПТР композиций с различным содержанием микромрамора

Содержание микромрамора в составе композиции, %	Температура, °С	ПТР, г/10 мин
0	210	117
40		66,1
50		38,261
60		12,42

Данные таблицы 1 показывают, что увеличение доли наполнителя в составе смеси обратно пропорционально ее ПТР. Отсюда следует необходимость повышать рабочую температуру экструдера при переработке более наполненных композиций. С другой стороны оптимальным значением ПТР для экструзии считается 0,3-1,2 г/10 мин [3], следовательно, температура переработки должна быть ниже 210 °С, чтобы ПТР композиции соответствовал оптимальному. Экспериментальная обработка подтвердила эту гипотезу: оптимальные рабочие температуры зон экструдера находятся в промежутке от 169 °С до 185 °С, при этом, чем более наполнен материал, тем выше температура его переработки. Однако на имеющемся оборудовании не удалось получить из композиции с содержанием микрорамора 60 % изделия удовлетворительного качества, присутствовало коробление профиля, крупные поры и неоднородность поверхности. В связи с этим дальнейшее изучение свойств проводилось для составов с наполнением 40 % и 50%. Свойства новых материалов в сравнении с аналогами из древесно-полимерных композитов (ДПК) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение свойств новых МПК с аналогами

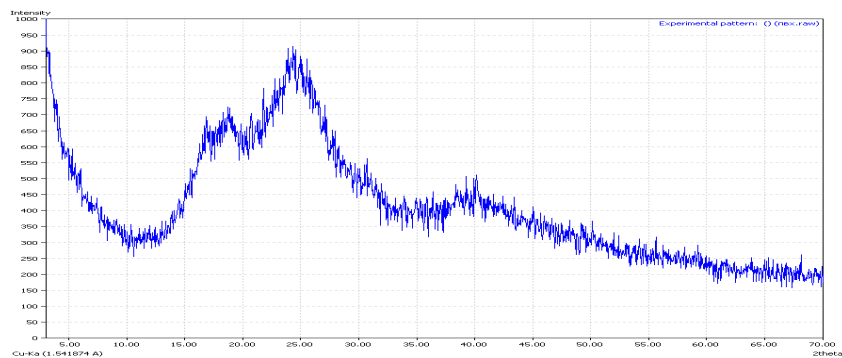
Материал	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Водопоглощение за 24 ч, %
МПК-40	45,51	18,14	48,21	0,06
МПК-50	46,31	19,61	34,78	0,09
ДПК «Bioplast-WPC»	23,1	-	18,2	0,02
ДПК «InoWood»	26,2	-	22,5	0,7
ДПК «Технодерев»	-	Не менее 12	Не менее 24	Менее 3
ДПК «Вечное Дерево»	-	-	22,9	1
ДПК «MultiDeck»	-	-	35	4

Таблица 2 показывает, что с увеличением концентрации микрорамора растет и предел прочности материала на сжатие и растяжение, однако существенно снижается при изгибающей деформации. Следовательно, оптимальной можно считать степень наполнения 40 %, при которой полученный материал существенно превосходит по своим прочностным характеристикам аналоги из ДПК. То же самое можно сказать

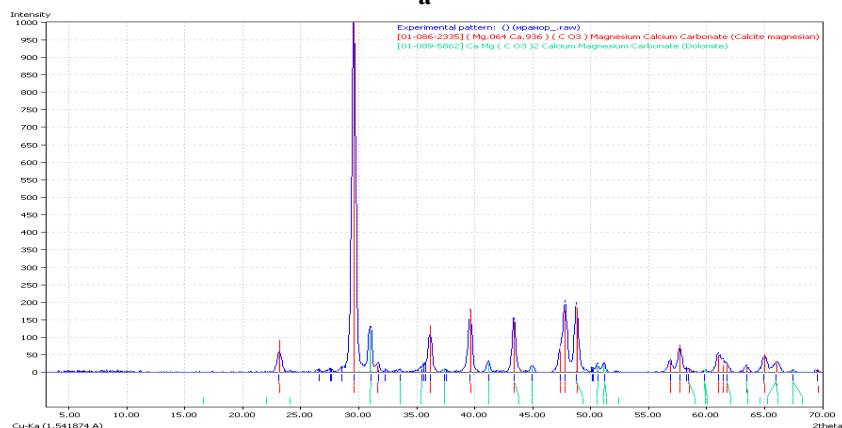
о водопоглощении: МПК-50 проявляет большую гигроскопичность по сравнению с МПК-40. При этом показатели водопоглощения соразмерны со значениями аналогов или превосходят их. Исключение составляет лишь ДПК марки «Biorplast-WPC», который, впрочем, уступает в прочности.

Таким образом, полученные материалы демонстрируют отличные потребительские свойства, позволяя при этом уменьшить антропогенную нагрузку на окружающую среду за счет использования вторичного сырья из отходов.

Для изучения характера взаимодействия компонентов исходной смеси образцы материалов и сырья подверглись рентгенофазовому анализу (рис. 1-2).

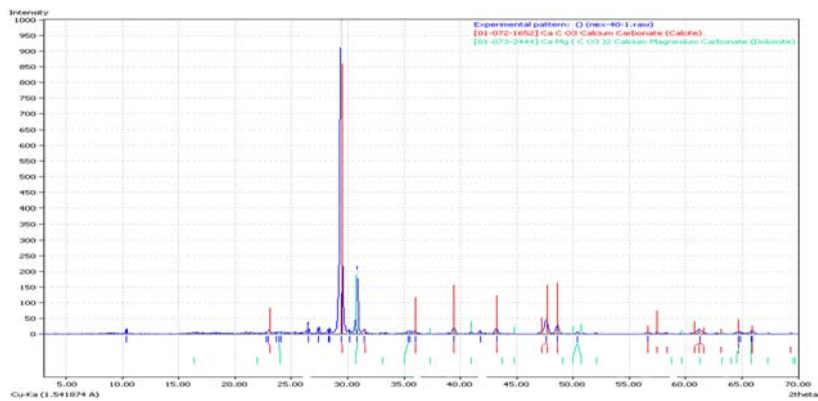


а

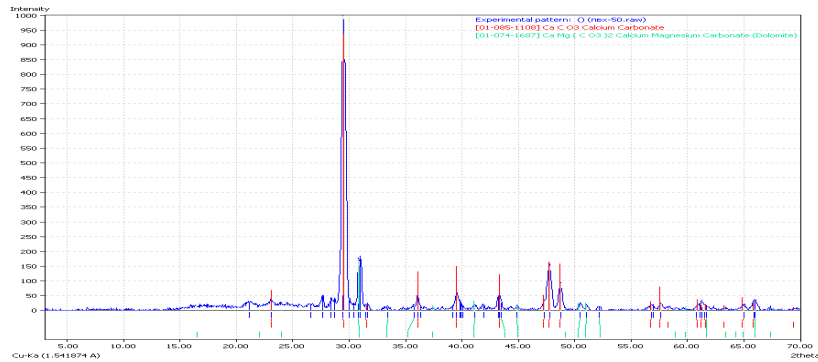


б

**Рис. 1. Рентгенограммы образцов исходного сырья:
а – ПВХ, б – микрокрямор**



а



б

**Рисунок 2. Рентгенограммы новых композитов:
а – МПК-40, б – МПК-50**

На приведенных рентгенограммах четко видна идентичность пиков, соответствующих кальциту CaCO_3 , который является основным компонентом мрамора (~87 %). В том числе на рисунке 2 присутствует некоторый подъем линии в районе значения $2\theta=25.00$, который соответствует максимальному пику на рисунке 1а. Это значит, что компоненты смеси не вступают в химические реакции в процессе приготовления и переработки. С другой стороны, высокие показатели прочности МПК могут объясняться значительным физическим взаимодействием частиц наполнителя и матрицы, в том числе адгезией, которая проявляется за счет неровности частиц мрамора и его хорошей смачиваемости поливинилхлоридом.

Разработанная технология переработки отходов добычи мрамора на ООО «Карьер «Перевал» позволяет производить качественные и конку-

рентоспособные строительные материалы на основе ПВХ-матрицы. Оптимальной степенью наполнения композиции является 40 % микроморра по массе, поскольку при таком наполнении материал проявляет наилучшие эксплуатационные характеристики.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГЗ, проект № 11.8090.2017/БЧ

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». – М.: Минприроды России; НИИ-Природа. – 2016. – 639 с.

2. Голубин А.К., Никонорова С.П., Сахнова Г.В., и др. Сборник удельных показателей образования отходов производства и потребления – М.: – 1999. – 65 с.

3. Г.А. Швецов, Д.У. Алимов, М.Д. Барышников. Технология переработки пластических масс – М.: Химия – 1988 – 512 с.

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕКТА «КЛИВАЖ» НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ ШАХТЫ «ЮНЫЙ КОММУНАР»

Шевченко Е.Н., Ягмур А.Б., Дроздова Н.А., Краскова О.И.

*Республиканский академический научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт горной геологии,
геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ)
Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики*

Угледобывающая промышленность, как и весь горно-промышленный комплекс Украины, является мощным техногенным фактором влияния на окружающую среду и вызывает ее негативное изменение, приводя чаще всего к разного рода катастрофическим явлениям. Подземная разработка полезных ископаемых неизбежно ведет к изменению напряженно-деформированного состояния массива горных пород, усиленной циркуляции приповерхностных и подземных вод за счет увеличения степени раскрытия трещин, активизации инженерно-геологических и геомеханических явлений и процессов.

С середины 90-х годов угольная отрасль Украины проходит этап реструктуризации. Ряд нерентабельных шахт поставлен на «мокрую консервацию», что подразумевает естественное восстановление уровня подземных вод путем отключения шахтных водоотливных установок [1].

Особенностью ликвидации шахты, как и любой другой шахты Центрального района Донбасса является необходимость решения по обеспечению гидробезопасности шахт, смежных с ликвидируемой, что обусловлено наличием прямых связующих ходов и ненормативных целиков между шахтами региона, и, соответственно, невозможностью безусловного затопления шахты.

При ликвидации шахты «Юный Коммунар» ПО «Орджоникидзеуголь», расположенной в городе Енакиево Центрального района Донбасса, возникла необходимость изучения обстановки и степени радиационной опасности при затоплении горных выработок шахты, влияния объекта «Кливаж» на окружающую среду в случае ее затопления.

Особенностью этой шахты и источником радиационной опасности является наличие радиоактивности, возникшей в результате ядерного взрыва мощностью 250-300 т, проведенным 16 сентября 1979 года на глубине 903 м от земной поверхности (между горизонтами 826 м и 936 м) на восточном крыле шахтного поля в толще песчаника, который получил шифр «Кливаж».

Шахта «Юный Коммунар» (далее по тексту шахта «Юнком») расположена в г. Юнокоммунарске, административно входящем в состав г. Енакиево Донецкой области.

Шахта «Юнком» сдана в эксплуатацию в 1912 году и восстановлена после затопления в 1948 году. Шахта входит в группу шахт Центрального района Донбасса, которые расположены на южном крыле Главной антиклинали. Недра шахты принадлежали производственному объединению «Орджоникидзеуголь». На момент закрытия шахты «Юнком» в пределах ее горного отвода оставались запасы каменного угля в количестве 32,7 млн.т.

На основании соответствующей экономической оценки ликвидации конкретной шахты была признана целесообразность ее полной ликвидации с передачей всего водопритока на смежную с ней шахту «Красный Октябрь» с реконструкцией водоотливного комплекса последней.

Однако, ввиду того, что на восточном крыле шахтного поля 16 сентября 1979 года на глубине 903 м был произведен ядерный взрыв под условным названием «Эксперимент «Кливаж» (мощность взрыва ориентировочно сравнивается со взрывом 250-300 т тринитротолуола), затопление горных выработок и объекта «Кливаж» было невозможно до окончательного решения по его безопасности при затоплении.

С целью снижения вероятности внезапных выбросов метана в 1979 году на шахте «Юный Коммунар» ПО «Орджоникидзеуголь» был произведен ядерный взрыв. Камера для заряда располагалась в толще мощных

песчаников между рабочими пластами l_2 «Кирпичевка» и l_3 «Мазурка» в тупике уклона, пройденного с горизонта 826 м до отметки 903 м.

Эксперимент был направлен на изучение возможности использования технологических взрывов для предотвращения внезапных выбросов метана.

После ядерного взрыва постоянно велись наблюдения за радиационной обстановкой окружающей среды. Специализированными организациями с 1979 года периодически проводилась радиометрическая съемка и отбирались образцы шлама и воды для радиохимического анализа как в горных выработках в области взрыва, так и на поверхности шахты и на прилегающей к шахте территории.

Известно, что в условиях ядерного взрыва песчаник испаряется и плавится, образуя при этом застывшую стекловидную (шлакоподобную) массу, в которой сосредоточено около 95% радиоактивных продуктов взрыва. Исходя из мощности заряда, можно предположить, что в полости взрыва находится около 100 т такой массы. Чтобы уточнить обстановку в зоне взрыва, в декабре 1990 года – феврале 1991 года из полевого штрека пласта l_4 «Девятка» на горизонте 826 м были пробурены две скважины: № 1 вертикально вниз в направлении центра камеры, которая на глубине 70 м попала в полость ядерного взрыва, и № 2, устье которой находилось в 10 м от скважины №1, также вертикально вниз на глубину 78 м, что на 3 м ниже уровня заряда.

Установлено, что полость частично завалена, заполнена породой и водой. Вертикальное расстояние от точки входа скважины в полость до центра взрыва – около 8 м, а горизонтальный радиус полости – 5 м. С полостью граничит зона смятия, в которой песчаник раздроблен до фракции песка и щебня. Радиус этой зоны от центра взрыва около 8 м. Далее к периферии на 10–15 м от центра взрыва прослеживается разбитая множеством трещин зона дробления. В ее трещинах могут встречаться прожилки расплавленной массы. Предполагается, что трещины распространены на 25–30 м от центра взрыва. Его собственная полость (500–600 м³) и образованные трещины заполнены водой объемом около 1000 м³, в которой происходит медленное растворение радиоактивного стекловидного сплава. Эта вода фильтруется через породный массив ниже полости взрыва в выработке горизонта 936 м.

Анализ многократных проб показывает, что концентрация в шахтной воде радионуклидов значительно ниже допустимой для питьевой. В случае прорыва воды из полости взрыва возможен вынос твердых частиц, которые могут ухудшить экологическую обстановку. Поэтому горный массив в радиусе 30 м от центра взрыва должен быть зоной, приравненной к охраняемому водному объекту. Это условие выполня-

ется, так как добычные работы на горизонте 936 м на крыле шахтного поля, где размещен объект «Кливаж», не велись.

Проведенные длительные наблюдения за радиационной обстановкой подтвердили отсутствие опасности радиоактивного заражения окружающей среды.

С 2001 по 2004 годы Службой радиационной безопасности (СРБ), Отделом радиационной гигиены Донецкой областной эпидемиологической станции, ПГП «Артемовская гидрогеологическая партия», ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Национальным горным университетом, ГОАО «Днепрогипрошахт» проводились исследования по оценке влияния объекта «Кливаж» на окружающую среду, а также замеры уровня радиоактивности по гамма-излучению на поверхности шахты и в горных выработках на горизонтах 826 м и 936 м. Кроме того, проводился отбор проб ила, воды и грунта в районе коллектора-отстойника шахтных вод. Результаты исследований подтверждены справкой СРБ и протоколами Донецкой областной СЭС. Фактическое состояние объекта «Кливаж» и результаты исследований приведены в информации Енакиевской ДЛШ. Полученные в результате выполненных исследований данные дают основание считать, что влияние объекта «Кливаж» на окружающую среду при ликвидации шахты не будет иметь негативных радиационных последствий. Ликвидацию шахты следует осуществить путем поэтапного (погоризонтного) затопления сети горных выработок шахты «Юный Коммунар» [2].

В 2006 г. УкрНИМИ НАН Украины выполнил проект затопления горных выработок ликвидируемой шахты «Юный Коммунар». В результате выполнения работы установлено следующее:

Гидрогеологические условия отработки угольных пластов на поле шахты относительно простые: общий приток воды колеблется от 318 м³/ч до 551 м³/ч. Средний многолетний приток составил 467 м³/ч. В 2006 г. приток воды составил 356 м³/ч.

По состоянию на 01.10.2006 г. уровень затопления горных выработок находился на абсолютной отметке минус 722,0 м (на 2017 г. – минус 737,0 м).

Гидравлическая связь между выработками шахты «Юнком» и смежными с ней шахтами «Красный Октябрь», № 4 «Красный Октябрь» и «Полтавская» может осуществляться по многочисленным сбойкам. Сбойки с шахтой № 4 «Красный Октябрь» и шахтой «Полтавская» в зону затопления не попадают.

Проектом затопления шахты «Юнком» предусматривается отключение всего водоотливного комплекса и поднятие уровня затопления до

горизонта 476 м, т.к. сбойка горизонта 596 м шахты «Юный Коммунар» и горизонта 560 м. шахты «Красный Октябрь», недостоверны.

При поднятии уровня затопления до горизонта 476 м, весь шахтный приток (максимальный 550 м³/ч, средний 467 м³/ч) будет поступать по сбойкам на горизонт 440 м шахты «Красный Октябрь».

Затопление горных выработок должно сопровождаться систематическим контролем динамики затопления и изменения водопритоков по стволам № 2 и № 3 шахты «Юнком», а так же по шахте «Красный Октябрь». Отбор проб на химанализ рекомендуется проводить два раза в год. Радиологические обследования следует проводить один раз в квартал.

Реконструкция и усиление водоотливных комплексов шахты «Красный Октябрь» рассчитано на поступление дополнительного притока, который будет поступать из затопленных выработок шахты «Юнком».

Время затопления горных выработок шахты «Юнком» от абсолютной отметки минус 722,0 м до горизонта 596 м при среднем водопритоке 467 м³/ч составит ~ 14 месяцев [3].

Таким образом, затопление шахты «Юный Коммунар» не достигнет поверхности, влияние подземных вод на почву и припочвенный слой не будет.

При затоплении горных выработок шахты «Юный Коммунар» в зону затопления попадает объект «Кливаж», расположенный на глубине 903 м.

В результате проведенных исследований полученные данные дают основание считать, что влияние объекта «Кливаж» на окружающую среду негативных последствий оказывать не будет.

Полнота выполненных исследований и их результаты являются достаточными для принятия окончательного решения при затоплении объекта «Кливаж».

Литература

1. Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод. Разработка схем исследований для проведения научных работ в Центральном районе Донбасса и Донецко-Макеевском регионе [Текст]: отчет о НИР (промежуточ.)/ УкрНИМИ; рук. В.А. Дрибан. – 02341203000; ГР 0112U005665. – Донецк, 2013. – 90 с.

2. Оценка влияния объекта «Кливаж» на окружающую среду при затоплении шахты «Юный Коммунар» ПО «Орджоникидзеуголь» [Текст]: отчет о НИР/ ГОАО «Днепрогипрошахт»; рук. И.А. Садовенко. – ГР 0103U002029. – Днепропетровск, 2004. – 66 с.

3. Проект затопления горных выработок шахты «Юный Коммунар» [Текст]/ УкрНИМИ; – 137с/06. – Донецк, 2006 – 138 с.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОЧИХ ГИПОТЕЗ
ФОРМИРОВАНИЯ И ПРОЯВЛЕНИЯ
ВЫБРОСООПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ
ДОНБАССА**

**Радченко А.Г.¹, Савченко А.В.¹, Радченко А.А.²,
Шалованов О.Л.¹**

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

*2. Донбасская национальная академия архитектуры
и строительства, г. Макеевка*

Исследования изменения выбросоопасности углей Донбасса в ряду их метаморфизма и с глубиной представляют значительный научный и практический интерес. Отработка угольных пластов в Донбассе характеризуется следующими современными условиями: рост глубины ведения горных работ, высокие газоносность пластов и их тектоническая нарушенность, рост интенсивности выбросов угля и газа. Общеизвестной гипотезой проявления выбросоопасности угольных пластов в настоящее время является энергетическая теория В.В. Ходота, но с позиций этой теории нельзя объяснить факт повышенной выбросоопасности углей средней стадии метаморфизма. В работе [1] были высказаны следующие предположения: а) характер проявления внезапных выбросов угля и газа в ряду метаморфизма имеет форму параболы с максимумом при значениях весового выхода летучих веществ $V^{daf} = 19\%$; б) с глубиной для углей различных стадий метаморфизма произойдет прекращение внезапных выбросов угля и газа. Выше указанные предположения не подтвердились практикой ведения горных работ в Донбассе за последние 26 лет. Поэтому, *целью настоящей работы является* теоретическое обоснование новых предложенных рабочих гипотез формирования и проявления выбросоопасности угольных пластов Донбасса.

При разработке новых гипотез были использованы основные положения: теории волновой геодинамики литосферы Земли (Т. Ю. Тверитинова), теории пространственных переменных (Ж. Матерон), теории синергетики (Г. Хакен), теории фракталов в геомеханике (А.Ф. Булат, В.И. Дырда), фундаментальные положения работ академиков Садовского М.А. и Милановского Е.Е., основные положения углехимии, коксохимии и др.

Рабочая гипотеза № 1 (РГ–1). Т. Ю. Тверитинова указывает на волнообразный характер тектонических структур литосферы, циклический характер и миграцию геологических процессов во времени и пространст-

ве. Тектонические напряжения, в первую очередь тангенциальные, обусловлены ротационным режимом планеты и вызывают перестройку фигуры Земли, перераспределение вещества в ее глубинных сферах, смену планов деформаций. Радиальные напряжения в значительной степени обусловлены силой тяжести и гравитационной дифференциацией вещества (Т. Ю. Тверитинова, 2010г.). Обзор литературы показал, что в горном массиве идет постоянное перераспределение энергии, под действием процессов метаморфизма, флюидизации и тектонических процессов формируются участки угольных пластов с пониженными и повышенными напряжениями, газопроницаемостью и газоносностью.

Исходя из анализа выше указанных теорий, вместо господствующей ранее физико-механической модели угольного пласта нами была предложена структурно-химическая модель углей и на основании этой модели были разработаны новые гипотезы. *Основные положения гипотезы РГ-1* сводятся к следующему. Участки с более высокими степенями неоднородности, изменчивости свойств и состояний угольного вещества и вмещающих пород характеризуются более высокой степенью потенциальной выбросоопасности угольных пластов. Проверка основных положений гипотезы РГ-1 была выполнена на региональном и текущем уровнях. Анализ литературы по различным геолого-промышленным районам Донбасса показал, что в зонах горно-геологических нарушений, аномально высоких пластовых давлений и в зонах повышенного горного давления отмечено наибольшее число газодинамических явлений: внезапных выбросов угля и газа, внезапных выдавливаний угля, суфляров и т. д. На текущем уровне выбросоопасные участки характеризуются: а) повышенными значениями коэффициентов вариации по мощности пласта – K_m , по крепости угля – K_f (А.Е. Ольховиченко, 1982г.), по значениям начальной скорости газовыделения из шпуров – q_n [2], по значениям влаги в углях – W_a , по значениям V^{daf} [2]. По данным Русьяновой Н.Д., более восстановленные угли имеют менее развитую систему полисопряжения, менее сильное межмолекулярное взаимодействие и более низкую концентрацию парамагнитных центров. Поэтому, более восстановленные угли Донбасса характеризуются более высокой степенью выбросоопасности.

Выбросоопасные участки угольных пластов характеризуются повышенными значениями градиентов температуры, измеренной в стенках шпуров (Рыженко А.И., Еремин И.Я., 1988г.). В своих работах Вольпова Л.С. для Печорского угольного бассейна указывает на следующие закономерности. Особенности геохимии газа выбросоопасных объектов по сравнению с невыбросоопасными: а) более высокое содержание тяжелых углеводородов – (ТУ) в составе газов угольных пластов; б) более высокая, в 1,5-2 раза изменчивость (по коэффициенту вариации

ции) содержания ТУ в составе газов по площади и в угольных пластах. Особенности геохимии угля выбросоопасных объектов: а) более высокие средние и максимальные содержания и наличие аномальных содержаний (90% проб) ряда микроэлементов. На невыбросоопасной площади содержание большинства микроэлементов соответствует средним значениям общей выборки (Л.С. Вольпова). В Донбассе мало восстановленные угли по сравнению с восстановленными углями характеризуются более высокой степенью однородности по микрокомпонентному составу (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , K_2O , MnO , ScO_b), более низкими значениями толщины пластического слоя, более высокой степенью упорядоченности их структуры и меньшей степенью изменчивости – они имеют более низкие значения коэффициентов вариации по выше указанным микрокомпонентам [3] и характеризуются более низкой степенью выбросоопасности.

Рабочая гипотеза № 2 (РГ – 2). Теоретической основой для разработки гипотезы РГ– 2 явились фундаментальные положения работы [4]. С учетом изменений, происходящих в молекулярной и надмолекулярной организации углей в ряду метаморфизма, нами за основу была принята структурно-химическая модель угольного вещества и на ее основе была разработана гипотеза РГ–2. *Основные положения гипотезы РГ–2 сводятся к следующему.* Изменения в молекулярной и надмолекулярной организации углей в ряду метаморфизма вызывают изменения структурно-химических свойств углей, которые обуславливают изменение физико-механических свойств углей. Изменения физико-механических свойств углей в ряду метаморфизма имеют сложный волнообразный характер и связаны непосредственно со структурно-химическими изменениями угольного вещества, со скачками углефикации [4]. Кривая изменения числа внезапных выбросов угля и газа в ряду метаморфизма – N_b должна быть тесно взаимосвязана со скачками углефикации и носить более сложный, нелинейный характер по сравнению с параболическим распределением. С целью проверки основных положений гипотезы РГ–2 был выполнен по данным работы [5] статистический анализ внезапных выбросов угля и газа за период 1946 – 2006 г. г. Всего было проанализировано 2442 выброса, установлен сложный, волнообразный, мультимодальный характер проявления внезапных выбросов угля и газа в ряду метаморфизма: а) на пластах пологого падения наблюдается три максимума в проявлении выбросоопасности: 1) число выбросов составило $N_b = 161$, а весовой выход летучих веществ был $V^{daf} > 29,0\%$; 2) $N_b = 655$, $V^{daf} = 18,0 \div 13,1\%$; 3) $N_b = 214$, $V^{daf} \leq 9,0\%$. На пластах наклонного, крутого падений наблюдается два максимума в проявлении выбросоопасности: 1) $N_b = 164$, $V^{daf} > 29,0\%$; 2) $N_b = 335$, $V^{daf} = 18,0 \div 13,1\%$ [6]. Угли средней стадии метаморфизма имеют пониженный удельный вес,

повышенные значения хрупкости и дробимости, отличаются по своим структурно-химическим свойствам, обладают высокой спекаемостью и коксуюмостью, характеризуются высокой степенью потенциальной выбросоопасности. На основании выполненного статистического анализа внезапных выбросов, с учетом обеспечения необходимого уровня безопасного ведения горных работ были определены для Донбасса следующие граничные условия проявления выбросоопасности для углей низкой стадии метаморфизма: $V^{daf} \leq 44, \%$; природная газоносность углей – $X_{пр.} \geq 8,0 \text{ м}^3/\text{т.с.б.м.}$; и толщина пластического слоя – $y \geq 6,0 \text{ мм}$ [7].

Рабочая гипотеза № 3 (РГ – 3). Теоретическим обоснованием для разработки гипотезы РГ – 3 явились ключевые положения работы [4]. Структурно-химическая модель угольного вещества явилась базовой основой при разработке гипотезы РГ–3, учитывались основные закономерности изменения структурно-химических, физико-механических и газокинетических свойств углей с ростом глубины. *Основные положения гипотезы РГ–3 сводятся к следующему.* Для углей низкой и средней стадий метаморфизма с ростом глубины увеличивается степень углефикации угольного вещества: уменьшаются значения весового выхода летучих веществ – V^{daf} , растут природная газоносность и сорбционная способность углей. С увеличением глубины горных работ наблюдается рост потенциальной энергии угля – $W_{уг.}$, кинетической энергии горных пород – $W_{пор.}$, энергии газа в угле – $W_{газ.}$. Рост энергии вмещающих пород приводит к проявлению различных газодинамических явлений: горные удары, внезапные выбросы угля и газа, динамические посадки кровли, внезапные разломы кровли и почвы с попутным газовыделением и т. д. Структурная перестройка органической массы в углях средней стадии метаморфизма ведет к появлению новых свойств, таких как пластичность, которая обуславливает: спекаемость, коксуюмость, высокую дробимость углей и их повышенную выбросоопасность. А в антрацитах и суперантрацитах при определенных горно-геологических условиях наблюдается снижение природной газоносности $X_{пр.}$ с ростом глубины. Поэтому, для углей низкой и средней стадий метаморфизма на глубинах $H = 800–1600 \text{ м}$ будет сохраняться высокая степень потенциальной выбросоопасности и прекращения выбросов не произойдет. Для углей высокой стадии метаморфизма возможно снижение потенциальной выбросоопасности (в связи со снижением значений $X_{пр.}$), вплоть до полного прекращения внезапных выбросов угля и газа например, шахта «Коммунист» в Донбассе). Для проверки основных положений гипотезы РГ–3 был выполнен по данным [5] статистический анализ внезапных выбросов угля и газа за период 1946–2006 г. г. Так например, на пластах пологого падения за указанный период на глубинах до 600 м (N_1) и свыше 600 м (N_2) произошло следующее количество внезапных выбро-

сов: 1) при $V^{daf} < 9,0\%$; $N_1 = 205$ и $N_2 = 9$; 2) при $V^{daf} = 13,1 - 18,0\%$; $N_1 = 234$ и $N_2 = 421$; 3) при $V^{daf} > 29,0\%$; $N_1 = 6$ и $N_2 = 155$; [8]. Таким образом, изложенные в работе [1] предположения о параболическом характере проявления выбросов в ряду метаморфизма и о прекращении выбросов с глубиной оказались ошибочными. На глубинах свыше 600 м потенциальная выбросоопасность углей низкой и средней стадий метаморфизма остается высокой.

ВЫВОДЫ

1. Изложенные в работе [1] предположения о параболическом характере проявления выбросов в ряду метаморфизма и о прекращении выбросов с глубиной оказались ошибочными. Установлен сложный, волнообразный, мультимодальный характер проявления внезапных выбросов угля и газа в ряду метаморфизма на пластах пологого, наклонного и крутого падений.

2. На глубинах свыше 600 м потенциальная выбросоопасность углей низкой и средней стадий метаморфизма остается высокой.

3. Выше рассмотренные аналитические, статистические и экспериментальные исследования позволили выполнить теоретическое обоснование новых разработанных рабочих гипотез формирования и проявления выбросоопасности угольных пластов Донбасса.

Литература

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

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

3. Киселев Н.Н. Исследование степени изменчивости свойств угольных пластов и вмещающих пород [Текст] / Киселев Н.Н., Радченко А.Г. Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Випуск 6 // Під заг. ред. А.В. Анциферова. – Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2010, С. 266 – 275.

4. Саранчук В. И. Надмолекулярная организация, структура и свойства угля [Текст] / Саранчук В. И., Айруни А. Т., Ковалев К. Е.; отв. ред. Сапунов В. А.; АН УССР. Ин-т физ.-орг. химии и углехимии. — Киев: Наук. думка, 1988. — 192 с.

5. Выбросы угля, породы в шахтах Донбасса в 1906-2007 г. г., справочник [Текст] / Волошин Н. Е., Вайнштейн Л.А., Брюханов А.М. [и др.] – Донецк: СПД Дмитренко, 2008. – 920 с.

6. Антипов И.В. Проявление выбросоопасности углей в ряду метаморфизма / Антипов И.В., Радченко А.Г., Радченко А.А. [Текст] // Безопасность труда в промышленности.-М., 2015, № 5.– С. 59 – 65.

7. Патент на корисну модель № 75981 Спосіб визначення категорії викидонебезпечності вугільних пластів. Номер заявки: U 2012 04854, МПК (2012.01), Е 21F 5/00. Канін В.О., Кисельов М.М., Коптіков В.П., Радченко О.Г., Радченко О.О. Дата публікації: 25.12.2012, Бюл. №24.

8. Анциферов А.В. Современные рабочие гипотезы формирования и проявления выбросоопасности угольных пластов Донбасса / Анциферов А.В., Туманов В.В., Радченко А.Г., Киселев Н.Н., Ашихмин В.Д., Радченко А.А. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Випуск 13 (частина 1) / Підзаг. ред. А.В. Анциферова. –Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2013.– С.136 – 152.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА В РЯДУ МЕТАМОРФИЗМА И С ГЛУБИНОЙ

Радченко А.Г.¹, Савченко А.В.¹, Радченко А.А.², Ялпуга Е.А.¹

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

*2. Донбасская национальная академия архитектуры
и строительства, г. Макеевка*

При ведении горных работ на шахтах Донбасса происходят внезапные выбросы угля и газа с различной интенсивностью выброшенного угля и выделившегося газа. Выбросы угля и газа с высокой интенсивностью часто приводят к нарушению крепи проводимых выработок, выводу из строя машин и механизмов, являются причиной аварий и повышенного травматизма. В углях различного марочного состава и с ростом глубины ведения горных работ интенсивность внезапных выбросов угля и газа изменяется в широком диапазоне. Для многих шахтных служб весьма важной является информация: какая ожидается максимальная интенсивность внезапных выбросов угля и газа на данном шахтопласте, для углей конкретных марок и на конкретной глубине. К сожалению, данному вопросу не всегда уделяется достаточное внимание. Таким образом, исследования изменения интенсивности внезапных выбросов угля и газа в ряду их метаморфизма и с глубиной в условиях Донбасса представляют значительный научный и практический интерес. Поэтому, *целью настоящей работы* является исследование изменения числа и интенсивности внезапных выбросов угля и газа в ряду метаморфизма и с глубиной на пластах пологого падения.

Отработка угольных пластов в Донбассе характеризуется следующими современными условиями: рост глубины ведения горных работ, высокие газоносность пластов и их тектоническая нарушенность. Существуют различные точки зрения на изменение числа внезапных выбро-

сов и их интенсивности с глубиной. Вереда В.С. и Юрченко Б.А. указывали на уменьшение количества выбросов, начиная с глубины $H = 750$ м. Недвига С.Н. утверждал, что нет оснований предполагать о снижении выбросоопасности угольных пластов на глубинах 1000 – 1200 м. Фейт Г.Н. и др. в работе [1] указывают на рост потенциальной энергии горного массива с ростом глубины. С увеличением глубины ведения горных работ растут потенциальная и кинетическая энергия вмещающих пород, напряженно-деформированное состояние и давление газов в угольных пластах [2]. В работе [3] указывалось на параболический характер проявления выбросоопасности углей в ряду метаморфизма и утверждалось, что внезапные выбросы с глубиной для углей разных стадий метаморфизма прекратятся. Эти утверждения не подтвердились практикой ведения горных работ в Донбассе за последние 26 лет. В работе [4] приведены доказательства того, что распределение количества внезапных выбросов угля и газа в ряду метаморфизма имеет сложный, волнообразный, мультимодальный характер, который обусловлен сложными, нелинейными преобразованиями структурно-химических свойств углей в ряду метаморфизма и который связан со скачками углефикации. Отсутствие единого мнения по данному вопросу говорит о необходимости разработки более совершенных, объективных и перспективных рабочих гипотез.

Нами был выполнен анализ основных положений работ академиков Садовского М.А. и Милановского Е.Е, а также работ Тверитиновой Т.Ю, Фейта Г.Н., Шамаева В.В., Никонова А.А., Канлыбаевой Ж.М., Волошина Н.Е., Булата А.Ф., Дырды В.И. и др. Обзор литературы показал, что источниками напряжений в недрах Земли являются: воздействие мантии на литосферу Земли, ротационные силы Земли, влияние Луны и Солнца и т. д. Эти факторы способствуют формированию неоднородностей в недрах Земли. Фундаментальными свойствами горного массива являются: неоднородность, изменчивость свойств и состояний, автомодельность, самоорганизация, фрактальность, перераспределение энергии. Шамаев В.В. указывает, что основными, постоянно действующими во времени и пространстве факторами формирования тектонических нарушений являются: волновой механизм энергопередачи; гравитационное поле Земли; глобальное, региональные и локальные поля деформаций растяжения. В результате многоциклического, разнонаправленного воздействия тектонических процессов и в связи с неоднородным, слоистым строением недр в горном массиве формируются участки различных уровней и масштабов по неоднородности: участки сжатия и растяжения, складчатости, нарушенности, напряженности, газопроницаемости и газоносности. Фейт Г.Н. в своих работах указывает: а) на зональность проявления

выбросоопасности, которая связана с неоднородными свойствами горного массива; б) изменение потенциальной выбросоопасности по глубине в угольных пластах может иметь волнообразный характер. Неотектонические процессы также являются причиной неравномерного перераспределения энергии в горном массиве (Волошин Н.Е.). Подтверждением неотектонических процессов являются землетрясения в г. Кривом Роге – 2013г. и вблизи г. Волновахи – 07.08.2016 г. На неравномерное распределение напряжений и газоносности в горном массиве наряду с региональными факторами действуют: а) локальные факторы – зоны АВПД, ПГД, ГГН; б) текущие факторы – периодические посадки основной кровли, волна Вебера впереди движущегося забоя, технология выемки угля и т.д. Так например, по данным Бокия Б.В., анализ результатов сейсмопрогноза выбросоопасности очистных забоев в условиях шахты им. А.Ф. Засядько (Донбасс) показал, что распределение акустической эмиссии горного массива во времени имеет сложный, пилообразный, пульсирующий характер. Учитывая выше сказанное, нами были сформулирована следующая рабочая гипотеза: характер изменения интенсивности внезапных выбросов угля и газа – $Q_{уг}$ в ряду метаморфизма и с глубиной должен иметь сложный, нелинейный, волнообразный характер. Для проверки основных положений предложенной гипотезы был выполнен анализ литературы, который показал, что существует иерархический, автомодельный характер распределения полной энергии по землетрясениям различной силы – закон повторяемости землетрясений Гутенберга – Рихтера. Позже в работе [5] была установлена закономерная взаимосвязь между частотой проявления динамических явлений в шахтах и их силой. Согласно [5], степень риска газодинамических явлений в связи с широким диапазоном изменения их силы необходимо оценивать не только частотой (вероятностью) их проявления в пространстве и во времени, но также и силой динамического явления, измеряемой в тоннах выброшенного угля и в m^3 выделившегося газа, от которых напрямую зависит величина наносимого ущерба.

С целью проверки основных положений рабочей гипотезы был выполнен по данным [6] двухэтапный статистический анализ внезапных выбросов. На первом этапе был выполнен анализ выбросов угля и газа, произошедших на пластах пологого падения за период 1946–2008 г. г. Анализ был выполнен в интервале следующих значений интенсивностей выбросов угля $Q_{уг} = 1 \div 300$ т для того, чтобы исключить влияние крупных выбросов на точность определения средних арифметических значений, см. табл.1.

Таблица 1 – Распределение средней интенсивности выброшенного угля $Q_{\text{уг}}^{\text{сп}}$. (выборка в интервале $Q_{\text{уг}} = 1—300$ т) на пластах пологого падения по группам метаморфизма за период 1946 – 2008 г. г. (Донбасс)

Интервалы глубин, м	Группы метаморфизма						
	1-я $V^{\text{daf}} > 35\%$	2-я $V^{\text{daf}} = 35,0 - 29,1\%$	3-я $V^{\text{daf}} = 29,0 - 25,1\%$	4-я $V^{\text{daf}} = 25,0 - 18,1\%$	5-я $V^{\text{daf}} = 18,0 - 13,1\%$	6-я $V^{\text{daf}} = 13,0 - 9,1\%$	7-я $V^{\text{daf}} < 9,0\%$
1 ÷ 150							7
151 ÷ 300					7		39
301 ÷ 450				30	25	91	51
451 ÷ 600		67	41	23	68	121	80
601 ÷ 750		37	34	44	103	60	40
751 ÷ 900		20	57	28	48		
901 ÷ 1050	52	33	75	94	106		

Из табл. 1 следует, что наблюдается волнообразное изменение средних значений $Q_{\text{уг}}^{\text{сп}}$ как в ряду метаморфизма, так и с ростом глубины. Установленная закономерность хорошо согласуется с данными работы [2], в которой указывается на неравномерность распределения природной газоносности и давлений газа в угольных пластах как в ряду метаморфизма, так и с глубиной. На втором этапе был выполнен статистический анализ числа – N_b и интенсивности внезапных выбросов угля и газа – $Q_{\text{уг}}$ на пластах пологого падения по группам метаморфизма за период 1946 – 2008 г. г. с учетом всего диапазона принимаемых значений интенсивностей выброшенного угля $Q_{\text{уг}}$. Результаты анализа приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Изменение количества внезапных выбросов угля и газа N_b и их максимальной интенсивности $Q_{\text{уг}}^{\text{макс}}$ за период 1946 – 2008 г. г. (Донбасс)

Интервалы глубин, м	Группы метаморфизма						
	1-я $V^{\text{daf}} > 35\%$	2-я $V^{\text{daf}} = 35,0 - 29,1\%$	3-я $V^{\text{daf}} = 29,0 - 25,1\%$	4-я $V^{\text{daf}} = 25,0 - 18,1\%$	5-я $V^{\text{daf}} = 18,0 - 13,1\%$	6-я $V^{\text{daf}} = 13,0 - 9,1\%$	7-я $V^{\text{daf}} < 9,0\%$
1	2	3	4	5	6	7	8
1 ÷ 150							3/9*
151 ÷ 300					1/7	1/14	68/300
301 ÷ 450		1/12		27/153	45/200	13/280	94/200

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
451 ÷ 600		5/450	10/200	89/400	190/780	5/380	32/650
601 ÷ 750		23/200	16/12	31/303	264/1100	2/80	8/340
751 ÷ 900		54/480	4/180	12/500	92/1000		
901 ÷ 1050	4/2400	44/2000	2/135	7/200	32/450		
051 ÷ 1200		14/500					
> 1200		13/550					
Сумма:	4	154	32	166	624	21	205

* Примечание: 3/9 – в числителе дано число выбросов – N_b , а в знаменателе максимальные значения интенсивностей выброшенного угля – $Q_{уг}^{макс}$.

Из табл. 2 следует, что количество внезапных выбросов в ряду метаморфизма изменяется волнообразно, с тремя максимумами в группах: 2; 5; 7. Пятая группа метаморфизма характеризуется самой высокой потенциальной выбросоопасностью, $N_b = 624$. С глубины свыше 600 м наблюдается существенный рост интенсивностей выброшенного угля для групп метаморфизма: 2; 3; 4 и 5, а в 1-й группе метаморфизма резкий рост интенсивностей выброшенного угля начинается на глубинах свыше 900 м.

С ростом глубины наблюдается следующая общая для 1-й, 2-й, 3-й, 4-й и 5-й групп метаморфизма тенденция: снижается частота выбросов, а интенсивности выброшенного угля и газа растут. Таким образом, наблюдается рост потенциальной энергии горного массива с глубиной. Снижение частоты внезапных выбросов угля и газа обусловлено рядом факторов: а) многочисленное закрытие шахт за последние 26 лет; б) совершенствование способов и средств прогноза и предотвращения выбросов угля и газа на шахтах (например, сейчас успешно применяются опережающие разгрузочные скважины).

ВЫВОДЫ

Выполненный статистический анализ выбросов показал следующее. С ростом глубины разработки угольных пластов в Донбассе происходит волнообразное изменение значений интенсивности внезапных выбросов угля и газа – $Q_{уг}$ с общей тенденцией увеличения и одновременно наблюдается волнообразное изменение частоты выбросов с общей тенденцией снижения.

Литература

1. Фейт Г.Н. Геомеханика изменения выбросоопасности при разработке на больших глубинах / Фейт Г.Н., Малинникова О.Н. Смирнова Г.Г. [Текст] // Внезапные выбросы угля и газа, рудничная аэрология. -Ин-т горн. дела им. А.А. Скочинского.-М.,1989. – С.14 – 21.

2. Минеев С.П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: [монография]. [Текст] / Минеев С.П., Рубинский А.А., Витушко О.В., Радченко А.Г.– Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010.–603с.
3. Забигайло В.Е. Влияние катагенеза горных пород и метаморфизма углей на их выбросоопасность [Текст] / Забигайло В.Е., Николин В.И. – Киев: Наук. думка, 1990. – 168 с.
4. Антипов И.В. Проявление выбросоопасности углей в ряду метаморфизма / Антипов И.В., Радченко А.Г., Радченко А.А. [Текст] // Безопасность труда в промышленности.– М., 2015, № 5, с. 59 – 65.
5. Захаров В.Н. Мониторинг сейсмоакустических процессов и прогноз гео- и газодинамических явлений при подземной разработке месторождений [Текст] / Захаров В.Н. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Випуск 5 (частина I) / Під заг. ред. А.В. Анциферова. –Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2009.– С.249 – 257.
6. Выбросы угля, породы в шахтах Донбасса в 1906 –2007 г.г., справочник [Текст] / Волошин Н. Е., Вайнштейн Л.А., Брюханов А.М. [и др.] – Донецк: СПД Дмитренко , 2008. – 920 с.

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАНА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ И ПРОМЫШЛЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ РАБОТ

Кулабухова К.Г.

*«Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС» (НИТУ «МИСиС»)*

Проблема безопасного и эффективного ведения горных работ на газоносных угольных шахтах сформировалась много десятилетий назад, но особенно обострилась в последнее время в связи с углублением шахт и интенсификацией производственных процессов, при этом резко возросла природная газоносность разрабатываемых угольных пластов и вмещающих пород и соответственно газообильность шахт. Для поддержания необходимой, определяемой Правилами безопасности, концентрации метана в шахтной атмосфере применяется вентиляция выработок и различные способы дегазации.

Основная задача дегазации – снижение газовыделения в горные выработки, то есть существует связь между скважинами и атмосферой горных выработок. В связи с этим только 50 млн. м³/год. шахтного газа извлекается с концентрацией метана свыше 95% (менее 5% общего объема извлечения), в остальном газе концентрация метана колеблется в пределах 5 – 75%.

Шахтный газ с концентрацией метана 5–15% является взрывоопасным. С учетом коэффициента безопасности допускается использование шахтного метана с концентрацией свыше 30% и ниже 2,5%. Основная доля извлекаемого средствами дегазации метана имеет концентрацию 30–75%.

Процесс дегазации стал неотъемлемой частью технологического процесса добычи угля при разработке газоносных угольных месторождений, влияние которого на все этапы технологического процесса оказывает существенное положительное воздействие и на экономику организации забоев и шахты в целом. Откачиваемый из угольных шахт метан представляет собой высококалорийное, экологически чистое топливо, а также ценное химическое сырье. По своим тепловым характеристикам 1000 м³ метана эквивалентны 1,3–1,5 тонн угля. В настоящее время в странах СНГ полезно используется только около 10–12% от общих объемов добываемого метана, остальное же количество шахтного метана, не являющегося кондиционным, выбрасывается в атмосферу. Таким образом, для обеспечения возможности использования добываемого газа потребителем и одновременно для уменьшения вредных выбросов в атмосферу, важной задачей является обеспечение на выходе из дегазационной системы метановоздушной смеси с концентрацией метана, не ниже требуемой потребителем. Высокая теплотворная способность позволяет использовать шахтный газ для отопления жилых помещений, для производства электроэнергии и как топливо для автотранспорта.

Как показывает мировой опыт, экономически эффективно использовать угольный и шахтный метан в качестве топлива на теплоэлектростанциях совместно с углем.

В Кузбассе, например, имеется десять крупных тепловых электростанций и 2000 котельных, где может быть применен метод комбинированного сжигания угля и метана. Безусловно, положительным следствием станет и уменьшение при этом загрязнения атмосферы.

Чтобы успешно реализовать проекты по угольному метану, необходимо не просто собирать его и сжигать, но и использовать для получения тепловой и электрической энергии. По расчетам специалистов, наиболее перспективным направлением является использование когенерационных установок на основе газопоршневых двигателей.

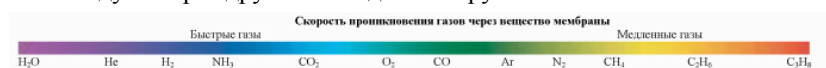
Это новая технология для комбинированного производства электроэнергии и тепла на основе автономных двигателей и системы рекуперации тепла, в которой энергия охлаждающей воды и отработанных газов используется для нужд теплоснабжения потребителей. Если шахты сумеют обеспечить себя теплом и электричеством, то себестоимость добычи угля сократится до 30% (в зависимости от доли затрат на электричество в себестоимости).

Поскольку содержание метана в шахтном газе может составлять до 98%, этот газ может быть использован как топливо для автотранспортных средств.

Однако угольный метан, как и другие газовые топлива, имеет низкую объемную концентрацию энергии. При нормальных условиях теплота сгорания 1 л угольного метана составляет 33-36 кДж, в то время как теплота сгорания 1 л бензина составляет 31400 кДж, т. е. в 1000 раз больше, чем у угольного метана.

Поэтому угольный метан может применяться в двигателях автомобилей как моторное топливо либо в сжатом (сжатом), либо в криогенном (сжиженном) состоянии.

Существует ряд способов обеспечения требуемой концентрации метана в извлекаемой из угольных шахт дегазационными установками и системами вентиляции метановоздушной смеси для ее дальнейшего использования: обогащение обедненной смеси природным газом; использование молекулярных мембран для повышения концентрации метана в смеси. Последний способ можно использовать в условиях Кузбасса для подготовки к использованию исходящей струи вентиляционного воздуха (концентрация метана составляет 0,3–0,9%) для дутья в топках котлов в котельных угольного предприятия и близлежащих бытовых. Разделение смеси с помощью мембранной технологии происходит за счет разницы парциальных давлений на внешней и внутренней поверхностях полволоконной мембраны. Газы, «быстро» проникающие через полимерную мембрану, поступают внутрь волокон и выходят из мембранного картриджа через один из выходных патрубков. Газы, «медленно» проникающие через мембрану, выходят из мембранного модуля через другой выходной патрубок.



Дегазации угольных пластов и выработанных пространств, а так же успешная реализация проектов по добыче угольного метана сможет повысить безопасность труда шахтеров угольных регионов России, позволит снизить газоносность массивов, уменьшить метанообильность выработок, исключить загазирование атмосферы. создать новые рабочие места и обеспечить производственные и бытовые потребности угольных регионов в газе.

Литература

1. Малашкина В. А. Дегазационные установки: Учеб. пособие. 2-е изд.– М.: Изд-во МГТУ, 2012 – 190 с.
2. Инструкция по дегазации угольных шахт. Серия 05. Выпуск 22. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2012. – 250с.

З. Малашкина В.А., Зубков К.Б. Особенности измерения параметров шахтной метановоздушной смеси в процессе ее транспортирования от скважин к вакуум-насосной станции. – Горный информационно-аналитический бюллетень (тематический), «Метан», М., изд-во МГГУ, 2008.

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДЕГАЗАЦИОННЫХ УСТАНОВОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ С УЧАСТКАМИ ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Малашкина В.А.

*Национальный исследовательский технологический
университет «МИСиС», Горный институт*

Увеличение глубины разработки угольных месторождений влечет за собой рост выделения метана в горные выработки и выработанные пространства. Этот фактор остается одной из основных проблем безопасности подземной добычи угля. Повышение эффективности работы систем дегазации имеет важное значение, как для безопасности труда шахтеров, так и для снижения простоев выемочного оборудования из-за загазованности выработок. Расчет конструктивных параметров и технических характеристик дегазационных установок без учета особенностей транспортирования влажной метановоздушной смеси по подземному вакуумному дегазационному трубопроводу приводит к несоответствию ожидаемого и формируемого при последующей эксплуатации гидродинамического режима движения каптируемой метановоздушной смеси, поэтому в настоящее время эффективность работы дегазационных установок угольных шахт значительно меньше проектной. В этих условиях необходимо определять рациональные режимы работы дегазационных установок.

В качестве критериев для определения эффективности транспортирования метановоздушной смеси от скважин на поверхность предлагается использовать числа Рейнольдса, Эйлера и Нуссельта [1, 3].

Для выполнения расчетов технических характеристик и конструктивных параметров дегазационных установок при их проектировании, а также для диагностики работы существующих дегазационных установок необходимо прежде всего в каждом рассматриваемом случае определить интервалы изменения критериев подобия, обеспечивающие рациональные режимы работы дегазационной установки в пределах границ применимости [1].

Расчет конструктивных параметров и технических характеристик дегазационных установок необходимо производить с учетом гидроди-

намических особенностей движения влажной метановоздушной смеси по вакуумному подземному дегазационному трубопроводу, который может быть собран только из стальных звеньев труб, из стеклопластиковых звеньев труб, а также иметь комбинированный набор материалов трубопровода. Выбор рациональных режимов движения влажной метановоздушной смеси по подземному вакуумному дегазационному трубопроводу становится возможным за счет обязательной корректировки расчетных величин диаметров участковых и магистральных трубопроводов по предварительно определенным интервалам критериев гидродинамического подобия, что обеспечивает повышение эффективности работы любой дегазационной установки.

Используя результаты измерений технических характеристик любой действующей дегазационной установки при определении интервалов изменения величин чисел Рейнольдса, Эйлера и Нуссельта необходимо учесть, что D – эквивалентная шероховатость поверхности стенок труб: 0,01 мм для новых стальных труб и до 2,0 мм для труб после длительной эксплуатации, со следами коррозии и для стеклопластиковых труб – 0.0001 – 0.0015 мм [3].

При рациональном режиме движения влажной метановоздушной смеси величина объемного расхода смеси на любом участке газопровода должна находиться в допустимых пределах:

$$Q_{ci_{тр}} \leq Q_{ci} < Q'_{ci},$$

где $Q_{ci_{тр}}$ – объемный расход метановоздушной смеси на любом участке газопровода при каптировании из скважин требуемой величины объемного расхода метана и при минимальных подсосах воздуха в газопровод, м³/мин; Q_{ci} – фактический объемный расход каптируемой влажной метановоздушной смеси на любом участке газопровода, м³/мин; Q'_{ci} – объемный расход метановоздушной смеси на любом участке газопровода с учетом его пропускной способности, м³/мин.

$$Q'_{ci} = 1,25Q_{ci_{тр}}.$$

Для расчета рациональных параметров влажной метановоздушной смеси, транспортируемой по вакуумному трубопроводу от скважин до вакуум-насосной станции, определяются следующие величины:

– объемный расход смеси из i -й скважины выемочного участка

$$Q_{ci_y} = \frac{100Q_{mc.i}}{a_{mi}},$$

где Q_{ci_y} – расход метановоздушной смеси из i -й скважины, м³/мин; a_{mi} – концентрация метана в каптируемой смеси у скважин, доли ед.;

– объемный расход метана в i -м участковом трубопроводе

$$Q_{M,i} = \sum_{i=1}^n Q_{Mc,i},$$

где $Q_{M,i}$ – объемный расход метана в участковом трубопроводе, м³/мин; n – количество скважин, из которых каптируемый метан поступает в данный участок трубопровода;

– допустимые пределы изменения величины объемного расхода метановоздушной смеси в i -м участковом трубопроводе

$$Q'_{c,i} = 1,25 \left(\sum_{i=1}^n Q_{c,i} + \Delta Q_{l_{уч,i}} \right),$$

где $Q'_{c,i}$ – объемный расход метановоздушной смеси на i -м участковом газопроводе с учетом его пропускной способности, м³/мин; n – количество скважин, из которых каптируемый метан поступает в участковый трубопровод;

– концентрация метана в смеси в i -м участковом трубопроводе и в i -й ветви магистрального трубопровода

$$a_{M,i} = \frac{100 Q_{M,i}}{Q'_{c,i}}; \quad a_{Mi} = \frac{100 \sum_{i=1}^n Q_{M,i}}{Q_{см,i,тр}}$$

где $a_{M,i}$ – концентрация метана в i -м участковом трубопроводе, %;

a_{Mi} – концентрация метана в смеси в i -й ветви магистрального трубопровода, n – количество участковых трубопроводов, из которых смесь поступает в i -ую ветвь магистрального трубопровода;

– допустимые пределы изменения величины расхода метановоздушной смеси в i -й ветви магистрального трубопровода

$$Q_{см,i,тр} = \sum_{i=1}^n Q_{c,i,тр} + \Delta Q_{l_{M,i}}; \quad Q'_{см,i} = 1,25 \left(\sum_{i=1}^n Q'_{c,i} + \Delta Q_{l_{M,i}} \right),$$

где $Q_{см,i,тр}$ – объемный расход метановоздушной смеси в i -й ветви магистрального трубопровода при каптировании из скважин требуемой величины дебита метана, м³/мин; $Q'_{см,i}$ – объемный расход метановоздушной смеси в i -й ветви магистрального трубопровода с учетом пропускной способности трубопроводной сети, м³/мин;

– начальное давление у скважин в участковом газопроводе, входящем в наиболее протяженную и загруженную ветвь дегазационной системы

$$p_{c1} = p_6 \left(1 + \frac{g z}{R_b T} \right) - B_y,$$

где p_{c1} – начальное давление в участковом газопроводе у скважин, Па; p_6 – барометрическое давление на поверхности шахты, Па; g – ускорение свободного падения, м/с²; z – глубина от поверхности до выработки, из которой бурятся скважины, м; R_b – газовая постоянная воздуха, Дж/кг·К; T – температура шахтной атмосферы в районе расположения скважин, К; B_y – разрежение в устье удаленной скважины в наиболее протяженной и загруженной ветви газопровода, Па.

Абсолютное давление метановоздушной смеси на выходе любого участка трубопровода

$$p_2 = p_1 - \Delta p'_i,$$

где p_1, p_2 – давление смеси на соответственно на входе и выходе любого участка газопровода, Па; $\Delta p'_i$ – удельные потери давления на i -м участке трубопровода, начиная от скважин.

Допустимые пределы величины массового расхода влажной метановоздушной смеси на любом участке трубопровода

$$Q_{mi} = Q_{ci_{\text{тр}}} \rho_2; \quad Q'_{mi} = Q'_{ci} \rho_2,$$

где Q_{mi} – массовый расход метановоздушной смеси на любом участке газопровода при каптировании из скважин требуемой величины дебита метана, кг/мин; Q'_{mi} – массовый расход метановоздушной смеси на любом участке газопровода с учетом пропускной способности трубопроводной сети, кг/мин; ρ_2 – плотность влажной метановоздушной смеси в конце участка, кг/м³; $Q_{ci_{\text{тр}}}$ – объемный расход метановоздушной смеси на любом участке газопровода при каптировании из скважин требуемой величины объемного расхода метана, м³/мин.

Величина эквивалентного диаметра любого участка газопровода с учетом пропускной способности, коэффициент сопротивления этого участка и критерии Рейнольдса, Эйлера и Нуссельта, характеризующие гидро и термодинамический режим движения влажной метановоздушной смеси по участку газопровода, определяются системой уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d_i} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25} \\ d_i = 5 \sqrt[5]{\frac{1,62 Q_{m2}^2 R_1 T_1 l_i \lambda}{p_1^2 - p_2^2}} \\ \text{Re} = 3,75 \cdot 10^4 a_{m2}^{-0,03} Q_{c2}' p_2^{-0,09} T_2^{-0,4} d_i^{-1,0} \\ \text{Eu} = 2553 a_{m2}^{0,32} Q_{c2}'^{-1,96} (p_1 - p_2)^{0,99} d_i^{3,91} \\ \text{Nu} = 0,008 \left(\frac{vl}{\nu} \right)^{1,16} \left(\frac{\mu C_p}{\lambda} \right)^{1,84} \end{array} \right. ,$$

где λ – коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси); Δ – эквивалентная шероховатость поверхности стенок труб, м; d_i – эквивалентный диаметр любого участка газопровода с учетом его пропускной способности, м; R_1 – газовая постоянная влажной метановоздушной смеси, Дж/кг·К; ν – скорость метановоздушной смеси, м/с; l – характерный геометрический размер системы, м; ν – коэффициент кинематической вязкости метановоздушной смеси, м²/с; λ – коэффициент теплопроводности среды, Вт/м·К; μ – коэффициент динамической вязкости метановоздушной смеси, Па·с; C_p – удельная теплоемкость влажной метановоздушной смеси, Дж/кг·К; Re – критерий Рейнольдса; Eu – критерий Эйлера; Nu – критерий Нуссельта; Q_{c2}' – объемный расход метановоздушной смеси на выходе любого участка газопровода с учетом пропускной способности трубопроводной сети, м³/мин; индекс 2 – параметры метановоздушной смеси на выходе любого участка газопровода.

Интервалы для критериев подобия, обеспечивающие рациональные режимы работы дегазационных установок в пределах границ применимости, определяются в зависимости от рассчитанных параметров метановоздушной смеси и конструктивных параметров дегазационной установки. Для удобства использования полученные величины критериев подобия предлагается группировать в зависимости от величин гидравлического диаметра участков газопровода: $d \leq 0,200$ м; $0,200 < d \leq 0,300$ м и $0,300 < d \leq 0,400$ м.

Таким образом, при проектировании новых и диагностике работы существующих дегазационных установок необходимо обязательно учитывать особенности гидро и термодинамического движения влажной метановоздушной смеси посредством сравнения величин критериев гидро и термодинамического подобия движущихся потоков каптируе-

мой смеси по подземному газопроводу с их рациональными интервалами, в пределах которых гарантированно обеспечивается эффективная работа дегазационных установок в имеющихся условиях эксплуатации.

Литература

1. Малашкина В.А., Вострикова Н.А. Выбор режимов транспортирования метановоздушной смеси по подземному дегазационному трубопроводу //Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня. – М.: Изд-во МГГУ, 2003. – С. 13-18.
2. Инструкция по дегазации угольных шахт. Серия 05. Выпуск 22. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2012. – 250с.
3. Малашкина В.А. Исследование влияния гидро и термодинамических процессов в дегазационных газопроводах на качество метановоздушной смеси, извлекаемой из угольных шахт. – Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ), №5, 2014г., Москва, изд-во «Горная книга» – с. 221-229.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ОБРУШЕНИЙ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ РОССИИ ЗА 1991-2016 гг.

Воробьева О.В.

МГИ НИТУ «МИСиС»

Романютенко В.И.

МГИ НИТУ «МИСиС»

Угледобывающие предприятия России – самые опасные производственные объекты, которые насчитывают огромное количество несчастных случаев. Удивительно, что на дворе 21 век, а на производстве все так же часто сталкиваются с несчастными случаями, иногда дело доходит и до летального исхода. Огромная база знаний, накопленных за столетия, позволила проектировать предприятия с большим уровнем защиты. Внедрение передовых технологий по добыче угля и высокотехнологического шахтного оборудования, а также современных форм организации труда и повышения производственной дисциплины не позволяет на 100% предугадать аварии, и по-прежнему, не смотря на это, обвалы на угольных шахтах России по-прежнему остаются одними из основных видов аварий.

В последние годы значительно сократилось число обрушений горных выработок. Так за период с 1991 года по 2015 год в процессе эксплуатации и ведении горноспасательных работ в угольных шахтах Рос-

сии было зафиксировано 396 обрушений. В результате этих обрушений пострадало 528 человек, в том числе 330 человек получили смертельные травмы. На рис. 1 приведена диаграмма распределения обрушений по годам. Всплеск обрушений, как мы видим из графика, приходится на 1999 год. Тогда же, было замечено ухудшение дисциплины в соблюдении паспортов на выемочных участках, несоблюдение правил крепления горных выработок, а так же в конце 90 – х, шахты переходили на анкерное крепление. С 2000-х началось внедрение передовых технологий на горных предприятиях России, и в течении двух лет после этого происходило снижение количества обрушений.

Анализ обрушений, произошедших на шахтах России за период 1991÷2015 годы, выполненный на основании материалов расследований причин аварий и горноспасательных работ, показывает, что основные причины обрушений в угольных шахтах обусловлены организационно-техническими действиями или бездействиями людей, т. е. «человеческим фактором» в результате нарушений требований «Правила безопасности в угольных шахтах».

В результате анализа причин обрушений выявлено, что нарушение технологии ведения горных работ составляет 32%; нарушение паспорта крепления – 30%, а нарушение технологии выемки – 20 %.

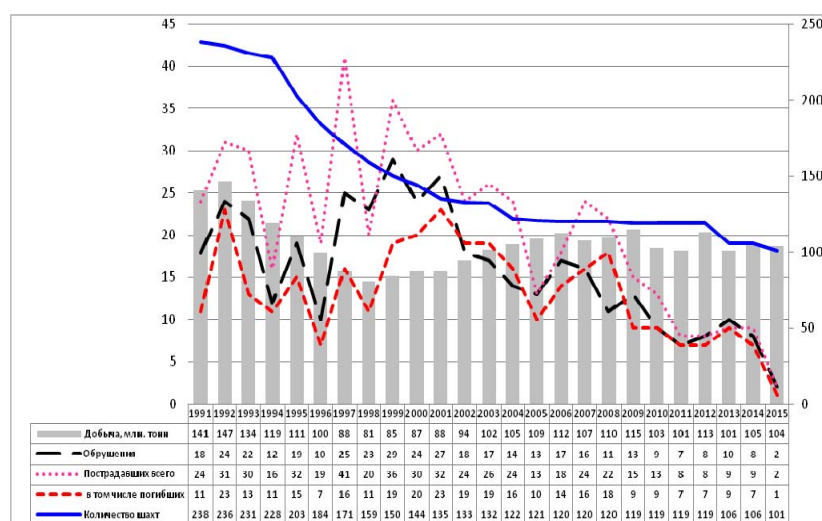


Рис. 1 Распределение обрушений на угольных предприятиях России по годам за период с 1991 года по 2015 год [1, 2]

Особенности ведения горных работ, работ по добыче (переработке) угля (горючих сланцев), непрерывное перемещение рабочих мест и постоянно изменяющиеся условия на этих рабочих местах, сложность горно-геологических условий залегания пластов угля, негативное воздействие работ по добыче (переработке) угля (горючих сланцев) на земную поверхность и окружающую среду обуславливают необходимость установить следующие принципы обеспечения безопасности работ [1]:

- приоритет безопасности человека и окружающей среды;
- создание безопасных и здоровых условий труда на каждом рабочем месте,
- обеспечение безопасного ведения технологических процессов в соответствии с нормами и правилами безопасного ведения работ по добыче (переработке) угля (горючих сланцев) .

Для обеспечения безопасных условий в забоях горных выработок и в выработках необходимо[3]:

1. Улучшать взаимоотношения и взаимодействие всего персонала угледобывающего предприятия. Поэтому персонал всех уровней управления предприятием должен иметь соответствующую квалификацию и мотивацию для обеспечения надежного планирования, организации, исполнения и контроля производства как в штатном режиме, так и в аварийных ситуациях. Кроме того он должен систематически заниматься повышением безопасности производства путем тщательного выявления и устранения условий, способствующих возникновению аварийных ситуаций и травм.

2. До начала ведения горных работ на участках шахтного поля со сложными горно-геологическими условиями должны быть выполнены меры, обеспечивающие безопасное ведение горных работ, утвержденные главным инженером шахты.

3. Повысить эффективность производственного контроля, для этого необходимо внедрять автоматизированные системы контроля, диагностики, прогнозирования и мониторинга горно-геологического состояния среды и технологических процессов. За счет снижения доли «ручного режима» усиливается роль автоматизированных систем управления.

4. Проведение и крепление горных выработок осуществлять в соответствии с документацией по проведению и креплению горных выработок.

Литература

1. Костеренко В.Н., Воробьева О.В./Анализ причин обрушений с целью повышения эффективности системы управления безопасностью труда угледобывающих предприятий. Горный информационно-аналитический бюллетень. № 6– 2017, стр. 74-90.

2. Годовые отчеты о деятельности Ростехнадзора за 1990-2016 гг.

3. Каледина, Н.О., Воробьева О.В., Галкин А.В./ Производственный контроль на угледобывающем предприятии: роль ЧФ /Н.О. Каледина, О.В. Воробьева //Человеческий фактор в системе управления безопасностью труда угледобывающей отрасли: Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельные статьи (специальный выпуск). – 2014. – №12. – М.: Издательство «Горная книга» – С. 28-36

ПИРОЛИЗ – КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Архипов И. А.

*Национальный Исследовательский Технологический Университет
«МИСиС»*

Проблема образования отходов

Производственные отходы являются следствием несовершенных технологических процессов, в большей части неудовлетворительно организованного производства, а также несовершенного экономического механизма. К ним относят:

- отходы, образующиеся при механической и физико-химической переработке сырья и материалов;
- отходы, образующиеся при добыче и обогащении полезных ископаемых;
- сточные воды.

Объем образования отходов варьируется от 0,9 до 11 т/рабочего в год, в зависимости от отрасли производства. [1]

Существующие способы утилизации отходов:

- Размещение отходов в специализированных емкостях и на площадках;
- Рациональное использование сырья и ресурсов;
- Рациональная закупка материалов;
- Снижение отходов за счет рационального использования емкостей и контейнеров;
- Соблюдение мер предосторожности и проведение профилактических работ;
- Повторное использование отходов производства. [2]

Методы сокращения объема отходов:

- Песок, лом, отходы бумаги и древесную стружку можно повторно использовать в производстве;
- Путем жёсткого нормирования можно сократить бытовые отходы.

В качестве варианта повторного использования можно рассматривать возможность продажи отходов в другие производства, или же задействовать их на своем. [3]

Классическим методом решения проблем отходов является их утилизация. Обычно отходы продаются сторонним организациям. Например, сбор ТПО в Московской области осуществляет компания ООО «ИнтерГрин», которая обеспечивает их дальнейшую утилизацию в мусоросжигательном комплексе.

Анализ утилизации отходов

Выполняя обзор способов утилизации отходов следует обратить их влияние на окружающую среду и экономический эффект.

Способы утилизации отходов:

- 1) Переработка. Автопокрышки можно измельчить, достигнув при этом сохранения физических и химических свойств исходного материала. Однако это не принесет никаких выгод. Можно переработать древесину в пеллеты, это принесет немалую выгоду;
- 2) Сжигание. Классический вариант утилизации отходов с выделением тепла. Этот способ несет негативные эффекты для окружающей среды, так как в атмосферу выбрасываются опасные вещества, например, при сгорании шин, образуется углекислый газ. При сжигании утрачивается потенциал повторного использования отходов;
- 3) Восстановление. Возвращение отходу его работоспособного состояния, например, ремонт использованных топливных фильтров. Способность достигнуть работоспособного состояния имеется не всегда;
- 4) Захоронение. Легально или нелегально, но это самый популярный способ утилизации отходов. Образующиеся ТПО хранятся на свалках или специализированных полигонах. Такие свалки наиболее опасны для окружающей среды и местного ландшафта. [4]

В качестве альтернативного способа утилизации отходов подходит реакция пиролиза. При воздействии температуры, без доступа к кислороду, продукт разделяется на твердые, жидкие и газообразные вещества. Таким образом достигается экономический эффект, ведь образовавшиеся вещества имеют экономическую ценность.

Процесс пиролиза будет описан на конкретном примере, а именно, на пиролизных установках Fortan. [5]

Описание процесса работы на установках Fortan

Технологическая схема пиролизной установки Fortan-2 представлена на рисунке 1.

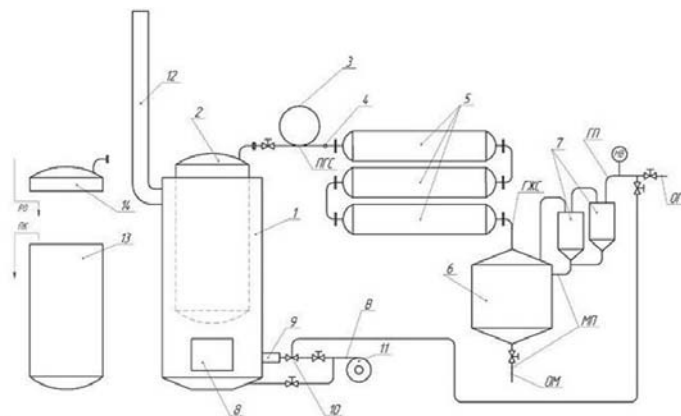


Рисунок 1 – Технологическая схема пиролизной установки Fortan-2
 1 – батарея ретонных печей; 2 – ретора из нержавеющей стали;
 3 – сиффон; 4 – магистраль парогаса пиролиза; 5 – конденсаторы-холодильники; 6 – сборник-сепаратор; 7 – газожидкостные сепараторы;
 8 – топка; 9 – горелка; 10 – инжектор; 11 – воздуходувка; 12 – дымовая труба; 13 – ретора на загрузке-выгрузке; 14 – крышка реторты;
 ПГС – парогазовая смесь; ГЖС – газожидкостная смесь; ГП – газ пиролиза; МП – масло пиролиза; В – воздух; ОГ – отбор газа;
 ОМ – отбор масла; РО – загрузка отходов; ПК – выгрузка полукокса

Сырье загружается в реторту. Реторта помещается в печь через открытый верх. Сырье нагревается через стенки реторты и подвергается пиролизу с образованием парогазовой смеси и полукокса. Парогазовая смесь выводится из реторты по трубопроводу. Жидкость накапливается в сборнике жидкого продукта, газ сжигается в печи. Реторта хранится отдельно от печи.

Ретортная печь — вертикальная шахта печи. В нижней части печи установлены колосники для сжигания твердого топлива и горелочное устройство для сжигания горючих газов. Воздушным наддувом поддерживается горение.

Конденсатор-холодильник предназначен для охлаждения продуктов пиролиза.

Сборник-сепаратор — цилиндрическая емкость, предназначенная для сбора жидких продуктов пиролиза.

Окончательная очистка газа осуществляется в газожидкостном сепараторе.

Горючий газ поступает в горелочное устройство печи.

Реторта может устанавливаться как в работающую печь, так и до начала работы.

Для розжига печи твердое топливо загружается на колосники.

Газ пиролиза поступает в горелочное устройство и воспламеняется. По мере увеличения потока газа наддув воздуха под колосники уменьшают.

Окончание процесса пиролиза определяется по уменьшению потока газа. После снижения температуры реторта отключается. Извлеченная горячая реторта остывает на воздухе.

Вывод

Пиролизная установка прошла сертификацию и выставлена на продажу. Она эффективный способ утилизации собственными силами и подойдет любому производству, где скапливаются ТПО. Предприятие, которое приобретёт пиролизную установку, сократит расходы на утилизацию ТПО. Будет снижено негативное влияние на окружающую среду, за счет оперативного устранения источника загрязнения, то есть удаления фазы складирования и транспортировки из жизненного цикла отхода.

В качестве объектов утилизации подходят следующие виды отходов:

- Автопокрышки;
- Отходы песка, в том числе загрязненный различными веществами;
- Использованная бумага;
- Опилки и стружка древесные;
- Неработоспособные запчасти;
- Коммунальные отходы;
- и другие виды ТБО.

В качестве продуктов переработки методом пиролиза выделяются технический углерод и пиролизное масло.

Цена технического углерода будет зависеть от его химических и физических свойств. Он представляет из себя гранулы, имеющие сферическую форму.

Технический углерод может использоваться при производстве пластмасс и резины. Он может использоваться как черный краситель или пигмент. Технический углерод применяют в производстве некоторых сплавов и при изготовлении специальной бумаги, используют на электрической промышленности.

Пиролизное масло – это многокомпонентная смесь. Состав пиролизного масла разделен на три части: бензин, дизель и мазут. Пиролизное масло можно использовать в качестве топливных добавок или задействовать при производстве дорожного покрытия.

Литература

1. Арустамов Э. А., Гильденскиольд С. Р. Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики, номер 1. Российский университет кооперации (Мытищи), 2017, 44-48 сс.;
2. Коновалов П. Н., Конюхов В. Ю., Копылова Е. Ю. Молодежный вестник ИРГТУ. Иркутский национальный исследовательский технический университет (Иркутск), 2015, 14 с.;
3. Под редакцией Сукиасян А. А. Сборник статей Международной научно-практической конференции «ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ». ООО «Аэтерна» (Уфа), 2016, 210 с.;
4. «Юг России: экология, развитие». Том 11. Номер 2 (39). Редакция журнала "Юг России: экология, развитие" (Москва), 2016, 205-212 сс.
5. Сборник статей XV Международной научно-практической конференции. Под редакцией Ю. П. Перельгина. Автономная некоммерческая научно-образовательная организация «Приволжский Дом знаний» (Пенза), 2015, 8-13 сс.

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ КАДМИЯ НА ЭКОСИСТЕМУ ПРИ ОСВОЕНИИ КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Стефунько М.С.

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

Серьезным источником поступления кадмия в природные среды являются медно-колчеданные месторождения, промышленное освоение которых активизирует геохимическую миграцию химических элементов и способствует их накоплению в токсичных концентрациях. В колчеданных рудах содержание кадмия колеблется от 0,0031 до 0,218 %.

Важнейшими факторами, формирующими антропогенную среду медно-колчеданных месторождений, являются:

- сложная конфигурация рудных тел колчеданных месторождений [1];
- грандиозное по масштабам перемещение горной массы и формирование техногенных форм рельефа-карьеров и отвалов;
- длительные сроки освоения месторождений;
- дисгармоничность колчеданных руд с высоким содержанием сульфидов и тяжелых металлов по отношению к вмещающим геосистемам;
- месторождения сопровождаются ореолом гидротермально измененных пород серицит-хлоритового состава [2]. Наблюдается развитие геохимических полей концентрации токсичных тяжелых металлов.

Высокая степень преобразования межкомпонентных и внутрисистемных взаимодействий приводит к усложнению структуры антропогенной среды.

В почве кадмий поступает в составе отходов, образующихся, при добыче и переработке руд. Основное поступление связано с процессами выветривания химических элементов с поверхности отвалов. Просачиваясь сквозь дамбы и ложе сооружений, фильтрационные воды хвостохранилищ поступают в почву. Образующиеся при инфильтрации атмосферных осадков через тело отвалов воды с высоким содержанием тяжелых металлов представляют наибольшую экологическую опасность [3]. Ливневые стоки с промплощадок, отличающиеся высокой степенью загрязненности и самопроизвольным стеканием за пределы горного отвода.

Высокое содержание тяжелых металлов в почвах предопределяют её опасность для растений и скота, пасущегося в прибрежных зонах.

Наравне с природными геохимическими ореолами колчеданных месторождений, техногенное загрязнение почвы кадмием становится критическим.

Для определения влияния кадмия и цинка на растения проращивали семена клевер ползучий (лат. *Trifolium repens*) — растение из рода Клевер, семейства Бобовые, подсемейства Мотыльковые.— многолетнее травянистое растение. К почвам нетребователен, влаго- и светолюбив, морозостоек. Прекрасное кормовое пастбищное растение, распространенное повсеместно.

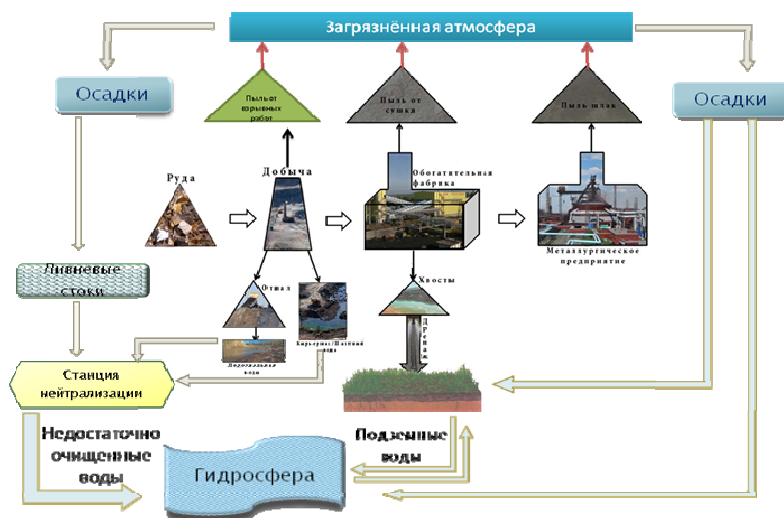


Рис. 1. Поступление кадмия в почву

Проращивали семена в соответствии с ГОСТ 12038-84 ,раскладывая их на увлажненной фильтровальной бумаге растворами с 50-,100-,150-,200- ,250- кратными превышениями ПДК по кадмию и цинку соответственно, в чашках Петри, по 100 семян на каждую чашку.

Таблица 1– Условия проращивания семян сельскохозяйственных культур по ГОСТ 12038-84

Культура	Ложе	Температура	Освещенность	Всхожесть	Дополнительное условие
Клевер ползучий <i>Trifolium repens</i>	фильтровальная бумага	20°C	Темнота	5-7 сут	Предварительное охлаждение;

Через 5 дней после закладки на проращивание подсчитывают число проросших семян, через следующие 5 дней подсчет повторяли, удаляя при этом каждый раз все проросшие семена вместе с их проростками. При последнем подсчете (через 15 дней проращивания) суммируют число проросших семян и определяют процент их прорастания. Для сравнения в одной из чашек Петри были посажены семена без добавления кадмия или цинка.

Использовали семена клевера ползучего белого(ГОСТ 52325-2005, всхожесть 94%). Чашки Петри, перед употреблением дезинфицированы 95%-ный этиловым спиртом по ГОСТ 5963; использовалась фильтровальная бумага по ГОСТ 12026; вода дистиллированная по ГОСТ 6709;

Таблица 2 – Всхожесть *Trifolium repens*

	фоновый	50 ПДК Cd	50 ПДК Zn	100 ПДК Cd	100 ПДК Zn	150 ПДК Cd	150 ПДК Zn
5день	47	14	-	2	-	-	-
10день	26	29	13	11	7	6	7
15 день	19	-	3	-	-	-	-
ИТОГ	92	43	16	11	7	6	7

Отмечены следующие особенности: средняя длина фоновых проростков бмм; средняя длина проростков с 50-кратным превышением ПДК кадмия около 8мм; более чем 50-кратное превышение ПДК цинка вызывает явное замедление в развитии по сравнению с фоновыми; 200-кратное и 250 –кратное превышение ПДК кадмия и цинка является критическим, при котором семена *Trifolium repens* не произрастают.

Для уменьшения поглощаемости растениями кадмия необходимо снизить техногенную нагрузку. Современный подход должен обеспечивать создание рациональной технологической схемы, включающую обособление и очистку подотвальных и ливневых стоков.

В виду небольших количеств в общей массе сточных вод, чувствительности кадмия к изменению рН, наиболее целесообразным является использование осадения и сорбентов. Сорбция – один из наиболее эффективных методов глубокой очистки сточных вод [4]. Существующие сорбенты условно можно разделить на природные (монтмориллониты, бентониты, цеолиты, глинистые породы, угли, опилки, кору, шелуху орехов и др.) и искусственные (шлаки, шламы, комплексные сорбенты) [5] .

Несмотря на имеющиеся многочисленные данные о сорбционных свойствах природных материалов актуальным является разработка комплексных сорбентов, сочетающих в себе:

- универсальные поглощающие свойства к различным поллютантам;
- высокие сорбционные и фильтрационные характеристики;
- без привнесения в очищенную воду опасных для природной среды примесей;
- экономически приемлемую стоимость;

Мероприятия по очистке подотвальных и ливневых стоков горных предприятий от кадмия ограничат попадание этого токсичного вещества и его соединений в почву, что существенно повлияет на экосистемы регионов, находящихся в непосредственной близости от предприятий, уменьшая антропогенную нагрузку на растения, животных и конечного реципиента – человека.

Литература

1. Емлин Э.Ф. «Техногенез колчеданных месторождений Урала». – Свердловск.: Изд-во Уральского университета, 1991. – 256 с
2. Зелинская Е.В., Воронина Е.Ю. «Теоретические аспекты использования гидроминерального сырья», Министерство образования и науки РФ, Иркутский гос. технический университет, Российская академия естествознания. Москва, 2009г
3. Шадрунова И.В., Орехова Н.Н. «Извлечение цветных металлов из гидроминеральных ресурсов: теория и практика», Монография.- Магнитогорск, 2009. – 180 с.
4. Орехова Н.Н. «Рациональное использование водных ресурсов», Магнитогорск: МГТУ, 2004.– 105 с.
5. «Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: Учебное пособие для хим.,хим-технол. и биол. Спецвузов/Д.С. Орлов,Л.К.Садовникова , И.Н. Лозановская – М: Высшая школа-2002.-334 с.

**ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕХОДА
ОТРАСЛЕЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА РОССИИ НА НАИЛУЧШИЕ
ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Зайцев С.П.¹, Петров И.В.², Сурат И.Л.³

¹ *Национальный исследовательский институт «МИСиС»*

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

³ *Московский экономический институт*

Принятие Федерального закона ФЗ-219 от 09.07.2014 «О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации» явилось прорывом в решении целого комплекса экологических проблем развития отраслей энергетики России. Конечная цель - переход с 2020 года на принципы наилучших доступных технологий (НДТ) в отраслях добычи и переработки нефти и газа, электроэнергетике и угольной промышленности. Этот принцип направлен на стимулирование предприятий к модернизации с учетом экологических требований к технологиям. Переход на принцип НДТ не только позволит улучшить экологическую ситуацию, но и значительно обновить основные фонды, создать энергоэффективные и ресурсосберегающие производственные мощности, решить задачи повышения конкурентоспособности промышленности, увеличить количество высокопроизводительных рабочих мест в отраслях ТЭК.

Для стимулирования предприятий к экологической модернизации и переходу на НДТ вводится система экономических стимулов, включающих льготы по плате за негативное воздействие на окружающую среду, налоговые льготы, инструменты специальных инвестиционных контрактов.

При этом в качестве санкций будет увеличена плата за негативное воздействие на окружающую среду, в том числе в 100-кратном размере.

Первым этапом перехода на новые принципы регулирования является разработка справочников НДТ имеющих прямое отношение к отраслям топливно-энергетического комплекса (ТЭК): «Добыча природного газа», «Добыча сырой нефти», «Переработка природного и попутного газа», «Переработка нефти», «Добыча и обогащение угля», «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии».

Справочники НДТ, с одной стороны, будут применяться для подготовки корпоративных программ внедрения наилучших доступных технологий, с другой – регулирующие органы, ориентируясь на справочни-

ки, определяют, насколько производство отвечает тем или иным экологическим требованиям. От этого будет зависеть размер платы за негативное воздействие на окружающую среду или получение дополнительных мер государственной поддержки.

В соответствии со ст.28.1, п.4. ФЗ№ 219 при обосновании НДТ необходим учет следующих критериев:

- наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на объем производимой продукции;
- экономическая эффективность внедрения и эксплуатации;
- применение ресурсо- и энергосберегающих методов;
- сопоставимый период внедрения;
- промышленное внедрение технологии на двух и более объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

Оценка эколого-экономической обоснованности (эффективности) является неотъемлемой частью определения НДТ. При оценке затрат необходимо соблюдения основных принципов:

- определение границ возможностей рассматриваемых технологий и выбора альтернативных вариантов;
- регламентация последовательности сбора и обоснования данных по затратам;
- идентификации капитальных затрат и эксплуатационных расходов, обоснование необходимой детализации затраты и использования при последующем обосновании и сопоставлении вариантов технологий;
- установление единой системы учета изменения цен, биржевых курсов, инфляции, дисконтировании и калькуляции ежегодных затрат;
- обоснование отнесения затрат к экологически значимым.

Оценку экономической эффективности следует осуществлять исходя из эффектов для окружающей среды при внедрении технологии. Это позволяет сопоставить и сбалансировать затраты на внедрение технологии и эффекты для окружающей среды, получаемые в результате внедрения, что поможет выяснить, действительно ли внедрение технологии заслуживает внимания или же экологические преимущества являются чрезмерно дорогостоящими с точки зрения затрат на внедрение технологии.

При оценке эколого-экономической эффективности НДТ необходимо учитывать следующие критические факторы:

- структура отраслей ТЭК и тенденции изменения топливного баланса, в том числе с учетом реализации программ по энергоэффективности и развитию использования возобновляемых источников энергии;

- структура внутреннего и мирового рынка минерально-сырьевых и энергетических ресурсов;
- гибкость (устойчивость) отраслей ТЭК при изменении внешних условий и макроэкономических факторов;
- влияние государственной политики на предприятия отраслей ТЭК.

Важно отметить, что практическое значение для процесса нормирования имеют именно наилучшие достижимые уровни воздействий, связанные с применением НДТ, а не собственно перечень технологий, признанных НДТ. Перечень НДТ лишь обосновывает и подтверждает достижимость таких уровней. При этом установление обязательных норм на основе НДТ не отменяет требований соблюдения стандартов качества окружающей среды.

Также следует отметить, что спецификой отраслей ТЭК является значительное разнообразие объектов, что может ориентировать разработчиков справочников на чрезмерную детализацию и разработку целой серии таких справочников, приуроченных к конкретным горно-геологическим условиям и технологиям добычи, переработки и сжигания.

Таким образом, учет эколого-экономических аспектов перехода отраслей ТЭК на НДТ возможен через инструменты сотрудничества государства, экспертного сообщества и бизнеса. При этом государственное регулирование должно основываться на:

- минимальной достаточности регулирующего воздействия для достижения установленных целей;
- четком и ясном описании полномочий регуляторов и контрольно-надзорных органов;
- эффективном и прозрачном механизме ответственности хозяйствующих субъектов;
- научно обоснованном периодическом совершенствовании и развитии системы регулирования во взаимодействии с заинтересованными участниками при обязательном публичном обсуждении.

Для этого потребуется внесение изменений в федеральное законодательство, разработка и принятие новых законов: ФЗ № 416 «О водоснабжении и водоотведении», ФЗ № 89 «Об отходах производства и потребления», ФЗ № 96 «О охране атмосферного воздуха», ФЗ № 174 «Об экологической экспертизе», ФЗ № 166 «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов», ФЗ № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», Проект ФЗ «О государственном и муниципальном контроле», Проект ФЗ «Об экологическом аудите, экологической аудиторской деятельности и внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ».

К разработке справочников НДТ и обсуждению законодательных инициатив должно привлекаться экспертное сообщество представленное компаниями ТЭК; профильными университетами и учреждениями Российской академии наук; отраслевыми исследовательскими институтами; общественными объединениями отраслевых специалистов; заинтересованными федеральными органами исполнительной власти; представителями органов власти субъектов РФ.

Литература

1. Варганов А.З., Зайцев С.П., Калачева Л.В., Петров И.В., Федаш А.В. Практические рекомендации по мониторингу и эколого-экономическому управлению рисками для повышения энергоэффективности и развития энергетики России. // Мониторинг. Наука и технологии, 2017. – № 2 (31). – С. 29-35.

2. Варганов А.З., Петров И.В., Кобяков А.А., Романов С.М., Федаш А.В. Эколого-экономические аспекты перехода горнодобывающих предприятий на принципы наилучших доступных технологий. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016. – № 1 (специальный выпуск 1). – С. 511-521.

3. Казаков В.Б., Калачева Л.В., Петров И.В., Сурат И.Л. Развитие угольной промышленности в условиях создания высокопроизводительных рабочих мест, перехода на наилучшие доступные технологии и импортозамещения. // Уголь, 2015. – №6 (1095). – С. 48-52.

4. Кобяков А.А., Варганов А.З., Петров И.В., Романов С.М., Федаш А.В. Прогнозирование устойчивости развития угольной промышленности в условиях макроэкономической нестабильности. / Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Под. ред. Академика К.Н. Трубецкого. – М.: ИПКОН РАН, 2016. – С. 298 – 306.

5. Кобяков А.А., Варганов А.З., Петров И.В., Романов С.М., Федаш А.В. Сопряженные проблемы развития угольной промышленности в условиях создания высокопроизводительных рабочих мест, перехода на наилучшие доступные технологии, импортозамещения и обеспечения безопасности горного производства. / Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Под. ред. Академика К.Н. Трубецкого. – М.: ИПКОН РАН, 2016. – С. 306 – 313.

6. Коробова О.С., Петров И.В. Зарубежный опыт стимулирования энергосберегающих мероприятий. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2012. – № S-1-1. – С. 127-138.

7. Петров И.В., Стоянова И.А. К вопросу о повышении обеспечения экологической и технической безопасности действующих и закрываемых угольных предприятий. // Мониторинг. Наука и технологии, 2014. – № 2. – С. 54-58.

8. Петров И.В. Экономическая оценка энергоэффективности углеэнергетических технологий. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2014. – № S1. – С. 180-189.

9. Петров И.В., Доброхотова М.В. Экономические аспекты перехода предприятий угольной промышленности на принципы наилучших доступных технологий В сборнике: Наилучшие доступные технологии. Применение в различных отраслях промышленности. Сборник статей. – М., 2015. – С. 163-169

МЕТОДОЛОГИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ РАЗВИТИЯ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ «ЗЕЛЕННЫХ» ТЕХНОЛОГИЙ И РОСТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА

Калачева Л.В.

Московский экономический институт

Проведенный анализ мировых политэкономических тенденций и эколого-экономической ситуации в угольной промышленности России свидетельствует о бесперспективности развития отрасли в направлении, сформированном в двадцатом веке и ориентированном на внутреннее потребление углей для энергетики и коксохимии, а также рост объемов добычи для обеспечения поставок угля на экспорт. Инфраструктурные ограничения и глобальная ориентация на экологизацию промышленного производства делают бесперспективным сложившийся тренд развития в отрасли. [5, 6]

В тоже время мировой опыт и современные направления научных исследований свидетельствуют о наличии теоретических и методологических основ развития промышленности на базе «зеленых» технологий, в том числе технологий добычи, переработки и промышленного использования угля с целью производства продукции с высокой добавленной стоимостью. Для принятия обоснованных стратегических решений необходим анализ факторов, оказывающих влияние на текущую эколого-экономическую ситуацию в угольной отрасли промышленности и перспективы ее развития.

Одним из значимых факторов, определяющих экономику отрасли, является производительность труда, которая, как показывают проведенные исследования, не соответствует мировому уровню. Поэтому анализ и оценка использования трудового потенциала, проблем обеспечения роста производительности труда и создания высокопроизводительных рабочих мест в угольной отрасли промышленности России является необходимым условием принятия управленческих решений. Необходи-

мо выявление факторов, предопределяющих динамику роста производительности труда в угольной отрасли промышленности. На основе полученных закономерностей возможно формирование отраслевых показателей (индикаторов роста) производительности труда, перечня единых решений, экономических и организационно-управленческих мер по созданию высокопроизводительных рабочих мест в угольной отрасли промышленности.

Изучение сущности измерения и анализа экологичности технологий добычи, переработки и промышленного использования угля в условиях рыночной и горно-геологической неопределенности угледобывающего производства позволяет провести экономико-математическое моделирование эколого-экономической эффективности технологий добычи, переработки и промышленного использования угля. На основе предложенной модели разработан механизм эколого-экономической оценки и выбора вариантов и сценариев развития угледобывающего производства на основе «зеленых» технологий добычи, переработки и промышленного использования угля. Итогом работы является эколого-экономическое ранжирование технологий добычи, переработки и промышленного использования угля, обеспечивающих создание высокопроизводительных рабочих мест в угольной промышленности России. В ранжированный перечень попадают перспективные и наилучшие доступные технологии добычи и обогащения угля, а также новые прорывные нетрадиционные направления использования угля и попутных ресурсов угледобычи ориентированных на получение продукции с высокой добавленной стоимостью. Такой продукцией может быть и территория восстанавливаемая после ведения горных работ с проведением ландшафтной декомпозиции и получения новой высокоэффективной среды обитания с формированием нового бизнеса и созданием новых рабочих мест.

Предложенный подход позволяет провести эколого-экономическую оценку программ развития «зеленых» технологий добычи, переработки и промышленного использования угля с учетом обеспечения роста производительности труда и создания высокопроизводительных рабочих мест в угольных компаниях и скорректировать их инвестиционные программы в направлении модернизации с целью экологизации производства и создания высокопроизводительных рабочих мест.

Литература

1. Варганов А.З., Петров И.В., А.А. Кобяков, Романов С.М., Федаш А.В. Эколого-экономические аспекты перехода горнодобывающих предприятий на принципы наилучших доступных технологий. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016. – № 1 (специальный выпуск 1). – С. 511-521.

2. Захаров В.Н., Вартанов А.З., Петров И.В., Кобяков А.А., Романов С.М., Федаш А.В. О первоочередных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, обеспечивающих импортозамещение в отрасли геологоразведки, добычи и глубокой переработки твердых полезных ископаемых. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016. -№1 (специальный выпуск 1). – С. 522-534.

3. Казаков В.Б., Калачева Л.В., Петров И.В., Сураг И.Л. Развитие угольной промышленности в условиях создания высокопроизводительных рабочих мест, перехода на наилучшие доступные технологии и импортозамещения. // Уголь, 2015. – №6 (1095). – С. 48-52.

4. Калачева Л.В. Методика обоснования комплекса мероприятий по стимулированию роста производительности труда и создания высокопроизводительных рабочих мест в угольной отрасли // Уголь, 2015. – № 3. – С. 51-55.

5. Калачева Л.В., Петров И.В., Савон Д.Ю. Кадровое обеспечение предприятий угольной промышленности как условие роста производительности труда и создания высокопроизводительных рабочих мест. // Гуманитарные и социально-экономические науки, 2014. – № 6. – С. 120-124.

6. Кобяков А.А., Вартанов А.З., Петров И.В., Романов С.М., Федаш А.В. Прогнозирование устойчивости развития угольной промышленности в условиях макроэкономической нестабильности. / Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Под. ред. Академика К.Н. Трубецкого – М.: ИПКОН РАН, 2016. – С. 298 – 306.

7. Кобяков А.А., Вартанов А.З., Петров И.В., Романов С.М., Федаш А.В. Сопряженные проблемы развития угольной промышленности в условиях создания высокопроизводительных рабочих мест, перехода на наилучшие доступные технологии, импортозамещения и обеспечения безопасности горного производства. / Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Под. ред. Академика К.Н. Трубецкого – М.: ИПКОН РАН, 2016. – С. 306 – 313.

8. Коробова О.С., Петров И.В. Зарубежный опыт стимулирования энергосберегающих мероприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2012. – № S-1-1. – С. 127-138.

9. Петров И.В., Стоянова И.А. К вопросу о повышении обеспечения экологической и технической безопасности действующих и закрываемых угольных предприятий. // Мониторинг. Наука и технологии, 2014. – № 2. – С. 54-58.

10. Петров И.В. Экономическая оценка энергоэффективности углеэнергетических технологий. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2014. – № S1. – С. 180-189.

ЗАКОН КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Рыспанов Н.Б.

ОО «Национальная Академия Горных Наук», Казахстан

При кучном выщелачивании металлов из руд или отходов обогатительных фабрик процесс складывается из двух составляющих:

- диффузионное растворение металла в реагенте;
- фильтрационный перенос его в пористой среде материала штабеля.

Рассмотрим время диффузионного растворения $t_{\text{д}}$.

В соответствии с [1] второй закон диффузии Фика запишем в виде дифференциального уравнения:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right), \quad (1)$$

где $C(x, y, z, t)$ – искомая функция распределения вещества в пространстве по времени t ; D_x ; D_y ; D_z – коэффициенты диффузии по координатам x, y, z .

Для таких исследований наибольший интерес представляет одномерный (линейный) закон диффузии, который описывается уравнением:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}. \quad (2)$$

Следует искать решения (2) в виде функции $C(x, t)$ при следующих граничных условиях:

$$C(x, t) = C_0 \text{ при } 0 < x < l \text{ и } t = 0;$$

$$C(x, t) = 0 \text{ при } x = l, x = 0, t > 0,$$

где C_0 – исходная концентрация металла, г/см³; $C(x, t)$ – текущая концентрация металла по оси x за время t ; l – размер куска руды, см; t – время диффузии, сут.

Имеется решение такого уравнения [1] в виде бесконечного ряда:

$$C(x, t) = \frac{4C_0}{\pi} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{2j+1} \operatorname{csch} \frac{2j+1}{x} \times \exp \left\{ - \left[(2j+1) \frac{\pi^2}{x^2} \right] D_n \cdot t \right\}. \quad (3)$$

Если положить, что в относительных единицах $C_0 = 1$, а $C_{\text{нр}} = 0,75$, т.е. конечное значение диффундирующего металла (растворения) до 75%, то можно получить решение, ограничившись первым членом ряда (3):

$$\frac{C_{\text{нр}}}{C_0} = \frac{4}{\pi^2} \exp \left(- \frac{\pi^2 D_n t}{x^2} \right). \quad (4)$$

При заданном $D_n \cong 0,864 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{сут.}$ и (4) находим время диффузионного выщелачивания металла:

$$t_d = \frac{r^2 \cdot C_0 - C_{np} \cdot C_0}{\pi^2 \cdot D_n \cdot C_{np} \cdot C_0}, \text{ сут.} \quad (5)$$

где r - средний диаметр куска руды, см; $C_0 = 1$ и $C_{np} \cong 0,7 + 0,75$ - коэффициенты содержания металла в руде и извлечения его из руды; D_n - эффективный коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{сут}$ для металлов

$$D_n \cong 0,864 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{сут.}$$

Анализ (5) показывает, что она обладает некоторыми недостатками. Первое - $C_{np} \cong 0,7 + 0,75$, т.е. весьма узкий, хотя правильный диапазон изменения. Второе - при увеличении C_{np} от 0,7 до 0,75 время t_d будет уменьшаться, что является противоречием.

Исходя из этих замечаний, запишем формулу (5) в виде:

$$t_d = \frac{r^2 \cdot C_0 \cdot \alpha - C_{np} \cdot C_0}{\pi^2 \cdot D_n \cdot C_{np} \cdot C_0}, \text{ сут.} \quad (6)$$

где α - некоторый параметр, $\alpha > 0$, который определяется статистическим путем или экспериментально по схеме. Для определения α принимаем $C_{np} = 0,7$, тогда формулу (6) запишем:

$$t_d = \frac{r^2 \cdot C_0 \cdot \alpha - 1,159}{\pi^2 \cdot D_n}, \quad (7)$$

Из уравнения (7) имеем:

$$1,159 \cdot \alpha = \frac{t_d \pi^2 \cdot D_n}{r^2}, \quad (8)$$

Из уравнения (8) легко определить искомый параметр α из уравнения:

$$\alpha = \frac{1}{1,159} \cdot \frac{t_d \pi^2 \cdot D_n}{r^2}. \quad (9)$$

Следует отметить, что D_n - зависит от концентрации реагентов растворе, т.е.

$$D_n = f(K),$$

где K - содержание реагента в растворе, г/л.

Например, при выщелачивании золота цианидом $NaCN$ экспериментально получено простое уравнение:

$$D_n = (2,48K - 0,48) \cdot 10^{-3}, \text{ см}^2/\text{сут.} \quad (10)$$

где K - содержание $NaCN$ в растворе, г/л и $0,25 \leq K \leq 1,25$ г/л.

Подставляя (10) в (6) получим t_d в виде общей формулы:

$$t_d = \frac{10^3 \cdot r^2 \cdot C_0 \cdot \alpha - C_{np} \cdot C_0}{\pi^2 \cdot (2,48K - 0,48)}, \text{ сут.} \quad (11)$$

С другой стороны диффундирующий на поверхность куска руды металл должен постоянно смываться выщелачивающим раствором (ВР) и переносится на основание штабеля фильтрационным потоком. При недостаточном количестве ВР градиент концентрации металла на границе сред твердое и жидкое падает и процесс замедляется или совсем прекращается при нулевом градиенте.

Время фильтрации раствора через навал руды высотой H , м под действием сил гравитации определим, исходя из действительной скорости фильтрации ВР

$$V_{\Phi} = \frac{K_{\Phi}}{K_n}, \text{ м/сут}, \quad (12)$$

где K_n – коэффициент эффективной пористости руды в навале; K_{Φ} – коэффициент фильтрации руды в навале, м/сут.

При проектировании или эксплуатации штабеля важнейшим параметром процесса КВ является f – отношение жидкого к твердому.

Если производительность насосов для орошения поверхности штабеля обозначим через Q – м³/час, то объем прокачиваемых ВР будет:

$$Q_0 = 24 \cdot Q \cdot t_{\Phi}, \text{ м}^3. \quad (13)$$

Масса штабеля выразится:

$$M_{\text{ш}} = \rho_n \cdot V_{\text{к}}, \quad (14)$$

где ρ_n – плотность руды в навале, т/м³; $V_{\text{к}}$ – объем кучи, м³.

Параметр f запишется в виде:

$$f = \frac{24 \cdot Q \cdot t_{\Phi} \cdot \rho_{\Phi}}{\rho_n \cdot V_{\text{к}}} \quad (15)$$

где f – безразмерная величина; ρ_{Φ} – плотность раствора $\rho_{\Phi} \cong 1$ т/м³.

В соответствии с работой [2] число прокачек ВР через штабель для достижения проектного коэффициента извлечения будет:

$$N_{\text{пр}} = \frac{f \cdot \rho_n}{K_n}. \quad (16)$$

Время фильтрационного переноса металла в продуктивном растворе (ПР) будет теперь определено по формуле [2]:

$$t_{\Phi} = \frac{H}{V_{\Phi}} \cdot N_{\text{пр}}, \quad (17)$$

Подставляя в (17) значения V_{Φ} и $N_{\text{пр}}$ из (12), (15), (16), получим:

$$t_{\Phi} = \frac{H \cdot f \cdot \rho_n}{K_{\Phi} \cdot \rho_{\Phi}}, \text{ сут}. \quad (18)$$

Анализируя процесс кучного выщелачивания через эти два, описанных выше процесса приходим к важному выводу, являющимся основополагающим для процесса кучного выщелачивания.

Процесс кучного выщелачивания является идеальным, когда соблюдается условие равенства времени диффузионного выщелачивания металла из руды и времени фильтрационного переноса выщелачиванного металла через рудный штабель.

$$t_D = t_D \quad (19)$$

или в развернутом виде:

$$\frac{10^8 \cdot f^2 \cdot \rho_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}}}{\pi^2 \cdot (2K - \alpha)} = \frac{H \cdot f \cdot \rho_{\text{п}}}{K_D \cdot \rho_{\text{п}}} \quad (20)$$

Функцию (20) назовем уравнением идеального состояния параметров процесса КВ или **Законом кучного выщелачивания**.

Литература

Шьюман П. Диффузия в твердых телах. – М.: Наука, 1968. – 320 с.

УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАРЬЕРА НА ЕГО ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ*

Балтачев С.А., Петухов М.А., Журавлев А.Г.

*Институт горного дела Уральского отделения
Российской академии наук (ИГД УрО РАН)*

При проектировании схем вскрытия карьеров возникает необходимость выбора наиболее рациональной схемы из нескольких возможных вариантов. С учетом возрастающих требований к точности прогноза параметров карьера и его транспортной системы [1] решение такой задачи требует рассмотрения большого количества вариантов. Уменьшить количество вариантов, принимаемых для дальнейшего технико-экономического сравнения, возможно путем применения методов экспресс-оценки по натуральным показателям.

Известны различные методики расчетной оценки геометрических параметров карьеров [2, 3]. Однако они базируются на чисто аналитических расчетах, связанных с большим количеством допущений, а потому могут давать значительную погрешность.

По этой причине использован следующий подход:

- измерение геометрических параметров производится на виртуальных (компьютерных) трехмерных моделях карьеров с высокой точностью;
- оценивается влияние большого количества факторов;

* Исследования выполнены в рамках Государственного задания 007-01398-17-00, тема № 0405-2015-0010.

- закономерности устанавливаются с применением графических методов;
- установленные закономерности описываются математическими выражениями путем регрессионного анализа;
- полученное математическое описание закономерностей проверяется на сходимость с параметрами исходных трехмерных моделей.

Для построения трехмерных моделей использован пакет прикладных программ MINEFRAME [4]. Карьеры отстраивались группами в зависимости от варьируемых параметров. Диапазоны варьирования параметров представлены в таблице 1.

Рассматриваемый этап исследований ориентирован на карьеры, разрабатываемые с применением автомобильного транспорта, что отражается в параметрах транспортных берм (ширина, уклон).

Корреляционный анализ, выполненный по параметрам отстроенных моделей карьеров, показал (таблица 2), что внутри группы карьеров со схожими по параметрам основными элементами карьера имеется тесная взаимосвязь между объемом карьера и основными определяющими факторами (корреляция 0,78 и более).

Таблица 1 – Диапазон варьирования параметров элементов карьера

Параметр	Обозначение	Ед. изм.	Диапазон значений
Глубина карьера	H	м	150, 300, 600
Длина дна	$a_{\text{дно}}$	м	100, 200, 300, 400, 500
Ширина дна	$b_{\text{дно}}$	м	25, 50, 75, 100
Высота уступа на конечном контуре	h_y	м	15, 20, 30, 45, 60
Угол откоса уступа	α_y	град.	65, 70, 75
Форма трассы транспортных съездов	–	–	спиральная, петлевая
Уклон транспортных берм	i	‰	50, 80, 100, 150, 200, 250, 300, 450
Ширина транспортной бермы	$B_{\text{тр}}$	м	15, 25, 35, 45
Площадка примыкания транспортных берм*	$l_{\text{пп}}$	м	50
Ширина бермы безопасности	$B_б$	м	5, 8, 10, 12

Модели карьеров были отсортированы на группы, различающихся только по глубине карьера. В качестве аргументов искомой функции с учетом результатов корреляционного анализа, теории практики проектирования карьеров [9, 10] приняты: продольный уклон съезда, высота и угол откоса уступа, ширина транспортной бермы и бермы безопасности, длина и ширина дна, глубина карьера.

Регрессионная зависимость объема карьера от определяющих факторов построена как мультипликативная функция:

$$V = (a \cdot H^n) \cdot K_n \cdot K_{Бб} \cdot K_{Бтр} \cdot K_a \cdot K_B \cdot K_L \quad (1)$$

где H – глубина карьера, м; a , n – соответственно значащий коэффициент и показатель степени; K_n , $K_{Бб}$, $K_{Бтр}$, K_a , K_B , K_L – коэффициенты, учитывающие изменение соответствующих параметров элементов карьера (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты корреляционного анализа группы карьеров со схожими параметрами (16 карьеров)

	Объем выемки, м ³	Уклон, %	Высота уступа, м	Суммарная длина съездов, м	Ширина карьера по поверхности, м	Длина карьера по поверхности, м	Площадь карьера по поверхности, м	Ширина берм безопасности, м	Угол откоса уступа, град	Длина дна, м	Ширина дна, м
Объем выемки, м ³	1										
Уклон, %	0,78	1									
Высота уступа, м	0,86	0,49	1								
Суммарная длина съездов, м	0,60	0,86	0,32	1							
Ширина карьера по поверхности, м	0,97	0,75	0,88	0,58	1						
Длина карьера по поверхности, м	0,98	0,80	0,82	0,60	0,93	1					
Площадь карьера по поверхности, м	0,99	0,76	0,87	0,58	0,98	0,97	1				
Ширина берм безопасности, м	0,82	0,71	0,55	0,54	0,74	0,85	0,80	1			
Угол откоса уступа, град	0,27	0,10	0,28	0,03	0,29	0,25	0,29	0,14	1		
Длина дна, м	0,78	0,71	0,57	0,60	0,75	0,77	0,77	0,59	0,24	1	
Ширина дна, м	0,02	0,07	0,01	0,17	0,09	0,04	0,04	0,21	0,13	0,56	1

Проверочные расчеты показали, что отклонения расчетных значений объема карьера от фактических (полученных по трехмерным моделям карьеров) в интервалах в большинстве случаев лежат в пределах 5%, в отдельных случаях (при определенном сочетании параметров геометрических элементов карьера) эта погрешность возрастает, но не превышает 10%.

На рисунке 1 представлены некоторые из установленных зависимостей объема карьера от основных параметров геометрических элементов карьера (уклон и ширина транспортных берм, глубина карьера, высота и угол откоса уступа). Во всех случаях рассматривается конечный контур карьера, в котором уступы представлены бермами безопасности, а трасса автомобильных съездов имеет спиральную форму.

Видно, что параметры транспортных берм значительно влияют на объем карьера в абсолютных значениях начиная с глубин порядка 300-400 м. Угол откоса уступа также более заметно влияет на объем карьера с увеличением глубины, причем нарастающими темпами.

Таблица 3 – Частные уравнения регрессии, входящие в выражение (1)

Обозн-е	Наименование	Формула
a	коэффициент уравнения	$a = c_1 - c_2 \cdot i + c_6 \cdot h_y$
n	показатель степени	$n = c_4 - c_5 \cdot i - c_6 \cdot h_y$
K_n	коэффициент, учитывающий влияние глубины карьера	$H \leq 300, K_n = 1;$ $H \geq 300, K_n = c_7 \cdot i^{(c_8 - (c_9 - h_y)/c_{10}))}$
$K_{Бб}$	к-т, учитывающий влияние ширины бермы безопасности	$K_{Бб} = c_{11} \cdot B_6^2 + c_{12} \cdot B_6 + c_{13}$
$K_{Бтр}$	к-т, учитывающий влияние ширины транспортной бермы	$K_{Бтр} = c_{14} \cdot B_{тр}^2 + c_{15} \cdot B_{тр} + c_{16}$
K_α	коэффициент, учитывающий влияние угла откоса уступа	$K_\alpha = c_{17} \cdot \alpha^{c_{18}}$
K_B	коэффициент, учитывающий влияние ширины дна карьера	$K_B = (c_{19} \cdot B^2 + c_{20} \cdot B + c_{21}) \cdot k_1$
K_L	коэффициент, учитывающий влияние длины дна карьера	$K_L = (c_{22} \cdot L + c_{23}) \cdot k_2$
I – уклон съезда, ‰; h_y – высота уступа, м; B_6 – ширина бермы безопасности, м; α – угол откоса уступа, град.; B – ширина дна карьера, м; L – длина дна карьера, м; k_1, k_2 – поправочные коэффициенты; c_1 - c_{23} – постоянные коэффициенты		

Наибольшее влияние на объем, безусловно, оказывают пространственные размеры карьера (длина, ширина, глубина). Необходимо отметить, что с увеличением размеров карьера в плане (длины и ширины) растет не только суммарный объем карьера, но и уменьшается влияние на него углов откоса бортов, что в конечном итоге приведет к незначительности влияния параметров транспортных берм и берм безопасности, тем более с учетом того, что крупные карьеры отрабатываются в течение нескольких десятков лет и ежегодное сокращение объемов в процентном отношении будет не столь существенным. Следовательно, оптимизация контуров карьера имеет наибольшее значение при приближении карьера к проектным контурам и его доработке.

Выводы.

1. Проведенные расчеты показали, что закономерности влияния параметров элементов карьера на его объем могут быть описаны многопараметровыми регрессионными моделями, выраженными гладкими непрерывными функциями с приемлемой точностью.

2. Проверочные расчеты показали, что отклонения фактических значений и значений полученных при расчётах по регрессионным зависимостям в интервалах исходных данных в основном лежат в пределах 5%, а максимальные отклонения не превышают 10%.

Однако следует учитывать, что закономерности справедливы для карьеров с формой дна, близкой к прямоугольной.

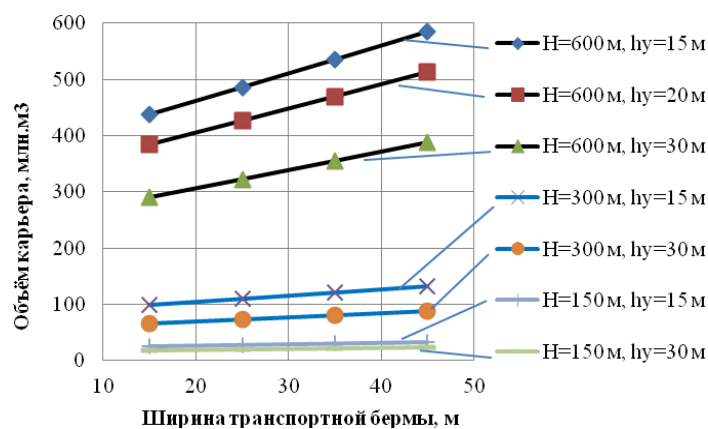


Рис. 1 – Зависимость объема карьера от ширины транспортной бермы при различной глубине и высоте уступа (H – глубина карьера, h_y – высота уступа)

3. Установленные закономерности геометрических показателей карьера от параметров элементов системы разработки могут применяться при исследовании закономерностей развития транспортной системы карьера и ее влияния на карьер, а также с учетом дополнительной обработки и систематизации - в практике проектирования карьеров для предварительной экспресс-оценки вариантов схем вскрытия.

Литература

1. Основные аспекты формирования и новые научные направления исследований транспортных систем карьеров / Яковлев В.Л., Бахтурин Ю.А., Журавлев А.Г. // Наука и образование. – 2015. – №4. – С.67-72.

2. Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьеров. – М.: Изд-во «Недра», 1970. – 320 с.

3. Горшков Э.В. Обоснование рациональных параметров технологического автотранспорта при повышенных уклонах карьерных автодорог. Дисс. на соискание степени канд. техн. наук. – Свердловск, 1984.

4. Лукичев С.В., Наговицын О.В., Свинин В.С., Егоров В.Ф., Коробов Б.Л., Ивановский Е.В. Система автоматизированного планирования и проектирования горных работ GEOTECH-3D АПАТИТ // Горный журнал. – 2000. – № 3. – С. 56-58.

АСПЕКТЫ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ НА ПРИНЦИПАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Бояндинова А.А., Адилханова Ж.А.

*Филиал РГП «Национальный центр по комплексной переработке
минерального сырья Республики Казахстан»
«Институт горного дела им. Д.А. Кунаева»*

Одним из важнейших приоритетных направлений развития Республики Казахстан является создание конкурентоспособной продукции и выход на более высокий технико-технологический уровень производства во всех отраслях национальной экономики и, в частности, в горнодобывающей, являющейся одной из базовых отраслей экономики страны. Современные карьеры как геотехнологические системы относятся к большим и сложным технико-технологическим динамическим системам с развитой иерархической структурой, с большим числом подсистем, объектов и элементов с множеством внутренних и внешних взаимосвязей.

В настоящее время именно направленность на формирование и повышение реализации конкурентных преимуществ может гарантировать предприятию успешное преимущество на мировом рынке минерального сырья. Наиболее существенным, в этом плане, является работа в области управления, которая охватывает такие основные функции, как: планирование, организация, нормирование, регулирование, стимулирование, контроль и учет. Эти функции охватывают практически все этапы процессов освоения месторождений полезных ископаемых и поэтому в значительной мере определяют их эффективность, а, следовательно, и конкурентоспособность самих предприятий, занимающихся освоением месторождений твердых полезных ископаемых. Причем управление рассматривается на корпоративном уровне, т.е. исходя из общих целей и задач всех подсистем геотехнологического комплекса в рамках их целенаправленного развития[1].

Комплексное планирование устойчивого функционирования геотехнологических систем базируется на методах с использованием оперативно получаемой объективной и достоверной информации о состоянии элементов и подсистем и качественной экспертной оценке инновационных мероприятий технологического развития. При этом осуществляется учет нормативных технических, технологических и экологических показателей работы технологического оборудования и коммуникационных систем, организация и порядок взаимодействия горного и транспортного оборудования, адаптация его к конкретным горнотехническим и горно-геологическим условиям, режим эксплуатации и др. Без решения этих основополагающих проблем невозможно построение эффективных систем управления технологическими процессами и всем производством в целом. Традиционными методами данные факторы в достаточной мере учесть практически невозможно, так как они не позволяют оценивать влияние многочисленных нюансов, в существенной мере сказывающихся на результатах функционирования горно-транспортных комплексов (ГТК) на карьерах.

Так метод выбора технологического оборудования базируется на методе вариантов, в основе которого лежит использование возможностей моделирования, системного подхода и комплексного метода экономической оценки эффективности работы ГТК. Сочетание этих составляющих обеспечивает чувствительность метода к различного рода внешним и внутренним факторам. Экспериментально доказано, что конкретные горнотехнические условия обуславливают соответствующий подбор технологически совместимого и экономически целесообразного сочетания основного технологического горного и транспортного оборудования.

Мониторинг технического состояния и управление процессом воспроизводства производственных мощностей ГТК карьеров являются одними из основных при корпоративном управлении. Для решения данной задачи разработана автоматизированная система оперативного планирования и управления процессом воспроизводства производственных мощностей ГТК карьеров [2].

Мониторинг эффективности работы геотехнологического комплекса осуществляется на основе подсистемы технико-экономической отчетности о работе горно-транспортного комплекса [3]. Экономико-математические модели формирования себестоимости ГТК позволяют устанавливать с высокой степенью точности и надежности корреляционную зависимость себестоимости работы ГТК от степени влияния всех моделируемых факторов и параметров технологического комплекса.

Немаловажной при эффективном корпоративном управлении является объективная оценка конкурентоспособности функционирования геотехнологического комплекса [2].

Таким образом, только комплексное решение выше обозначенных задач может обеспечить устойчивое и целенаправленное развитие всех подсистем геотехнологического комплекса, что, в свою очередь, гарантирует успешную реализацию эффективной политики горнодобывающего предприятия.

Список литературы:

1. Бояндинова А.А. Научно-методическое обеспечение устойчивого функционирования геотехнологических систем на открытых разработках: дисс. ... докт. техн. наук. – Алматы, 2010. – 269 с.

2. Галиев С.Ж., Бояндинова А.А., Адилханова Ж.А. Современные решения проблем горной системологии // Труды НЦ КПМС РК.–Алматы, 2013.–С. 169-182.

Boyandinova A.A. Economic-mathematical model of cost price formation of open-pit's mining and transport complex work // Proceedings of the 18th International Symposium MPES-2009 / Banff, Alberta, Canada, November 16-19, 2009. – ISBN 1913-6528.– P.180-188

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Академик РАН Трубецкой К.Н., член-корреспондент РАН Захаров В.Н.</i> Горная наука в Академии наук СССР, ее развитие в исследованиях институтов горного дела и Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН.....	3
<i>Самусев А.Л., Миненко В.Г., Чантурия Е.Л.</i> Влияния энергетических воздействий на извлечение циркония и редкоземельных элементов при кислотном выщелачивании эвдиалита.....	8
<i>Пыталев И.А.</i> К вопросу целевого формирования техногенных георесурсов при комплексном освоении недр.....	10
<i>Викторов С.Д., Закалинский В.М.</i> Взрывное разрушение массивов горных пород и различные аспекты его применения при комплексном освоении недр.....	13
<i>Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В., Айнбиндер И.И., Есина Е.Н.</i> Инициативы ИПКОН РАН по разработке нормативно-правовой документации в области обеспечения экологической и промышленной безопасности горных работ.....	20
<i>Матвеева Т.Н., Громова Н.К., Минаев В.А., Ланцова Л.Б.</i> Модифицирование поверхности халькопирита, галенита и арсенопирита дибутилдитикарбаматом натрия при флотации сульфидно-оловянных руд.....	24
<i>Касымканова Х.М., Джангулова Г.К., Жалгасбеков Е.Ж., Туреханова В.</i> Перспективы развития открытых горных работ в Казахстане.....	29
<i>Барях А.А., Шамганова Л.С., Токсаров В.Н., Самоделкина Н.А., Бердинова Н.О.</i> Напряженно-деформированное состояние горных пород в прибортовом массиве Сарбайского карьера.....	34

ИСТОРИЯ ГОРНЫХ НАУК

<i>Аверин Е.А.</i> Модель NTNU: этапы развития и особенности применения.....	40
<i>Нурпеисова М.Б.</i> Активизация международного сотрудничества между вузами открывает новые горизонты.....	44

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

<i>Цыренов Т.Г.</i> Опасные инженерно-геологические явления в районе Черновского бурогоугольного месторождения (Забайкальский край).....	49
--	----

ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ И РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

<i>Жариков С.Н., Кутуев В.А., Шеменев В.Г.</i> Экспрессное уточнение прочностных характеристик горных пород при проектировании взрывов на карьерах.....	51
<i>Казаков Н.Н., Шлятин А.В., Лапиков И.Н.</i> Многофазная и многозонная теория технологического дробления горных пород взрывом.....	56
<i>Хохлов Б.В.</i> К вопросу об утрате эксплуатационных способностей технических скважин.....	59
<i>Шевченко Е.Н., Артеменко П.Г., Ягмур А.Б., Дроздова Н.А.</i> Протекание гидрогеомеханических и гидродинамических процессов на Солотвинском месторождении каменной соли	62
<i>Кулибаба С.Б.</i> Характер развития процесса сдвижения горного массива над движущимся очистным забоем.....	67
<i>Южанин И.А., Дрибан В.А., Хохлов Б.В.</i> К вопросу расчета податливых крепей.....	72
<i>Аверин Е.А.</i> Основные зарубежные эмпирические методы расчета усилий на тангенциальных резцах при разрушении горных пород.....	78
<i>Норель Б.К., Азаренко В.А.</i> Инварианты параметров разрушения неоднородных горных пород и массива при действии объемного напряженного состояния	81
<i>Шадрин А.В.</i> Особенности модификаций спектрально-акустического прогноза динамических явлений в угольных шахтах	85
<i>Добрынин А.А., Абдулгаджиев А.М., Тагиров М.М., Абдурахманов Г.М.</i> Промышленные испытания взрывчатых веществ совместно с экологическими исследованиями	90
<i>Одинцев В.Н.</i> Междисциплинарные исследования взаимодействия техногенных геомеханических и гидрогеологических процессов	94
<i>Воронов Г.А., Сурин С.Д.</i> Сравнение результатов обработки спутниковых наблюдений различных глобальных навигационных систем в маркшейдерско-геодезическом мониторинге	100
	603

<i>Анциферов А.В. Иванов Л.А. Туманов В.В.</i> Разработка геоэлектрической модели подработанного углепородного массива.....	104
<i>Наумова К.С.</i> Оценка процесса сдвижения налегающей толщи пород при отработке рудного тела №5 Октябрьского месторождения.....	109
<i>Никитин С.М., Скрипник А.Я.</i> Традиции и перспективы комплексных исследований физико-технических свойств земного и внеземного вещества.....	114
<i>Мынжасаров Б., Муратбеков Б.</i> Мониторинг деформационных процессов гидротехнических сооружений.....	119
<i>Шахырбаев З.Ұ.</i> Маркшейдерия и геодезия как ведущая производственная отрасль в реализации проекта развития транспортно-логистической инфраструктуры страны по программе «Нұрлы жол» Казахстана.....	122
<i>Кушыбек С.К.</i> Методические особенности обработки данных дистанционного зондирования месторождений полезных ископаемых.....	126
<i>Ж. Жамьян, Старшинов А.В., Куприянов И.Ю.</i> Некоторые особенности подготовки смесевых ВВ для рыхления угля.....	131
<i>Ковалёв Д.О.</i> Исследование моделей пустотелых целиков.....	133
<i>Жугинисов М.Т., Сартаев Д.Т., Бек А.А.</i> Жаростойкий бетон и композиционное вяжущее (силикат-натриевое) на основе хромитовой руды.....	136
<i>Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Г.М., Солтабаева С.Т.</i> Изучение напряженно-деформированного состояния массива горных пород.....	139
<i>Умирбаева А.Б., Жантуева Ш.А., Орманбекова А.</i> Земных широт космическая точность.....	142
<i>Иофис М.А., Есина Е.Н.</i> Причины и последствия наиболее характерных аварий при освоении недр.....	146
<i>Волков А.П., Шамганова Л.С., Баитов Ж.К.</i> Разработка безопасных и эффективных способов отработки наклонных маломощных рудных залежей и золотоносных жил.....	151
<i>Франтов А.Е.</i> Перспективы применения конверсионных ВВ для разрушения горных пород.....	155
<i>Алтаева А.А., Садыков Б.Б.</i> Основные факторы, влияющие на сдвижение земной поверхности и горных пород при подземной разработке Орловского месторождения.....	160

<i>Кочанов А.Н.</i> Экспериментальные методы и результаты изучения структурных и физических характеристик горных пород для прогнозирования их разрушения	165
<i>Захаров В.Н., Вартанов А.З., Викторов С.Д., Ефремовцев Н.Н., Закалинский В.М.</i> К вопросу применения материалов утилизации резинотехнических изделий в производстве простейших взрывчатых веществ.....	168
<i>Мингазов Р.Я., Закалинский В.М.</i> Анализ некоторых схем коммутации и инициирования взрывных сетей при массовых взрывах на открытых разработках.....	172
<i>Никифоров К.И.</i> Перспективы развития системы геомеханического мониторинга при освоении запасов руды за контуром карьера.....	177
<i>Негурица Д.Л.</i> Геомеханический мониторинг при освоении подземного пространства в целях транспортного строительства в Москве.....	180
<i>Никифорова И.Л.</i> Совершенствование метода прогноза максимальных оседаний при строительстве транспортных тоннелей в Москве на основе экспериментальных исследований	184
<i>Милетенко Н.А., Митишова Н.А.</i> Анализ состояния налегающих пород при отработке железных руд КМА посредством скважинной гидродобычи.....	188
<i>Курленя М.В., Сердюков С.В.</i> Физико-технические проблемы интенсификации подземной дегазации угольных пластов методом гидроразрыва	191
<i>Назарова Л.А., Захаров В.Н., Шкуратник В.Л., Протасов М.И., Назаров Л.А., Николенко П.В.</i> Реконструкция поля напряжений геомеханического пространства месторождения на основе решения обратных задач по томографическим данным.....	196
<i>Асилова К.Е.</i> Комплексный геомеханический мониторинг в роботизированных горнотехнических системах	202
<i>Ромашев А.О., Потемкин В.А., Хасенов А.М.</i> Исследование и моделирование реологических характеристик минеральных суспензий.....	205

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

<i>Тимонин В.В., Кокоулин Д.И., Кубанычбек Б., Алексеев С.Е.</i> Совершенствование техники бурения глубоких скважин в поземных условиях угольных шахт	209
<i>Герике Б.Л., Мокрушев А.А.</i> Распознавание дефектов подшипников качения на основе анализа виброакустического сигнала	212
<i>Тарасов В.М., Буялич Г.Д.</i> Эффективная эксплуатация подземного подвесного монорельсового транспорта в горных выработках и новый тип секции механизированной крепи: подвижный гидравлический клапан в боковых породах и замок в капсуле термодинамического баланса при добыче твердого полезного ископаемого подземным способом.....	216
<i>Сажин П.В.</i> Управление труднообрушающимися кровлями в очистных забоях методом направленного гидроразрыва	221
<i>Барабашева Е.Е., Пикатова М.В.</i> К вопросу о поисках нефтеносных отложений в рифтогенных угленосных впадинах Забайкальского края.....	225
<i>Матвиенко Н.Г., Радченко С.А.</i> Разработка экспресс-методов и портативных средств оценки опасности по газовому фактору при буровых и проходческих работах в угольных шахтах	228
<i>Городилов Л.В., Вагин Д.В.</i> Численное исследование гидроударной системы с двумя ударными устройствами.....	233
<i>Анциферов А.В., Глухов А.А.</i> Прогноз геологических нарушений угольных пластов на основе использования дифрагированных волн.....	237
<i>Глухов А.А., Воробьев С.А., Шевченко Е.Н.</i> Программное обеспечение для расчета деформации земной поверхности в зонах подработки	240
<i>Глухов А.А., Анциферов В.А., Трофимов В.В.</i> Использование подхода Френкеля-Био при анализе процесса распространения сейсмических волн в трещиноватом углепородном массиве	243
<i>Гаврилов В.Л.</i> Резервы совершенствования управления качеством углей Якутии в цепочках поставок	246
<i>Туманов В.В., Мартынов Г.П.</i> Развитие автономного аппаратно-аналитического комплекса ААК12 для шахтной сейсморазведки ..	251

<i>До Чи Тхань</i> Управление скоростью асинхронного двигателя привод для вентилятора местного в шахте с использованием искусственной нейронной сети.....	254
<i>До Чи Тхань</i> Сравнение моделей нейронной сети для прогнозирования концентрации метана в шахте «Вьетнама»	258
<i>Агабалян А.Ю.</i> Влияние содержания в хвостах обогащения на качественно-количественные показатели балансовых и забалансовых запасов карьера.....	262
<i>Кубрин С.С., Решетняк С.Н., Бондаренко А.М.</i> К вопросу повышения уровня нормирования электропотребления угольных шахт	267
<i>Абрамович Б.Н. Сычев Ю.А. Зимин Р.Ю.</i> Гибридный электротехнический комплекс на базе активного и пассивного фильтров для компенсации высших гармонических составляющих в условиях многинверторного электропривода	272
<i>Буй Чунг Кьен, Кубрин С.С., До Ван Ванг</i> Влияние преобразователей частоты на качество электроэнергии шахтной сети	275
<i>Лесков А.К.</i> Способы модернизации электромеханической трансмиссии карьерных автосамосвалов	280
<i>Лаврик А.Ю., Яковлева Э.В.</i> Повышение эффективности фотоэлектрических модулей охлаждением.....	282
<i>Бабанова И.С.</i> Разработка прогнозных моделей электрической нагрузки для предприятий минерально-сырьевого комплекса	286
<i>Вартанов А.З., Федаш А.В.</i> Современные способы обеспечения технологической безопасности строительства и эксплуатации оснований мостов, путепроводов и высотных зданий для условий Москвы.....	289
<i>Зубков А.А., Калмыков В.Н., Кутлубаев И.М., Мухамедьярова М.С.</i> Аналитическая оценка несущей способности анкера фрикционного типа.....	294
<i>Кузнецов П.А.</i> Повышение устойчивости микросетей к каскадным авариям с помощью распределенных генераторов.....	299
<i>Касьянова А.Н.</i> Системы автоматизированного управления установок энергоснабжения	304
<i>Лях Д.А., Веприков А.А.</i> Системы электроснабжения с активными преобразователями для мощных установок постоянного тока.....	307
	607

<i>Малахов В.А., Малахова И.М.</i> Определение трибологических свойств пластичных смазок, используемых в горнотранспортных машинах, для решения задачи импортозамещения.....	310
<i>Рыльникова М.В., Айнбиндер И.И., Митишова Н.А.</i> Анализ условий взрывания сульфидной пыли и способов их предотвращения при ведении горных работ.....	316
<i>Пеленев Д.Н., Бабырь К.В.</i> Обеспечение селективного действия защиты от однофазных замыканий на землю горнодобывающих предприятий.....	322
<i>Рыльникова М.В., Струков К.И., Гоготин А.А.</i> Обоснование условий утилизации хвостов обогащения золотосодержащих руд в закладке выработанного пространства для обеспечения промышленной и экологической безопасности освоения Кочкарского месторождения на больших глубинах	326
<i>Федотенко В.С., Есина Е.Н.</i> Определение рациональных технологических параметров отработки угольных месторождений высокими вскрышными уступами.....	331
<i>Радченко Д.Н., Клебанов Д.А., Рыльников А.Г.</i> Особенности формирования горнотехнических систем в зависимости от факта и частоты присутствия человека в рабочих зонах.....	335
<i>Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Еременко В.А.</i> О создании конвергентных геотехнологий подземной разработки месторождений твердых полезных ископаемых.....	340
<i>Каплунов Д.Р., Радченко Д.Н.</i> Развитие теоретических основ проектирования горнотехнических систем для их устойчивого долговременного функционирования.....	345
<i>Кубрин С.С., Куанг Пьей Аунг</i> Моделирование двухприводного ленточного конвейера с устройством натяжения.....	351
<i>Горностаев В.С., Кубрин С.С.</i> Определение пропускной способности дизелевозного транспорта в шахте	353

ГАЗОДИНАМИКА И РУДНИЧНАЯ АЭРОЛОГИЯ

<i>Бобин В.А.</i> Природоподобные способы повышения фильтрационной проницаемости неразгруженных угольных пластов для добычи из них метана	358
<i>Бобин В.А.</i> Техногенные способы формирования проницаемости неразгруженных угольных пластов – основа технологии заблаговременного извлечения метана	361

<i>Кобылкин А.С.</i> О эффективности приемных платформ приборов пылевого контроля	364
---	-----

ОБОГАЩЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

<i>Соложенкин П.М.</i> Механизм взаимодействия гомологов ксантогенатов с минералами в процессе их флотации по данным компьютерного моделирования	368
--	-----

<i>Нестеров К.Н.</i> Извлечение редкоземельных металлов из продуктов переработки минерального сырья Томторского месторождения	373
---	-----

<i>Петухов В. Н., Смирнов А. Н., Кубак Д.А.</i> Использование структурных и квантово-химических параметров реагентов для обоснования их флотационной активности	377
---	-----

<i>Кузьминых В.М., Сорокин А.П.</i> Влияние минеральных и химических форм нахождения золота на методы его определения и извлечения из бурых углей	381
---	-----

<i>Комогорцев Б.В, Вареничев А.А.</i> Гидрофлот – новая технология для извлечения минеральных частиц повышенной крупности	387
---	-----

<i>Миненко В.Г., Макаров Д.В., Самусев А.Л., Селиванова Е.А., Денисова Ю.Л.</i> Изучение сорбционных свойств материалов на основе сапонитсодержащих отходов.....	390
--	-----

<i>Римкевич В.С., Сорокин А.П., Гиренко И.В., Леонтьев М.А.</i> Эффективная технология комплексной переработки анортозитов.....	393
---	-----

<i>Лавриненко А.А., Гольберг Г.Ю., Лусинян О.Г., Агарков И.И.</i> Обезвоживание дренированием отходов флотации углей с применением флокулянтов	398
--	-----

<i>Абдрахманова З.Т., Шаханов А.М., Ефименко С.А.</i> «On-line» контроль качества входного сырья на Жезказганских обогатительных фабриках ТОО «Корпорация Казахмыс»	401
---	-----

<i>Иванова Т.А., Зимбовский И.Г., Гетман В.В.</i> Взаимодействие диантипирилметана с сульфидными минералами и касситеритом, входящими в состав труднообогатимых оловянных руд.....	407
--	-----

<i>Евсеев В.Н., Вареничев А.А.</i> Карьерные экскаваторы с прямой механической лопатой на современном этапе развития.....	410
---	-----

<i>Лавриненко А.А., Макаров В.Д., Саркисова Л.М., Глухова Н.И., Шрадер Э.А., Кузнецова И.Н.</i> Перспективы применения диалкилдитиофосфинатов для флотации содержащих платиноиды медно-никелевых сульфидных руд	415
<i>Савченко И.Ф., Сорокин А.П., Гиренко И.В., Савченко Т.А.</i> Твердофазная модификация бурых углей 16 месторождений Амурской области с целью получения биологически активных веществ и синтеза кормовых дрожжей	420
<i>Кунилова И.В., Лавриненко А.А., Лусинян О.Г., Гольберг Г.Ю., Чихладзе В.В., Шимкунас Я.М.</i> Золошлаковые материалы как перспективное техногенное сырье для попутного извлечения ценных элементов	424
<i>Афанасова А.В., Конкина Д.А., Николаева Н.В., Александрова Т.Н.</i> Кинетические и термодинамические аспекты флотационной сепарации (на примере сульфидно-углеродистых пород).....	430
<i>Яновский В.В., Кузнецов В.В., Николаева Н.В., Александрова Т.Н.</i> Обоснование эффективного способа оценки прочности полиминерального сырья	432
<i>Фатов А.С., Васильева А.А.</i> Современные гидрометаллургические технологии переработки цирконийсодержащего сырья	435
<i>Анашкина Н.Е.</i> Влияние мощных электромагнитных импульсов на структурные, физико-химические и технологические свойства алмазов и породообразующих минералов кимберлита.....	437
<i>Ахмеджанов Т.К., Нуранбаева Б.М., Берикболов С.Б.</i> Инновационные способы кучного выщелачивания золотосодержащих и урановых руд в открытых горных выработках.....	443
<i>Ахмеджанов Т.К., Нуранбаева Б.М., Игембаев И.Б.</i> Использование тепла солнечной энергии для освоения и повышения нефтеотдачи пластов с высоковязкой нефтью.....	447
<i>Чижевский В.Б., Гришин И.А., Фадеева Н.В., Гмызина Н.В.</i> Применение реагента ВКП при флотации медных руд	451
<i>Мязин В.П., Шуმიлова Л.В.</i> Комплексное освоение угольных месторождений Забайкалья	454
<i>Шевелин И.Ю., Вафин В.Р.</i> Утилизация шламов нейтрализации, образующихся в процессе переработки кислых техногенных вод горных предприятий	459

<i>Леоненко Н.А., Ванина Е.А., Веселова Е.М.</i> Возможности интегрирования оптоволоконных лазеров в процессы обогащения и переработки минерального сырья.....	463
<i>Некрасова М.А.</i> Минералогические исследования при оценке обогатимости железистых кварцитов.....	469
<i>Подкаменный Ю.А., Двойченкова Г.П., Ковальчук О.Е.</i> Закономерности формирования минеральных образований на поверхности природных алмазов измененных кимберлитовых пород	471
<i>Морозов В.В., Морозов Ю.П., Дэлгэрбат Лодой, Тумэн Олзий Батмунх</i> Испытания метода планшетного анализа для визиометрического анализа сортности руды.....	476
<i>Жарменов А.А., Ефремова С.В., Бунчук Л.В., Сухарников Ю.И., Ниязов А.А., Ли Э.М., Шалгымбаев С.Т.</i> Перспективный флото-реагент на основе рисовой шелухи.....	480
<i>Астахова Ю.М., Лебедев А.Н.</i> Минералого-технологические особенности марганцевой руды Тынынского месторождения.....	485
<i>Читалов Л.С., Львов В.В., Элбэндари А.</i> Снижение трудозатрат на получение индекса шарового измельчения бонда через применение альтернативных методик	488
<i>Тимофеев А.С., Двойченкова Г.П.</i> Математическая модель окисления частиц ферросилиция в оборотных водах процессов обогащения кимберлитовых руд.....	492

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР

<i>Серова Н.А.</i> Углеродородный потенциал арктического макрорегиона: состояние и перспективы развития	497
<i>Барабашева Е.Е., Парыгина Р.Ю.</i> Геологический туризм в Забайкалье как социальная проблема освоения недр	499
<i>Латыпов Д.В.</i> Структура себестоимости нерудных строительных материалов в современных условиях при строительстве подземных сооружений	503
<i>Прокофьева Е.Н., Востриков А.В., Полесский С.Н.</i> Разработка эффективных геоинформационных систем в комплексном управлении качеством проектирования	505

<i>Кузьмин М.Б., Красавин А.Г., Усова Т.Ю., Рыжова Л.П.</i> Новые возможности стратегического управления планированием освоения минерально-сырьевой базы руднометаллических месторождений	510
<i>Краденых И.А.</i> Роль и функции менеджмента в деятельности золотодобывающих предприятий	513
<i>Захаров В.Н., Петров И.В., Вартанов С.А., Васин А.А.</i> О принципах организации инспекции качества выполнения производственных обязанностей работниками горнодобывающих предприятий.....	519
<i>Захаров В.Н., Петров И.В., Вартанов С.А., Васин А.А.</i> Построение модели оценки вероятности возникновения чрезвычайных происшествий антропогенного характера.....	526
<i>Лементя О.Ю.</i> Динамические кондиции как инструмент государственного регулирования минерально-сырьевой базы месторождений урана	531

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ РАБОТ

<i>Даувальтер В.А., Кашулин Н.А.</i> Химический состав донных отложений озера Имандра в зоне влияния разработки апатитонепелиновых месторождений	537
<i>Конина О.Т., Светлов А.В., Туртанов А.В., Макаров Д.В., Маслобоев В.А.</i> Технология и реагент для пылеподавления поверхности хвостохранилищ АО «Апатит».....	542
<i>Кочнева А.В.</i> Минеральные отходы для производства композиционных материалов	545
<i>Шевченко Е.Н., Ягмур А.Б., Дроздова Н.А., Краскова О.И.</i> Влияние объекта «Кливаж» на окружающую среду при затоплении шахты «Юный коммунар».....	550
<i>Радченко А.Г., Савченко А.В., Радченко А.А., Шалованов О.Л.</i> Теоретическое обоснование рабочих гипотез формирования и проявления выбросоопасности угольных пластов Донбасса	555
<i>Радченко А.Г., Савченко А.В., Радченко А.А., Ялпуга Е.А.</i> Интенсивность внезапных выбросов угля и газа в ряду метаморфизма и с глубиной	560

<i>Кулабухова К.Г.</i> Эффективное использование метана, обеспечивающее экологическую и промышленную безопасность горных работ	565
<i>Малашкина В.А.</i> Выбор рациональных режимов работы дегазационных установок угольных шахт с участками подземных газопроводов из композитных материалов	568
<i>Воробьева О.В., Романютенко В.И.</i> Анализ причин обрушений на угледобывающих предприятиях России за 1991-2016 гг.....	573
<i>Архипов И.А.</i> Пиролиз – как альтернативный способ утилизации твердых промышленных отходов	576
<i>Стефунько М.С.</i> Антропогенное воздействие кадмия на экосистему при освоении колчеданных месторождений	580
<i>Зайцев С.П., Петров И.В., Сурат И.Л.</i> Эколого-экономические аспекты перехода отраслей топливно-энергетического комплекса России на наилучшие доступные технологии	584
<i>Калачева Л.В.</i> Методология эколого-экономического обоснования развития угольной промышленности на основе «Зеленых» технологий и роста производительности труда.....	588
<i>Рыспанов Н.Б.</i> Закон кучного выщелачивания металлов	591
<i>Балтачев С.А., Петухов М.А., Журавлев А.Г.</i> Установление закономерностей влияния технологических параметров карьера на его геометрические параметры	594
<i>Бояндинова А.А., Адилханова Ж.А.</i> Аспекты корпоративного управления геотехнологическими системами на принципах устойчивого развития	599

**50 ЛЕТ
РОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЕ
КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ
НЕДР ЗЕМЛИ**

Техническое редактирование, компьютерная верстка
и художественное оформление *Н.А. Малышева*

Лицензия ЛР №21037. Подписано в печать с оригинал-макета 25.10.2017 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага «Mega Copy Office». Печать офсетная. Набор
компьютерный. Объем 38.375 п.л. Тираж 250 экз. Заказ № 232.

Институт проблем комплексного освоения недр им. академика
Н.В. Мельникова РАН
111020, Москва, Крюковский тупик, 4.
Издание ИПКОН РАН, 111020, Москва, Крюковский тупик, 4.