

**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**

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

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

**28 октября – 01 ноября 2019 г.**

**Москва  
2019**

УДК 622.013

**Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых.** Материалы  
14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов.  
28 октября – 01 ноября 2019 г. – М: ИПКОН РАН, 2019 – 416 с.

В сборнике опубликованы материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов, посвященные последним достижениям в области теории и технологии комплексного освоения недр Земли. Представлены результаты новых исследований по таким направлениям как геология, техника и технология освоения месторождений твердых полезных ископаемых, геомеханика, разрушение горных пород, обогащение полезных ископаемых. Рассмотрены вопросы, связанные с управлением горного производства, техникой безопасности и охраной окружающей среды, геоэкологией. Освещены экономические аспекты проблемы освоения недр.

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

**Редакционный совет:** член-корреспондент РАН *В.Н. Захаров* (председатель), академик РАН *К.Н. Трубецкой*, академик РАН *В.А. Чантурия*, член-корреспондент РАН *Д.Р. Каплунов*, *И.И. Айнбиндер*, *А.З. Вартаков*, *С.Д. Викторов*, *Е.В. Красюкова*, *И.М. Малахова*, *О.Н. Малинникова*, *Т.Н. Матвеева*, *Н.А. Милетенко*, *В.Н. Одинцев*, *П.Г. Пацкевич*, *М.В. Рыльникова*, *А.Л. Самусев*, *М.С. Стефунько*, *В.А. Трофимов*, *И.В. Шадрунова*, *Е.Д. Якушева*.

*Финансовая поддержка оказана  
Российским фондом фундаментальных исследований  
Грант РФФИ № 19-05-20141*

Информационную поддержку оказали научно-технический  
и производственный журнал «Маркшейдерия и недропользование»,  
«Маркшейдерский вестник», «Горный журнал Казахстана»

ISBN 978-5-6041084-8-2

© ИПКОН РАН, 2019

# ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

## АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОГО ОСВОЕНИЯ ГОРЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Академик РАН Трубецкой К.Н.

Президиум РАН

Милетенко Н.А.

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

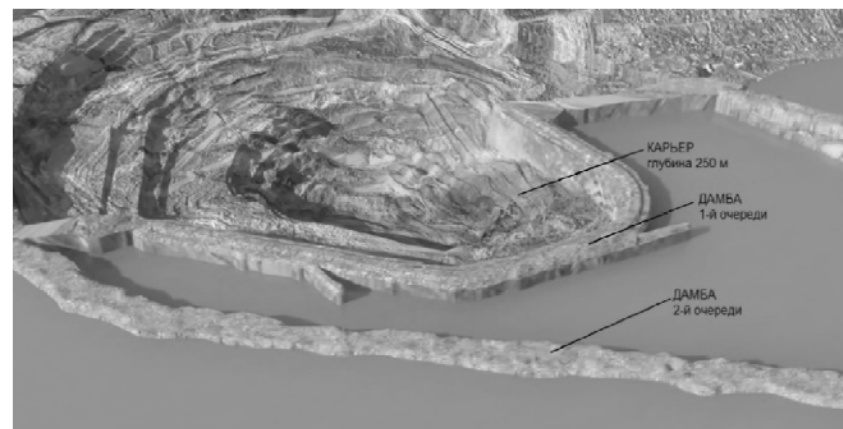
Эффективное освоение недр возможно в случае успешного решения комплекса вопросов – экономических, социальных и экологических. Именно такой подход позволит создать платформу для дальнейшего освоения Горевского месторождения свинцово-цинковых руд, которое является уникальным и по запасам металлов и по качеству руд. Сейчас на нем добывают и перерабатывают 2,5 миллиона тонн руды в год. По последним данным его запасы составляли свыше семи миллионов тонн свинца, почти два миллиона тонн цинка и около шести тонн серебра. Работы на месторождении осложняет его положение, поскольку Горевское находится прямо на берегу реки Ангара в Мотыгинском районе Красноярского края, а часть рудных тел уходит под русло. Необходимость разработки карьера определила строительство защитной дамбы, которая пододвинула Ангару почти на триста метров.

За дамбой первой очереди запасов осталось на восемь лет, поэтому к строительству готовится вторая очередь, соответственно, наступление на русло будет продолжено. Сейчас в этом месте ширина Ангары составляет 2,4 километра, и новая дамба подвинет реку на километр.

Особенность этого месторождения заключается и в том, что разрабатываемое на данный момент открытым способом, в перспективе оно планируется к отработке комбинированным открыто-подземным [1-3]. При этом глубина карьера, составляющая на сегодня 250 м, будет увеличена до 500 м. Из междамбового пространства будет откачана вода и дамба 1-й очереди будет разобрана (Рис.1) [4].

В этой связи вопросам оценки гидрогеологических условий разрабатываемого месторождения необходимо уделить особое внимание, поскольку наиболее остро на «Горевском ГОКе» стоит проблема с загрязнением гидросферы [1-3,5]. Загрязнение карьерных вод происходит в основном мелкодисперсными взвешенными частицами, которые обра-

зуются при бурении взрывных скважин, дроблении пород взрывным способом, погрузочных и транспортных работах. Высокий уровень механизации горных работ также оказывает влияние на загрязнение карьерных вод нефтепродуктами. В связи с большим разнообразием качественно-количественного состава и свойств сточных вод на карьере применяют следующие методы очистки и обеззараживания: от взвешенных веществ, минеральных солей, солей тяжёлых металлов, органических и бактериальных загрязнений.



а)



б)

**Рис.1. Динамика изменения состояния карьерного поля:**  
а) при глубине карьера 250 м и наличии дамбы 1-й и 2-й очереди;  
б) при увеличении глубины карьера до 500 м наличии дамбы 2-й очереди

Сложность гидрогеологических условий месторождения также связана с тектоническим строением и неравномерной проницаемостью пород. Карьерные воды образуются в результате накопления смешанных подземных и поверхностных природных вод, насыщенных мелкодисперсными взвешенными частицами добываемого минерального сырья и вмещающих пород, которые образуются при работе погрузочных и транспортных средств. В связи с высоким уровнем механизации горных работ происходит загрязнение карьерных вод нефтепродуктами. По трубам вода выводится за пределы карьерного поля и сбрасывается в дренажную канаву, по которой она стекает в отстойник, где происходит осветление сточных вод. Этот способ прост в техническом отношении и достаточно экономичен.

На предприятии предусмотрен комплекс мер по контролю за охраной окружающей среды и промышленной санитарии, однако, на данный момент не предложен способ защиты от значительных объемов выводимых из зоны разработки месторождения агрессивных вод. Необходимо также предусмотреть развитие специальных исследований по взаимодействию геомеханических и гидрогеологических процессов в связи с возможным движением массива горных пород при увеличении масштаба техногенного воздействия на геосреду. В частности, необходимо рассмотреть гидрогеомеханическую проблему перехода с открытой добычи на подземную с учетом возможностей образования в налегающей толще пород открытых трещин разрыва, которые могли бы быть причиной прорыва поверхностных вод в подземные горные выработки [6-10].

В этих исследованиях должны быть использованы методы математического моделирования геопроцессов и разработана система инструментального геомониторинга за движением массива горных пород.

Особенность разработки данного месторождения также сопряжена с близостью расположения 3-х рабочих поселков к горному предприятию. Поэтому переход на подземные работы требует максимально осторожного отношения к решению вопросов его освоения, в том числе, в сочетании с уникальностью природно-ландшафтной территории реки Ангара и определяет системность подхода по обеспечению безопасного ведения горных работ посредством определения просачивания воды в карьер, мониторинг состояния массива горных пород, контроль за поведением выводимых за пределы разрабатываемого участка агрессивных вод в рамках стратегической комплексной экологической программы защиты, которая бы минимизировала причиняемый вред.

#### Список литературы

1. Винницкий К.Е., Трубецкой К.Н. Определение границ открытых горных работ в сложных горнотехнических условиях // Горный журнал. – 1964. – №6, С. 14-19.

2. Винницкий К.Е., Трубецкой К.Н. Исследование основных вопросов открытой разработки месторождений в сложных природных условиях. М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1964, 46 с.

3. Трубецкой К.Н. О совместном вскрытии карьерного и шахтного полей при комбинированной разработке месторождений // ФТПРПИ.-1968. – №7. – С.58-63.

4. <https://www.youtube.com/watch?v=fUNkzQZaprg>. Материалы ООО «Новоангарский обогатительный комбинат».

5. Оценка гидрогеологических условий разработки Горевского месторождения свинцово-цинковых руд Трубецкой К.Н., Милетенко Н.А. XV International Conference of the Open and Underwater Mining of Minerals. Varna, 2019 г. Р. 101-104.

6. Трубецкой К.Н., Иофис М.А., Милетенко И.В., Милетенко Н.А. и др. Проблемы комплексного гидрогеологического и геомеханического техногенного воздействия на геосреду. В сб. Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды – Екатеринбург: Институт горного дела УрО РАН, 2012. – С. 23-28.

7. Трубецкой К.Н., Милетенко Н.А. Негативные последствия взаимовлияния гидрогеологических и геомеханических процессов при освоении недр. В сб. «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения недр». – М.:ИПКОН РАН, 2014. – С.172-177.

8. Иофис М.А., Одинцев В.Н., Блохин Д.И., Шейнин В.И. Экспериментальное выявление пространственной периодичности наведенных деформаций массива горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2007. – № 2. – с. 21-27.

9. Одинцев В.Н., Милетенко Н.А., Федоров В.Н. Новый методологический подход к решению задач экологической геомеханики и безопасности. В сб. «Научные основы безопасности горных работ». – М: ИПКОН РАН, 2018, С.168-174.

10. Милетенко Н.А., Одинцев В.Н. Моделирование прорыва воды из наземного резервуара в подземную горную выработку // Маркшейдерский вестник. – 2016. – № 4. – С. 40-44.

### **СПЕЦИФИКА И ИННОВАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ ПРОЕКТА ФЕДЕРАЛЬНЫХ НОРМ И ПРАВИЛ В ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ «ПРАВИЛА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ И УСТУПОВ КАРЬЕРОВ, РАЗРЕЗОВ И ОТВАЛОВ»**

**Рыльникова М.В., Есина Е.Н., Никифорова И.Л.**

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

Современные тенденции интенсивного освоения месторождений полезных ископаемых, усложнение горно-геологических и горнотехнических условий ведения горных работ требуют соответствующего

изменения технологического и экономического уровня горного производства за счет внедрения инновационных ресурсосберегающих геотехнологий, отвечающих прогрессивным научным идеям и технологическим инновациям. Это, в свою очередь, вызывает необходимость совершенствования нормативной базы проектирования, регламентирующей безопасное и эффективное освоение недр[1]. Действующие в настоящее время нормативные требования к промышленной и экологической безопасности открытой геотехнологии разработаны в начале второй половины прошлого столетия и не всегда соответствуют возможностям современной техники, инновационного технологического развития и потребностям мирового рынка [2].

В ответ на запросы крупных горнодобывающих компаний о необходимости обновления нормативных документов с учетом современных методических достижений и технологий ИПКОН РАН при поддержке Ростехнадзора принял на себя роль инициатора проекта по разработке Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов» (далее – ФНП), способствующих повышению экономической эффективности и безопасности разработки месторождений открытым способом в современных условиях.

Для разработки такого крупного и значимого нормативно-методического документа, регламентирующего правила по обеспечению устойчивости откосов бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов, учитывающей накопленный мировой опыт и достижения горной науки, впервые в практике нормотворческой деятельности в области промышленной безопасности сформирован уникальный коллектив исполнителей. В работе над новыми ФНП под руководством ИПКОН РАН объединены и скоординированы усилия коллективов ведущих специализированных проектных организаций, представителей академической и вузовской науки, профессиональных сообществ и ведущих специалистов в области открытых горных работ, представляющих ИПКОН РАН, ИГД УрО РАН, НИТУ МИСиС, СПбГУ, МГРИ-РГГРУ, ЯкутНИПРОалмаз ПАО «Алроса», ОАО «ВНПОГЕМ», МГТУ им. Г.И. Носова и др. Участие в разработке и финансировании проекта ФНП в целях более полного учета особенностей освоения разрабатываемых ведущими горными компаниями месторождений принимают АО «МХК «ЕвроХим», ООО УК «Металлоинвест» (ПАО «Михайловский ГОК», АО «Лебединский ГОК»), ПАО «ФосАгро», АК «АЛРОСА» (ПАО) и др.

Инновационная направленность проекта ФНП заключается в ориентации проекта на развивающиеся и находящиеся в разработке

перспективные открытые геотехнологии. К их числу относятся геотехнологии с интеллектуальным горнотранспортным оборудованием, оснащенным элементами искусственного интеллекта, применение искусственных берм, высоких вскрышных уступов, комплексов и систем возобновляемой энергетики, автоматизированных систем проектирования, оборудования для интерактивного мониторинга состояния горных массивов и подрабатываемых территорий поверхности в режиме онлайн, инновационных средств исследований свойств, структуры и состояния горного массива[3-6]. В практике проектирования горнотехнических систем все чаще применяются трехмерное моделирование с помощью различных программ, достоинствами которых, в частности, являются возможность объемного представления инженерно-геологической информации, учет специфики структурных особенностей массива горных пород с учетом риска развития критических деформаций. Реализация указанных открытых геотехнологий позволит оптимизировать параметры бортов и уступов карьеров и отвалов, повысить полноту освоения месторождений твердых полезных ископаемых открытым и комбинированным способами при обеспечении требуемого уровня безопасности горных работ, синхронизировать разрабатываемые в России проекты освоения недр с международными стандартами и мировой практикой.

Находящийся в настоящее время в стадии завершения разработки проект ФНП состоит из основной части и приложений, состоящих из блоков общих положений, методов инженерно-геологического изучения массива горных пород, методов, порядка оценки и способов управления устойчивостью откосов, методических положений по мониторингу состояния бортов и оценке рисков развития деформаций бортов карьеров, разрезов и отвалов. При подготовке ФНП дифференцированы требования и рекомендации по видам добываемого минерального сырья, учтена специфика горнотехнических и региональных климатических условий. В рамках проекта будут подготовлены методические рекомендации для практического обеспечения требований ФНП, обеспечена возможность развития и корректировки приложений к ФНП в динамике [7].

Проект получает широкую информационную апробацию. Подробная информация о продвижении проекта и структуре разрабатываемого документа представлена на сайте <http://opst.ипконран.рф>. На сайте оперативно обновляется информация об этапах реализации проекта, рабочие версии разрабатываемого документа, информация о Круглых столах, совещаниях по рассмотрению проекта. Результаты работ регулярно докладываются на международных и региональных конференциях и совещаниях.

Разработка утвержденного в соответствии с действующим законодательством нормативного документа, соответствующего вышеуказанным требованиям, необходима как недропользователям, специализированным проектным организациям, специалистам в области открытых горных работ, так и экспертным органам. Утверждение и реализация Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов» будет способствовать повышению экономической эффективности и обеспечению 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. Эта первая инициатива станет основой для дальнейшего совершенствования нормативно-методической и законодательной базы в области проектирования, строительства и эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

#### Список литературы

1. Трубецкой К. Н. Наука и горная промышленность // Горный журнал. 2015. № 7. С. 19-23.
2. Зотеев В. Г., Зотеев О. В. О необходимости совершенствования нормативно-методической базы по геомеханическому обеспечению открытых горных работ // Горный журнал. 2010. № 1. С. 66–68.
3. Рыльникова М. В., Владимиров Д. Я., Федотенко В. С., Есина Е. Н. Применение интеллектуальных систем и технологий при открытой разработке угольных месторождений с высокими вскрышными уступами / Горный журнал. – 2018. – № 1.
4. Ливинский И. С., Митрофанов А. Ф., Макаров А. Б. Комплексное геомеханическое моделирование: структура, геология, разумная достаточность // Горный журнал. 2017. № 8. С. 51–55.
5. Цирель С. В., Павлович А. А. Проблемы и пути развития методов геомеханического обоснования параметров бортов карьеров // Горный журнал. 2017. № 7. С. 39-45.
6. Резниченко С. С., Сытенков В. Н., Наимова Р. Ш. Организация комплексной системы мониторинга устойчивости бортов и уступов глубоких карьеров с использованием современного геодезического оборудования // Рациональное освоение недр. 2017. № 2. С. 56–67.
7. Рыльникова М. В., Зотеев О. В., Никифорова И. Л. Развитие нормативной базы в области обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов // Горная промышленность. 2018. №3. С.95-98.

## НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПУСТОТНОСТИ ПОДРАБОТАННОГО МАССИВА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГИДРОГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА

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

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

В рамках реструктуризации горнодобывающей промышленности Донецкой Народной Республики (ДНР) осуществляется остановка работы подземных водоотливных комплексов ликвидируемых шахт с переходом на управление гидродинамическим режимом с помощью погружных насосов, предполагающая частичное или полное затопление выработанного пространства. Подавляющее большинство затапливаемых горнодобывающих предприятий, расположено в пределах городских агломераций с высокой плотностью жилой и промышленной застройки. Затопление выработанного пространства влечет за собой активизацию негативных геомеханических и гидрогеологических процессов в массиве горных пород, что создает угрозу безопасности, как объектам поверхности, так и смежным горнодобывающим предприятиям. При этом ключевым вопросом охраны земной поверхности является точность и объективность гидрогеологических прогнозов, которые лежат в основе определения скорости, сроков и безопасной глубины затопления.

Одной из определяющих задач при составлении достоверного гидрогеологического прогноза, является оценка пустотности массива. В настоящее время используется несколько методов определения данного параметра ( $k_{п}$ ): по данным бурения; по опыту затопления методом аналогий. Однако в подавляющем большинстве случаев указанные методы не дают удовлетворительных результатов, что связано в первую очередь с недостатком экспериментальных данных. Нормативный документ [1], по сути, не дает возможности определения пустотности в виду широкой разбежки значений  $k_{п}$ . Например, при определении объемов затопления старых горных выработок 17-17 бис над действующими горными работами шахты им. А.А. Скочинского при применении коэффициента пустотности  $k_{п}$  в диапазоне 0,3-0,6 [1], объемы, зависей в массиве воды, варьируются от 2,5 до 5 млн. м<sup>3</sup>, что принципиально различным образом влияет на принятие инженерных решений.

Целью данной работы является разработка нового подхода оценки пустотности выработанного пространства.

Идея работы заключается в сравнении объема выработанного пространства и объема мульды сдвижения на земной поверхности. При этом нормированный дефицит объемов и даст расчетный коэффициент пустотности  $k_{II}$ .

Итак, искомое значение определяется формулой:

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

где  $\eta(x, y)$  – оседания земной поверхности,  $\Omega$  – область мульды сдвижения,  $V$  – объем выработанного пространства.

Отметим, что полученное выражение складывается из двух компонент: 1) непосредственно пустотность в зоне выработанного пространства; 2) общее разуплотнение (как с разрывом сплошности так и без последнего) подработанного массива при формировании напряженно-деформированного состояния массива под воздействием очистных выработок.

Основными факторами, влияющими на  $k_{II}$  являются: геометрические параметры выработанного пространства, глубина отработки, угол падения, параметры сдвижения в данном горнопромышленном районе.

Для оценки остаточной пустотности массива в условиях Донецко-Макеевского района Донбасса было проведено имитационное моделирование. Геометрия выработанного пространства по простиранию и падению горных пород изменялась в диапазоне от 200 м до 2000 м. Глубина отработки от 200 до 1400 м, падение пологое. Число расчетных вариантов – 968.

Для каждого расчетного варианта вычислены значения объема лавы и мульды сдвижения. Параметры мульды рассчитаны на основании действующих «Правил подработки...» [2].

На основании полученных данных построены карты распределения коэффициента общей пустотности  $k_{II}$  в зависимости от размеров выработанного пространства нормированных относительно глубины отработки. Пример карт распределения по выборочным глубинам приведен на рисунке 1.

Данный подход дает принципиальную возможность совместного рассмотрения карт распределения для различных горнотехнических ситуаций и позволяет установить типовые закономерности распределения  $k_{II}$ . На рисунке 2 представлена совмещенная карта распределения.

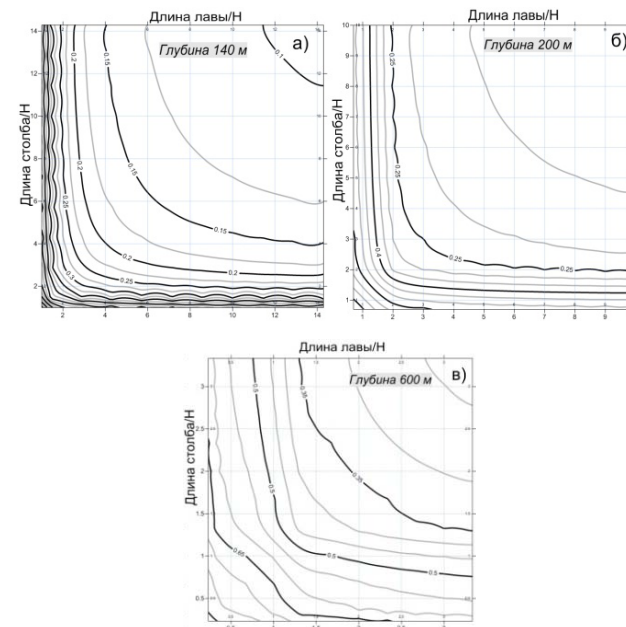


Рис. 1. Распределение коэффициента общей пустотности  $k_{II}$  в зависимости от нормированных параметров

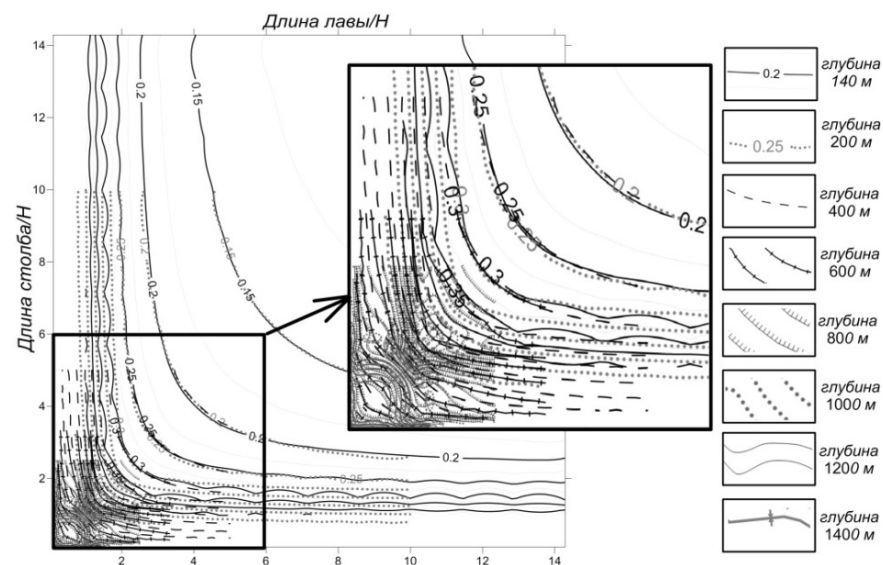


Рис. 2. Совмещенная карта распределения  $k_{II}$

Анализ полученных результатов позволяет выявить закономерности в характере распределения значений коэффициента пустотности. Обратим внимание, на факт совпадения численных значений  $k_{\text{Д}}$ , рассчитанных для различных глубин. Указанный факт свидетельствует об универсальности сформулированного интегрального подхода и фактически устанавливает типовые распределения, которые могут быть использованы при решении широкого ряда практических гидрогеомеханических задач.

### Список литературы

1. Методические указания по оценке гидрогеологических условий ликвидации угольных шахт, обоснованию мероприятий по управлению режимом подземных вод и обеспечению экологической безопасности [Текст]. – М.: ИПКОН РАН, 1997. – 24 с.
2. ГСТУ 101.00159226.001-2003. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом [Текст]. – Введ. 01.01.2004. – К.: 2004. – 128 с.

## СЕЙСМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

**Добрынин А.А.**

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

**Добрынин И.А.**

*Общество с ограниченной ответственности  
«Газпром георесурс» (ООО «Газпром георесурс»)*

Горные предприятия по известным причинам, рано или поздно, заканчивают своё существование, в связи с чем необходим демонтаж различных строений, которые бывают высокими и массивными. Кроме того, в процессе продолжительной работы многие строения горного производства, а также различные здания и сооружения поселений горняков приходится реконструировать, полностью или частично демонтировать, что, оказывается сделать бывает не просто и это подтверждается печальными данными статистики, представленной в табл. 1.

Таблица 1 – Инциденты при демонтаже строений на горных предприятиях

| Место инцидента                                    | Дата       | Описание или вероятная причина инцидента                                    | Пострадавшие (раненые, покалеченные) | Жертвы |
|----------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------|
| 1                                                  | 2          | 3                                                                           | 4                                    | 5      |
| Поселок Дебин на Кольме                            | 03.08.2018 | нарушение техники безопасности при демонтаже ЛЭП                            | -                                    | 1      |
| Шахта Алмазная, г. Гуково, Ростовская область      | 24.07.2018 | частичное обрушение здания дробильно-сортировочного отделения при демонтаже | -                                    | 2      |
| Комбинат «Магnezит», г. Сатка, Челябинской область | 25.04.2018 | обрушение ж/б бункера при демонтаже                                         | -                                    | 1      |
| ООО «Красноярский цемент»                          | 18.04.2018 | ликвидация отказа заряда ВВ при демонтаже трубы взрывом                     | -                                    | 1      |
| Завод УГМК, г. Ревда, Свердловской области         | 22.03.2018 | при демонтаже старой конструкции рухнула стена                              | -                                    | 1      |
| Высокогорский ГОК, Нижний Тагил                    | 26.07.2017 | падение ж/б плиты при демонтаже                                             | -                                    | 1      |

| 1                                                                         | 2          | 3                                                                                 | 4 | 5 |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| Высокогорский ГОК,<br>Нижний Тагил                                        | 02.11.2016 | обрушение крыши при демонтаже здания складочного комплекса шахты «Магнетитовая»   | - | 1 |
| Пос. Рудничный,<br>Кировская область                                      | 24.08.2014 | падение с высоты при демонтаже здания флотационной фабрики                        | 1 | - |
| Обогатительная фабрика, Донецк,<br>Ростовская обл.                        | 27.04.2014 | падение экскаватора с четвертого этажа здания демотируемой обогатительной фабрики | - | 1 |
| ОАО Асбест,<br>Свердловская область                                       | 14.02.2013 | обрушение стены при демонтаже                                                     | - | 1 |
| посёлок шахты<br>«Ягуновская»,<br>Кемеровская область                     | 09.08.2011 | обрушение кровли при демонтаже здания                                             | 5 | 1 |
| Корпорация<br>«Казахмыс»,<br>пос. Карагайлы,<br>Карагандинская<br>область | 25.08.2009 | обрушение пролётов перекрытия при демонтаже обогатительной фабрики                | - | 1 |
| Межгорье, Белорецкий район,<br>Башкортостан                               | 23.04.2007 | обрушение здания обогатительной фабрики при демонтаже                             | 1 | 4 |

Ежегодно более тысячи ненужных массивных строений демонтируются в мире взрывным способом. Во времена СССР, когда этим вопросом, в основном, занимались три треста: Союзвзрывпром, Трансвзрывпром и Союзмелиовзрывпром, в составе которых были десятки специализированных подразделений, взрывной способ демонтажа строений применялся достаточно часто, можно сказать регулярно. Сегодня в России взрывной способ демонтажа строений применяется эпизодически, в значительно меньших масштабах, чем это требуется [1], поэтому в населённых пунктах, а также в промышленных зонах горных предприятий можно встретить заброшенные строения, представляющие угрозу для общества, т.к. гибнут люди, в т.ч. дети [2].

Кроме известных опасных факторов (разлёт кусков разрушаемого строения, ударная воздушная волна и сейсмическое действие взрыва зарядов ВВ) при производстве взрывных работ в городских или промышленных, так называемых, стеснённых условиях, есть ещё один фактор, характерный именно для такого вида работ – это сейсмическое действие, возникающее вследствие удара массивного строения о грунт во время его обрушения.

Вопрос оценки сейсмической безопасности при обрушении высоких массивных строений до сих пор остаётся открытым, следствием чего является отсутствие, приемлемой для специалистов, универсальной методики инженерного проектирования, включающей определение безопасных условий для сохранения охраняемых объектов (ОО), расположенных вблизи обрушаемых зданий и сооружений.

Одним из наиболее известных в мире способов защиты строений от сейсмических волн, возбуждаемых взрывными работами, различными вибрациями, ударами при падении, обрушении массивных строений, является способ, предусматривающий устройство траншей или щелей, так называемых сейсмических барьеров, между источником возбуждения сейсмических волн и ОО [3-5].

Например, лабораторные эксперименты по ультразвуковому моделированию рэлеевской волны, проведённые в Университете Лафборо, показали, что сейсмические барьеры обеспечивают эффективное подавление волны Рэлея, амплитуда которой может быть снижена в несколько раз [6].

Эффективность использования сейсмических барьеров объясняется тем, что энергия сейсмических волн при распространении в геологической среде с расстоянием постепенно падает, что связано, кроме прочего, с затуханием на неоднородностях среды, на которых происходит преломление и отражение сейсмических волн [7].

Использование в качестве сейсмических барьеров открытых траншей при обрушении взрывным способом строений в г. Иваново позволило сохранить без каких-либо повреждений все окружающие ОО, в т.ч.

ветхое кирпичное, с многочисленными трещинами, здание склада, торцевая стена которого располагалась на расстоянии всего 16,5 м от обрушенного корпуса элеватора высотой свыше 40 м, массой около 23 тыс. т. [2]. Согласно проектным расчётам, при отсутствии барьера, вряд ли бы зданию склада удалось сохраниться без повреждений.

### Список литературы

1. Ваннах М. Почему в России перестали взрывать дома? // Бизнес-журнал. – 2013. – № 5. – с. 84-89.
2. Александр Добрынин, Виталий Губайдуллин Безопасные работы при обрушении высоких строений // Охрана труда и техника безопасности в строительстве. – 2018. – № 12. – с. 24-29.
3. Li Ma, Kemin Li, Shuangshuang Xiao, Xiaohua Ding, Sydney Chinyanta. Research on Effects of Blast Casting Vibration and Vibration Absorption of Pre-splitting Blasting in Open Cast Mine / Shock and Vibration. Volume 2016, Article ID 4091732, 9 pages.
4. Dengfeng Su, Yong Kang, Dongyang Li, Xiaochuan Wang, Fuwen Yan. Analysis and Numerical Simulation on the Reduction Effect of Stress Waves Caused by Water Jet Slotting Near Blasting Source / Shock and Vibration, Volume 2016, Article ID 5640947, 18 pages.
5. Giovanni Leonardi, Michele Buonsanti. Reduction of Train-induced Vibrations by using Barriers / Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 7(17): 3623-3632, 2014. ISSN: 2040-7459; e-ISSN: 2040-7467 © Maxwell Scientific Organization, 2014.
6. A. Azbaid El Ouahabi, V.V. Krylov. Reduced-scale ultrasonic modelling of Rayleigh wave transmission over seismic barriers / Presented at the 27th International Conference on Noise and Vibration Engineering, (ISMA 2016), Leuven, Belgium, 19th-21st Sept., pp. 1829-1842.
7. Добрынина А.А., Саньков В.А., Девершер Ж., Чечельницкий В.В. Факторы, влияющие на затухание сейсмических волн в литосфере в зонах континентального рифтогенеза / GEODYNAMICS & TECTONOPHYSICS, 2017 VOLUME 8 ISSUE 1 pp. 107–133.

## ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ И УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ УПОРНОГО ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО КОНЦЕНТРАТА

Самусев А.Л., Миненко В.Г.

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

Современной проблемой золотодобывающей отрасли России является нарастание в структуре минерально-сырьевых запасов упорных сульфидных руд, переработка которых традиционным методом цианид-

ного выщелачивания характеризуются недостаточным извлечением золота. Одним из эффективных и альтернативных цианированию методов является выщелачивание водными растворами хлора (гидрохлорирование), характеризующимися высокой окислительной и растворяющей способностью по отношению к золоту. Метод основан на окислении золотосодержащих сульфидов водными растворами активного хлора, с образованием устойчивого комплекса  $[\text{AuCl}_4]^-$ . В предыдущих работах был научно обоснован метод химико-электрохимического выщелачивания золота, заключающийся в использовании в качестве растворителя продукта электрохимической обработки раствора хлорида натрия с содержанием активного хлора (гипохлорита) до 2 г/дм<sup>3</sup>. При этом процессы электрохимического получения активного хлора и растворения золота совмещены в одном технологическом аппарате. Определены рациональные параметры химико-электрохимического выщелачивания.

К перспективным методам интенсификации выщелачивания упорного золотосодержащего сырья относятся использование различных видов энергетических воздействий (электрохимические, ультразвуковая и УФ-обработка суспензий, энергия ускоренных электронов, мощные электромагнитные импульсы и др.). Так, использование ультразвука получает все большее распространение в различных гидрометаллургических процессах (вскрытие упорных руд, активация реагентов-растворителей, выщелачивание концентратов, экстракция и электролиз металлов и др.). Воздействие ультразвуковых волн на суспензию вызывает эффект кавитации, заключающийся в образовании, пульсации и захлопывании микропузырьков газа, что способствует высокоскоростным столкновениям твердых частиц, увеличению количества микропор на поверхности минералов и облегчает диффузию раствора. Данные процессы способствуют значительному увеличению скорости протекания химических процессов.

В работе исследовано влияние ультразвуковых воздействий на эффективность химико-электрохимического выщелачивания золотосодержащего концентрата Васильковского месторождения.

Методом растровой электронной сканирующей микроскопии установлено, что ультразвуковая обработка суспензии в процессе химико-электрохимического выщелачивания золота приводит к удалению с поверхности арсенопирита окисленных пленок (гидроксидов железа, элементной серы и др.) и образованию многочисленных микродефектов (трещин, микропор, сколов граней) (рис. 1 а). Выявлено образование взвеси тонкодисперсных (менее 7-10 мкм), шламовых частиц, элементный состав которых близок к исходному арсенопириту, с примесями Si и Al (рис. 1 б), что подтверждает интенсивное диспергирование минеральной суспензии за счет ультразвуковых воздействий.

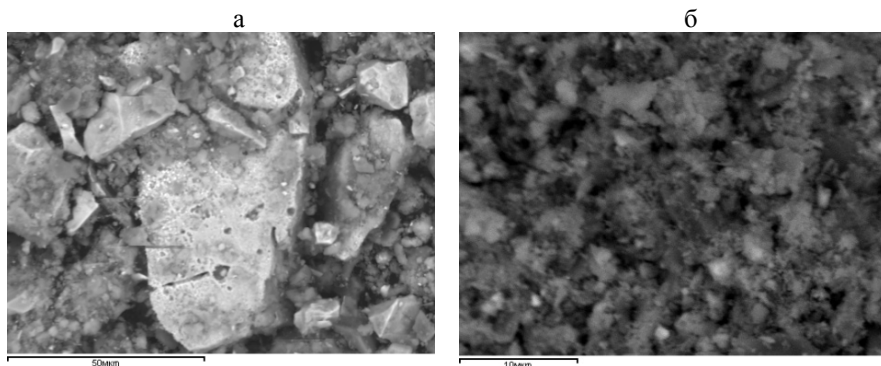


**Рис. 1. Микрофотографии поверхности арсенопирита и взвеси образующейся при выщелачивании концентрата с использованием ультразвука**

В работе определены основные факторы (продолжительность ультразвуковой обработки и температура суспензии) влияющие на эффективность образования гипохлорит-ионов в процессе химико-электрохимического выщелачивания.

В результате поисковых исследований по выщелачиванию упорного золотосодержащего концентрата установлено, что периодическая ультразвуковая обработка приводит к повышению уровня извлечения золота на 15-20 %.

## **СОЗДАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ЯДЕРНОГО ПОЛИГОНА**

**Умирбаева А.<sup>1</sup>, Нурпеисова М.<sup>1</sup>, Левин Е.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Satbayev University, Алматы, Республика Казахстан,*

<sup>2</sup>*Мичиганский технологический университет, г.Мичиган, США*

Во время «холодной войны», Центрально-Азиатский регион обеспечивал советскую программу развития атомного оружия, включающую добычу урановых руд и проведение ядерного оружия. Наиболее интенсивная деятельность в рамках этой программы проводилась на территории Республики Казахстан. Около 70% всех ядерных испытаний бывшего СССР, проведено на территории Казахстана. Большая часть из них была проведена на СИЯП. Здесь проводились испытания первой в СССР атомной (1949 г.) и первой в мире водородной (1953 г.) бомб. Полигон расположен на землях трех областей: Восточно-

Казахстанской, Павлодарской и Карагандинской. За время функционирования СИП (1949-1989 г.г.) на его территории было проведено 456 ядерных испытаний, в том числе 86 – воздушных, 340 – подземных и 30 – контактных [1].

После закрытия полигона прекратилась охрана его границ. Это привело к свободному доступу населения практически на всю территорию полигона, которую начали использовать для хозяйственной деятельности, в том числе и несанкционированной на радиационно-опасных участках (в основном выпас скота и заготовка кормов). И это обстоятельство явилось причиной проведения интенсивных исследований характера и уровня загрязнения территории полигона с целью определения последствий ядерных взрывов и проведения мониторинга радиационно-опасных объектов.

Возрастающая практическая значимость эколого-географического картографирования при региональных исследованиях определяют потребность в разработке методов, приемов и подходов картографического анализа экологического состояния для отдельных регионов, как Семипалатинский испытательный полигон (СИП). Карты незаменимы при исследованиях с точной территориальной привязкой. Карты сопровождают многие направления экологических исследований и служат рабочим инструментом, а так же итоговым документом.

Наиболее эффективно в создании экологических карт является ГИС технология, позволяющей не только сохранить имеющиеся данные и обеспечить к ним легкий доступ, но и провести моделирование, результаты которого можно совместить с географическими и космическими снимками исследуемого региона. Все составные части ГИС СИП представленные на рис.1, связаны между собой [2].

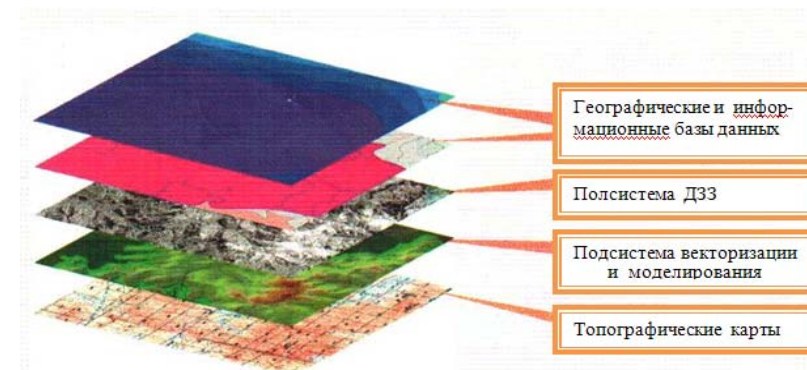


**Рис. 1. Геоинформационная система СИП**

Основным инструментом, объединяющим подсистемы в единую ГИС, служат пакет ArcInfo. Он представляет собой один из наиболее мощных инструментов для создания географических информационных систем.

Результаты радиоэкологических исследований, проводимых на территории СИП в 2010-2012 гг., выявили участки значительного радиоактивного загрязнения ядерными материалами (рис.2). Основная часть радионуклидов, образовавшихся во время взрывов, выпала непосредственно в местах испытательных площадок («Опытное поле», «Балапан», «Дегелен», «Сары-Узень»)[3].

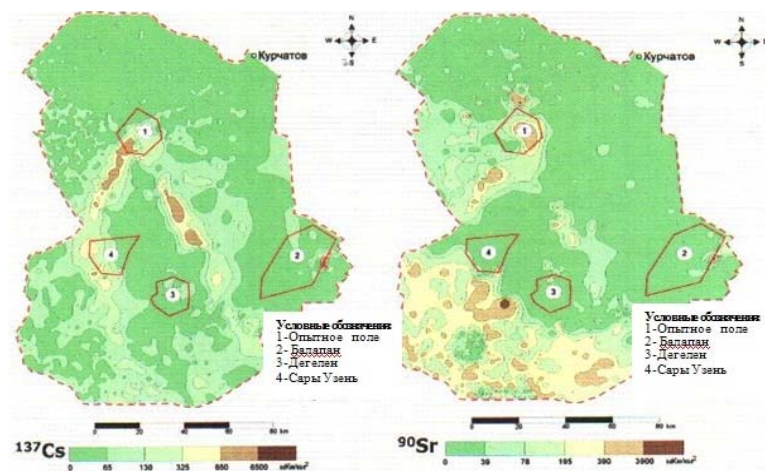


Рис.2. Карта площадного загрязнения

Для выявления техногенных объектов на территории «Балапан» были изучены космоснимки, которые позволили выявить ряд объектов, включая крупные эпицентры. Затем проводились полевые выезды с целью инвентаризации техногенных объектов и оценки степени техногенной нарушенности природного ландшафта. В юго-восточной части Семипалатинского полигона было проведено два подземных ядерных испытания с выбросом грунта – «Телькем-1» (21.10.1968 г.). Образованная групповым взрывом воронка заполнилась водой (рис.3, а и б). Атомное озеро образовалось в результате экскавационного термоядерного взрыва мощностью 140 килотонн (рис.3, в). После взрыва появилась воронка диаметром 400 м и глубиной больше 100 м. Радиационное загрязнение земли вокруг этого озера составило порядка 3-4 км. Вот такое ядерное наследство СИП [4].

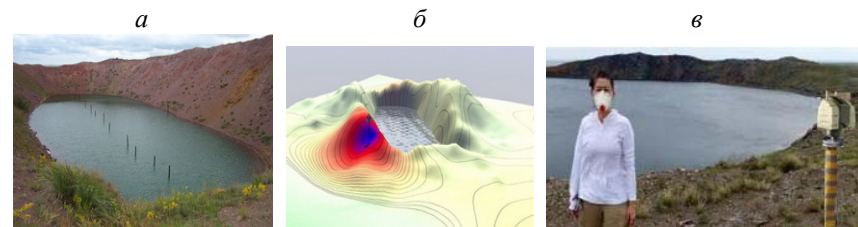


Рис. 3. а) Телькем-2 и б) его трехмерная модель с участком радиоактивного загрязнения; в) наблюдение на «Атомном озере»

Нет сомнений, что в недрах земли, в которых производились испытания в штольнях и скважинах, содержится большое количество радиоактивных продуктов, в том числе долгоживущих. Такие места, которые хозяйственному освоению не подлежат, еще длительное время нужно охранять, исключая доступ туда людей. Результаты мониторинга позволяют создать экологические карты нарушенных территорий полигона для разработки рекомендаций по использованию земель с точки зрения радиационной безопасности.

#### Список литературы

1. Труды междунар. научной конференции «Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие, и перспективы развития», г. Курчатов. НЯЦ РК, 2012. – 150 с.
2. Нурпеисова М.Б., Умирбаева А.Б. Комплексный мониторинг Семипалатинского испытательного ядерного полигона Труды международной конференции – Ташкен:2018 ТашГТУ, 2018. С.63-74.
3. Umirbaeva A., Nurpeisova M. The complex monitoring of the territory of the Semipalatinsk nuclear test site// Горный журнал Казахстана, №4, 2018. С.14-18.
4. Умирбаева А.Б., Жантуева Ш.А. Комплексное исследование и создание экологических карт территории. – М.: Маркшейдерия и недропользование, №2, 2019. – С.22-29.

# ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

## О ГЛАВНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРАХ ГАЗОНОСНОСТИ УГЛЕЙ

Анциферов А.В., Иванов Л.А., Туманов В.В., Савченко А.В.

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

Определение газоносности имеет первостепенное значение при решении проблем попутной добычи метана на угольных месторождениях и повышения безопасности работ при добыче угля.

Насчитываются не менее двадцати известных факторов газоносности углей. Создается представление, что все они являются главными [1]. Их большое количество не позволяет учесть все факторы для прогнозирования газоносности. Не случайно на практике в качестве независимых переменных обычно используется один-два фактора (метаморфизм, глубина), пренебрегая влиянием других факторов [2].

Целью исследования является сведение суммы известных факторов к их минимальному, но достаточному количеству на основе анализа существующих представлений о факторах и закономерностях изменения газоносности.

По признаку выполняемой функции выделяются следующие группы факторов: генерации, связывания, миграции и улавливания газа.

*Группа генерации метана* предполагает его полигенное образование и включает факторы метаморфизма углей, подтока метаморфогенного газа из нижележащей толщи и глубинного газа неорганического происхождения [3,4].

*Группа миграции газа* объединяет литологические и тектонические условия, формирующие возле угольных пластов проницаемые «коридоры», благоприятные для понижения давления газа, перехода связанного газа в свободную форму и перемещения его в атмосферу или ловушку газа. Циркулирующие в них подземные воды, ненасыщенные газом, также дегазируют угольный пласт [3, 4].

*Группа улавливания свободного газа* – это различного типа ловушки в виде пород-коллекторов, передвижению газа по которым препятствуют непроницаемые породы-покрышки, или зоны водонасыщенных газонепроницаемых пород. На стадиях метаморфизма угля более 4Ж свободный газ скапливается преимущественно в породах-коллекторах трещинного типа и углях, образующих на локальных участках «тектонополосы» в виде сгруппированных малоамплитудных (с амплитудой до 10 м) нарушений [5].

*Группа связывания газа* подразделяется на следующие подгруппы факторов: метаносорбции, гидрофобизации и газопроницаемости.

Метаносорбция обусловлена генетическими параметрами углей, влажностью и современными термодинамическими условиями залегания угольного пласта. Генетические параметры представлены мацеральным составом, восстановленностью и метаморфизмом.

Метаморфизм углей постепенно увеличивает метаносорбцию от стадии бурых до стадии антрацитов 10А, после чего метаносорбция резко уменьшается и исчезает [2]. Мацералы группы инертинита увеличивают газоносность на стадиях 2Г-5К и уменьшают ее на стадиях 5К-9ПА [1]. Мацералы группы липтинита содержат небольшое количество сорбированного метана и поэтому имеют второстепенное значение. Восстановленность существенно уменьшает газоносность углей [1, 3, 6].

Температура и вода, заполняющая поры, с увеличением глубины залегания угольного пласта уменьшают его метаносорбцию и газоносность [4]. Этому противостоит увеличение метаносорбции за счет роста давления газа с глубиной. В значительной мере изменение давления зависит от проницаемости толщи и ее близости к земной поверхности [7]. Проницаемость пород определяется факторами группы миграции и улавливания свободного газа.

В нефтегазовой геологии газопроницаемость пород рассматривается как фактор образования связанного газа в уплотненных песчаниках, аргиллитах и углях. При этом низкая проницаемость является главным свойством породы, которое обеспечивает проникновение аллохтонного и сохранение автохтонного газа в порах, в которые вода практически не проникает [8].

Гидрофобизация пород возникает в процессе катагенеза. Благодаря гидрофобизации происходит накачивание газа капиллярами коллектора из непрерывного глубинного подтока [9].

Непрерывное накачивание газа можно было бы рассматривать как основной фактор, определяющий газоносность углей. Однако анализ изменения газоносности, метаносорбции и гидрофобизации в ряду увеличения метаморфизма углей показал, что газоносность изменяется в

тесной связи только с метаносорбцией и независимо от гидрофобизации. Поэтому гидрофобность лишь реализует механизм капиллярного пополнения угля газом (природный насос), а метаносорбция, определяет величину этого пополнения и само значение газоносности углей [10].

Газоносность углей практически полностью представлена связанной формой газа, содержание которой обусловлено тремя вышеуказанными генетическими параметрами метаносорбции и современной глубиной. Другие геологические факторы влияют на газоносность, изменяя условия метаносорбции.

Таким образом, сумма известных факторов (около двадцати) сводится к их достаточному минимуму, представленному тремя генетическими параметрами метаносорбции (мацеральным составом, восстановленностью, метаморфизмом) и современной глубиной залегания угольного пласта.

### Список литературы

1. Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР / Гл. редактор А. И. Кравцов [Текст]: в 3 ч. Ч. 3: Генезис и закономерности распределение природных газов угольных бассейнов и месторождений СССР. – М.: Недра. – 1980. – 218 с.
2. Газоносность угольных месторождений Донбасса [Текст] / А.В. Анциферов, М.Г. Тиркель, М.Т. Хохлов, В.А. Привалов, А.А. Голубев, А.А. Майборода, В.А. Анциферов. – Киев: Наукова думка, 2004. – 231 с.
3. Зося, А.Н. Газоносность угленосных отложений и оценка ресурсов углеводородов газа Южно-Донбасского геолого-промышленного района [Текст] : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 04.00.16 / Александр Николаевич Зося; [Московский геологоразведочный институт им. С. Орджоникидзе]. – М., 1991. – 19 с.
4. Гресов, А.И. Геолого-промышленная оценка метаноресурсного потенциала и перспектив углеметанового промысла в углегазоносных бассейнах Северо-Востока России [Текст]: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук : 25.00.16 / Александр Иванович Гресов; [ФГАОУВО "Национальный исследовательский Томский политехнический университет", Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН]. – Томск – Владивосток, 2014. – 351 с.
5. Евдощук, Н. И. О роли горно-геологических условий и физико-химических факторов при формировании газонасыщенности углепородных массивов Донецко-Макеевского углепромышленного района [Текст] / Н.И. Евдощук, Н.В. Вергельская, А.Н. Кришталь // Тектоніка і стратиграфія. – 2013. – Вип. 40. – С. 12-26.
6. Кирюков, В.В. Сорбционная способность донецких углей и условия ее формирования [Текст] / В.В. Кирюков, В.Н. Новикова // Литология и геология горючих ископаемых: межвуз. науч. темат. сб. / редкол.: Алексеев

В.П. (отв. ред.) и др. Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. горного ун-та. – 2012. – Вып. VI (22). – С. 145-154.

7. Портнов В.С. Исследование метана в угольном массиве [Электронный ресурс] / В.С. Портнов, А.А. Кенетаева // 2018. URL: <http://repository.kstu.kz/xmlui/handle/123456789/8304>.

8. Карасева Т. В. Связанный газ пород – новый объект исследования нефтегазовой геологии [Текст] / Т. В. Карасева, А. С. Назаров // Вестник Пермского университета. Геология. – 2010. – Вып.1 (9). – С. 8-13.

9. Лукин А. Е. О природе и перспективе газоносности низкопроницаемых пород осадочной оболочки [Текст] / А. Е. Лукин // Доповіді Національної академії наук України. – 2011. – №3. – С. 114-123.

10. Иванов Л.А. Геологические факторы газоносности месторождений угля [Текст] / Л. А. Иванов // Сборник науч. трудов РАНИМИ. – Донецк, 2018. – № 6 (21). – С. 195-210.

# ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ И РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ КРЕПЕЙ И ОБДЕЛОК ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ ПОСЛЕ ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ

Лебедев М.О., Романевич К.В.

*ОАО «Научно-исследовательский, проектно-изыскательский  
институт «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург*

Вопросы проектирования обделки транспортных тоннелей, удовлетворяющей целому ряду геомеханических, технических, экономических и эксплуатационных требований рассматриваются достаточно давно. Большинство работ посвящено строительству подземных сооружений, возведение которых вызывает изменение начального напряженного состояния массива пород и перераспределение напряжений в зоне влияния выработки, с удалением от которой напряжения стремятся к своим начальным значениям. Менее подробно рассмотрены особенности расчета тоннельных обделок при капитальных ремонтах и реконструкциях подземных сооружений, то есть для случаев, когда возникает необходимость демонтировать существующую обделку, и возвести новую. Как здесь учесть уже сформированное годами равновесное состояние системы «обделка – вмещающий массив»?

При частичной или полной замене старой тоннельной обделки в ходе реконструкции весьма важным моментом является определение нагрузок, которые будут действовать на вновь возводимую несущую конструкцию. Необходимо учитывать всё многообразие инженерно-геологических, гидрогеологических условий, а также статических и динамических параметров нагружения на момент реконструкции сооружения и в последующий период. Корректный выбор оптимальных характеристик тоннельной обделки, обеспечивающей надежное поддержание выработки в течение заданного срока эксплуатации, ведет к сокращению веса конструкций и существенному снижению расхода строительных материалов, затраты на которые при сооружении тоннелей достигают 20-40% общей стоимости строительства.

В работах [1, 2] отмечается, что формирование нагрузки на обделку тоннелей, подвергающихся реконструкции, носит двухстадийный характер. На первой стадии формирования горного давления нагрузки на

вновь возводимую обделку определяются весом пород, отслоившихся от породного массива при первоначальном сооружении тоннеля. Повторное нарушение равновесного состояния при капитальном ремонте или реконструкции приводит к увеличению зоны обрушения и возрастанию нагрузки примерно в 1,3–1,4 раза на второй стадии формирования горного давления по сравнению с фактической величиной, отмеченной до начала работ по реконструкции, т.е. на первоначальной стадии [2].

Таким образом, окончательная нагрузка от горного давления, действующая на вновь возводимую обделку при реконструкции тоннелей представлена в [2] в общем виде как:

$$q = q_1 + q_d k_{II},$$

где  $q_1$  – нагрузка на первой стадии формирования горного давления, т.е. установившаяся при первоначальной эксплуатации тоннеля до его реконструкции;  $q_d$  – дополнительная нагрузка, вызванная увеличением радиуса зоны неупругих деформаций при реконструкции тоннеля в случае максимально возможных смещений контура выработки;  $k_{II}$  – коэффициент, учитывающий величину смещений контура выработки, находящийся в пределах от 0 до 1.

В [2] также указываются и другие составляющие общей нагрузки, действующей на тоннельную обделку – собственный вес конструкции, как фактор, связанный с непостоянством объемных весов материалов, и главным образом с наличием переборов при проходке, искажающих проектную геометрию выработки, и значительное воздействие, вызываемое нагнетанием различных растворов под давлением в заобделочное пространство. Однако, ни в [2] ни в более современных работах по реконструкции подземных сооружений вопросы сложного характера взаимодействия тоннельной обделки с вмещающим массивом во времени не рассматриваются достаточно подробно.

Тем не менее, этот фактор является весьма существенным. Результаты долгосрочного контроля НДС обделки железнодорожного тоннеля, возведенного в известняках, в течение шести лет эксплуатации показывают значительное увеличение усилий в обделке по сравнению с величинами усилий, которые сформировались через один год после ее возведения, при этом с большой долей вероятности прогнозируется сохранение скорости роста напряжений и в ближайший год [3]. С другой стороны при определенных условиях процесс перераспределения напряженно-деформированного состояния системы «обделка – вмещающий массив» с течением времени может стремиться к затуханию вплоть до

достижения массивом, ослабленного выработкой устойчивого равновесного состояния [4].

В работе [5] показаны аналитические решения, характеризующие множество сочетаний величин давления  $p$  и соответствующих им значений смещений контура сечения выработки  $u$ , при которых массив, ослабленный выработкой, находится в равновесии. В работе [6] показан расчет нагрузок на крепь горных выработок и тоннелей, сооружаемых в физически нелинейно-пластических массивах, а также численные методы расчета, учитывающие реологические свойства массива. Но все эти методы расчета не учитывают условий реконструкции с полным демонтажем существующей обделки.

Наиболее важными результатами, позволяющими судить о работе новых несущих конструкций, возведенных после демонтажа существующих конструкций, являются результаты натурных исследований. Такие работы были выполнены при реконструкции одного из железнодорожных тоннелей Северо-Кавказской железной дороги [7]. На одном из участков существующего тоннеля выполнялась перепроходка на полное сечение с возведением новой крепи и обделки. Исследования напряженно-деформированного состояния новой конструкции крепи показали, что количественно эти параметры были значительно меньше, чем для такой же крепи, в таких же инженерно-геологических условиях, на участках этого тоннеля, пройденного по новой трассе.

Таким образом, исходя из результатов натурных исследований, на определенном этапе существования подземного сооружения, вмещающий массив может получать новое равновесное состояние, при котором, в случае реконструкции, во вновь возводимых обделках напряженно-деформированное состояние оказывается не больше, а меньше, чем в ранее существовавших.

#### Список литературы

1. Будаева А.Х. Исследование условий статической работы обделок, возводимых при реконструкции тоннелей с перекладкой свода. Л.: ЛИИЖТ, 1972.
2. Лиманов Ю.А., Подчекаев В.А., Корольков Н.М., Меринов И.И. Сохранение и реконструкция тоннелей / Под ред. Лиманова Ю.А. Учебник для вузов ж.-д. трансп. М.: Транспорт, 1976.
3. Лебедев М.О. Напряженно-деформированное состояние обделки транспортного тоннеля при строительстве и эксплуатации // Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений: Труды VI Международной конференции, г. Екатеринбург, 10-11 апреля 2019 г. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019, с. 25-32.

4. Лебедев М.О., Романевич К.В. Инженерно-геофизические исследования при реконструкции подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 5. – С. 97–110. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-97-110.

5. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1994.

6. Протосеня А.Г., Огородников Ю.Н., Деменков П.А., Карасев М.А., Лебедев М.О., Потемкин Д.А., Козин Е.Г. Механика подземных сооружений. Пространственные модели и мониторинг. СПб: СПбГУ-МАНЭБ, 2011.

7. Лебедев М.О., Балыкин В.В. Горно-экологический мониторинг на примере Большого Петлевого тоннеля // Метро и тоннели, №6. М., 2006, с. 24-27.

### ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТОЭМИССИОННЫХ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ИЗВЕСТНЯКА

Иванов П.Н.<sup>1</sup>, Блохин Д.И.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский технологический  
университет «МИСЦС»

<sup>2</sup>Институт проблем комплексного освоения недр  
им. академика Н.В. Мельникова РАН

Для диагностики различных стадий процессов деформирования часто используются акустоэмиссионные измерения, по параметрам которых возможно следить за накоплением числа дефектов в геоматериалах и оценивать степень их нарушенности [1]. С другой стороны, в некоторых работах, например в [2], было показано, что концентрация и размер трещин в образце геоматериала в значительной степени определяют также и динамику вариаций интенсивности инфракрасного излучения (ИК – излучения), сопровождающего изменение его напряженного состояния. Поскольку при приближении к стадии разрушения деформирование геоматериалов сопровождается процессами активного трещинообразования, а именно эти процессы в твердых телах являются основным источником интенсификации тепловыделения, то эффективность ИК – диагностики изменений механического состояния геоматериалов может быть повышена за счет комплексирования с данными синхронных измерений параметров АЭ. Далее описываются эксперименты, в которых показана принципиальная возможность и эффективность использования таких комплексных измерений для идентификации изменений механического состояния образцов геоматериалов.

Измерения выполнялись на испытательной машине Instron 150LX с помощью автоматизированного комплекса, позволяющего вести синхронную регистрацию механических, акустоэмиссионных и терморадационных параметров. Принципиальная схема экспериментального стенда представлена на рис. 1.

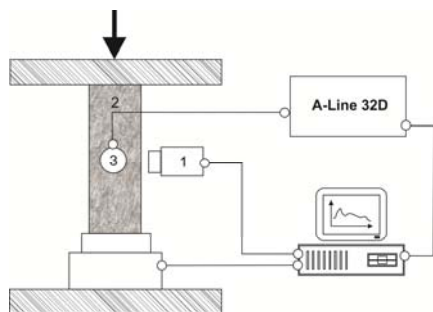


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда

В качестве первичного приемника ИК – излучения используется детектор РТН – 31 [3, 4], предназначенный для бесконтактного измерения изменений интенсивности оптического излучения в инфракрасном диапазоне частот. Датчик ИК – излучения (1) устанавливается примерно в середине высоты образца (2) на расстоянии 0,5–1 см от его поверхности.

Регистрация активности акустической эмиссии  $dN/dt$ , велась пьезопреобразователем (3) посредством измерительного комплекса A-Line 32D в полосе частот от 50 до 500 кГц. Преобразователь акустических сигналов размещается на свободной поверхности образца на одной высоте с датчиком ИК – излучения.

Испытания проводились на образцах известняка (кубики размером  $40 \times 40 \times 40$  мм). Одноосное сжатие осуществлялось в режиме постоянной скорости продольной деформации.

В качестве примера на рис. 2 представлены графики изменения во времени осевого напряжения  $\sigma_I(t)$  (рис. 2, график 1), интенсивности ИК – излучения  $V(t)$  (рис. 2, график 2) и активности АЭ  $dN(t)/dt$  (рис. 2, график 3) при деформировании образца известняка в режиме одноосного нагружения при постоянной скорости изменения продольной деформации ( $d\varepsilon_I/dt = 0,02$  мм/с). На рис. 3 приведена соответствующая диаграмма « $\sigma_I - \varepsilon_I$ », полученная в ход описываемого эксперимента.

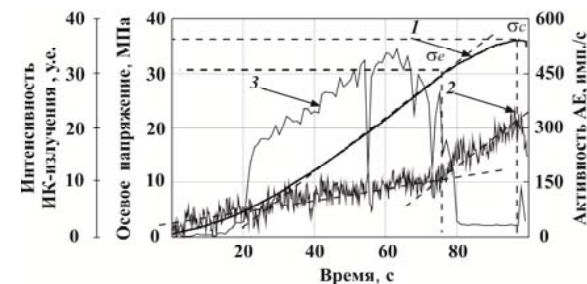


Рис. 2. Зависимости от времени осевого напряжения (1), интенсивности ИК – излучения (2) и активности акустической эмиссии (3) при испытаниях образца известняка при  $d\varepsilon_I/dt = \text{const} = 0,02$  мм/с

Анализируя зависимость  $V(t)$  (рис. 2, график 2) можно сделать вывод, что ее возрастание становится существенно более интенсивным в достаточно явно фиксируемой точке  $\sigma_I \approx 30$  МПа (рис. 2, график 2). Указанное значение  $\sigma_I$ , как видно из соответствующей диаграммы « $\sigma_I - \varepsilon_I$ » (рис. 3), соответствует пределу упругости  $\sigma_e$  материала образца. Предел прочности  $\sigma_c$  (см. рис. 3) материала испытываемого образца также достоверно фиксируется по характерным и совпадающим во времени точкам перегиба графиков  $\sigma_I(t)$  и  $V(t)$  (рис. 2, графики 1 и 2, соответственно).

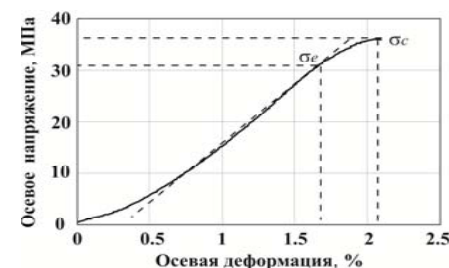


Рис. 3. Диаграмма « $\sigma_I - \varepsilon_I$ » при  $d\varepsilon_I/dt = \text{const} = 0,02$  мм/с

Рассмотрим зависимость  $dN(t)/dt$  (график 3, рис. 2). Значения  $dN(t)/dt$  остаются незначительными до момента времени, когда напряжения  $\sigma_I$  в образце становятся более 5 МПа. Далее начинается участок возрастания активности АЭ, в пределах которого  $dN(t)/dt$  достигает максимальных значений в конце зоны линейно–упругого деформирования (см. рис. 2, 3). Следующее за этим участком постепенное убывание значений  $dN(t)/dt$  заканчивается кратковременным «затишьем» (отмечаемое и другими авторами [1, 5]), которое предшествует «всплеску» активности АЭ после достижения осевым напряжением в образце предела прочности  $\sigma_c$ .

Таким образом, получаемые при соответствующей обработке записей  $\sigma_1(t)$ ,  $V(t)$  и активности АЭ  $dN(t)/dt$  результаты оценки уровня нагрузки, при котором начинается нелинейное деформирование образца, согласуются между собой. Проведенные эксперименты показывают эффективность эмиссионных «неразрушающих» измерений как информационной основы комплексной диагностики процессов изменения напряженно-деформированного состояния горных пород, включая определение значений напряжений на границах различных стадий деформирования и разрушения.

### Список литературы

1. Лавров А.В., Шкуратник В.Л. Акустическая эмиссия при деформировании и разрушении горных пород (обзор) // Акустический журнал. – 2005. – Т. 51. – № 5. – С. 6 – 18.
2. Балуева М.А., Блохин Д.И., Саваторова В.Л., Талонов А.В., Шейнин В.И. Моделирование влияния микротрещин в геоматериалах на изменения их температуры при деформировании // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2009. – № 6. – С. 69 – 74.
3. Шейнин В.И., Блохин Д.И. Исследования особенностей проявления термомеханических эффектов при одноосном сжатии образцов каменной соли // Физико – технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 1. – С. 46 – 54.
4. Шейнин В. И., Блохин Д. И., Максимович И. Б., Сарана Е. П. Экспериментальное исследование проявлений термомеханических эффектов на линейной и нелинейной стадиях деформирования образцов каменной соли в режиме циклического нагружения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – № 6. – С. 15 – 22.
5. Соболев Г. А., Пономарев А. В. Физика землетрясений и предвестники. – М.: Наука. – 2003. – 270 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

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

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

Актуальность исследований по оценке снижения сейсмического эффекта при взрывных работах при комбинированных открыто-подземных способах разработки различных месторождений полезных

ископаемых с использованием новых методологических подходов очевидна. Поэтому целью данной работы является определение возможности выбранного расчетного подхода на основе метода сглаженных частиц (SPH) к решению задач о взаимодействии процессов взрывного разрушения и геомеханики при разработке месторождений полезных ископаемых [1].

С помощью компьютерного моделирования методом сглаженных частиц исследуется влияние конструкции скважинного заряда и свойств массива целика через сейсмический эффект взрыва при открыто-подземной разработке на сохранность шахтных выработок.

Проблема обеспечения сохранности подземных шахтных объектов связана с решением задачи о разупрочнении горных пород, непосредственно примыкающих к этим объектам в результате действия на них сейсмовзрывных волн.

Для решения задачи и получения закономерностей и особенностей сейсмовзрывного эффекта была использована модель сжимаемого идеального упругопластического тела механики сплошной среды [2, 3]. Возможные негативные последствия шахтных горных объектов можно трактовать как динамический переход системы из одного квазиравновесного состояния в другое под воздействием сейсмовзрывного процесса, который условно в конечной стадии можно уподобить лавинообразному разворачивающемуся процессу в режиме триггерного эффекта. Такое негативное преобразование массива вблизи горных объектов будет следствием достижения в породе некоторого предельного состояния, которое связано с превышением определенного допустимого уровня, строением и структурой горной породы, зависящих от степени напряженности и нарушенности.

Для условий плоской деформации имитируется ситуация воздействия за малый отрезок времени сейсмовзрывной волны на массивный блок горной породы около выемочного пространства, что может привести к разупрочнению части целика массива, примыкающего к шахтным объектам. Эффект разупрочнения непосредственно зависит от структурно-минералогических свойств горных пород. В этой связи массивы горных пород по фактору трещиноватости условно представим следующими тремя типами: сильнотрещиноватый, средне-трещиноватый и монолитные массивы различной крепости. На модели упругопластической деформации рассмотрены варианты воздействия указанных свойств массива целика и сейсмовзрывной волны от взрыва поверхностных скважинных зарядов различных конструкций на сохранность горных выработок.

Используется модель упругопластической среды, параметры которой зависят от показателя накопления повреждений, определяемого по идеологии критерия Кулона–Мора, в виде соотношения Друккера–Прагера. Кроме того, применяемый в работе численный метод реализует двойственную модель представления повреждаемости геосреды, которая отражает разрыхление горной породы при выполнении заданного критерия разрушения и расхождение частиц материала при потере действия сил взаимосвязи, определяемых алгоритмом численного метода. Этот метод позволяет достаточно реалистично моделировать процессы развития деформаций и разрушения при решении задач геомеханики [5, 6].

Исследование эволюции состояния горного массива осуществляется с учетом механизма накопления повреждений, которое можно так же характеризовать как триггерный эффект в разрушении, поскольку, как показало моделирование, в рассматриваемых техногенных условиях такое накопление приводит к неустойчивым сдвиговым разрушениям и должно проявляться как динамическое событие.

Этот факт подтверждают проведенные расчеты. Негативное сейсмозрывное воздействие на охраняемые шахтные горные выработки можно ассоциировать с разрушением массива как динамическим сдвижением, так и разрушением и фрагментацией горной породы, в том числе связанными. В данном случае немаловажен эффект действия собственного веса всей нависающей толщи породы по высоте. Процессы последовательной фрагментации, формирования различных по крупности, в зависимости от степени трещиноватости массива блоков, их динамического сдвижения характеризуют системное проявление взаимодействующих взрывных и геодинамических явлений. Результаты фиксируются в виде различных сейсмограмм, полученных в размещенных в различных местах шахтных выработок сейсмотатчиках.

Исследуется сейсмозрывной эффект в горном массиве. С этой целью, на рис. 1. представлена конструкция заряда, которая используется при численном компьютерном моделировании с учетом структурно-минералогических свойств массива целика и сейсмического эффекта действия взрыва.

В условиях плоской деформации в поле сил тяжести рассматривается изменение состояния горного массива целика в процессе прохождения через него сейсмозрывной волны.

В геомеханике учет гравитации сказывается на распределении напряжений по глубине горного массива.

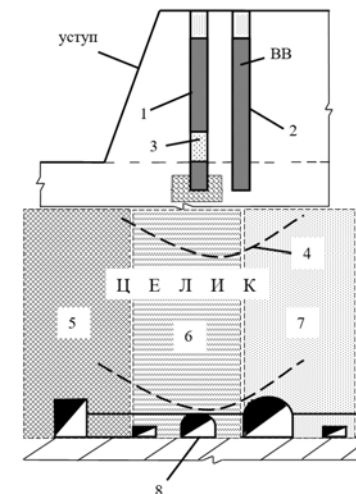


**Рис. 1. Условная схема расположения объектов экспериментального моделирования:**

- 1** – экспериментальный рассредоточенный заряд;  
**2** – штатный сплошной заряд; **3** – инертный промежуток; **4** – сейсмозрывная волна; **5** – сильнотрещиноватый участок массива; **6** – среднетрещиноватый участок массива; **7** – монолитный участок массива;  
**8** – охраняемые шахтные выработки

Для решения задачи используется упругопластическая модель механики деформируемого твердого тела, включающая законы сохранения массы, импульса и энергии [4]:

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \frac{du_\alpha}{dx_\alpha} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{du_\alpha}{dt} = \frac{1}{\rho} \frac{d\sigma_{\alpha\beta}}{dx_\beta} + F_\alpha, \quad (2)$$

$$\frac{de}{dt} = \frac{1}{\rho} \sigma_{\alpha\beta} \varepsilon_{\alpha\beta}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_\alpha}{\partial x_\beta} + \frac{\partial u_\beta}{\partial x_\alpha} \right)$  – тензор скоростей деформации,  $\frac{d}{dt}$  – субстанциональная производная по времени.

Замыкается система уравнений (1-3) определяющими реологическими соотношениями, записанными в гипотетической форме с учетом релаксационных членов в производной по времени:

$$\frac{dS_{\alpha\beta}}{dt} = 2\mu \left( \varepsilon_{\alpha\beta} - \frac{1}{3} \delta_{\alpha\beta} \varepsilon_{\alpha\beta} \right) + S_{\alpha\gamma} R_{\beta\gamma} + S_{\gamma\beta} R_{\alpha\gamma}, \quad (4)$$

где  $S_{\alpha\beta}$  – девиатор тензора напряжений;  $R_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_{\alpha}}{\partial x_{\beta}} - \frac{\partial u_{\beta}}{\partial x_{\alpha}} \right)$ .

Для учета возможного возникновения пластического поведения геосреды следуем теории Прандтля–Рейсса, где начало пластического течения определяется по критерию Мизеса. Если  $S_{\alpha\beta} S_{\alpha\beta} = 2K^2$ , то считается, что имеет место пластическое течение. В случае  $S_{\alpha\beta} S_{\alpha\beta} < 2K^2$  – движение среды считается упругим. Для описания эффекта пластичности в правую часть уравнения реологических соотношений необходимо добавить член –  $\theta (S_{\alpha\beta} \varepsilon_{\alpha\beta}) S_{\alpha\beta}$ , где

$$\theta = \begin{cases} 0, & \text{при } S_{\alpha\beta} S_{\alpha\beta} < 2K^2 \\ 0, & \text{при } S_{\alpha\beta} S_{\alpha\beta} = 2K^2, S_{\alpha\beta} \varepsilon_{\alpha\beta} \leq 0 \\ \frac{\mu}{K^2}, & \text{при } S_{\alpha\beta} S_{\alpha\beta} = 2K^2, S_{\alpha\beta} \varepsilon_{\alpha\beta} > 0 \end{cases}. \quad (5)$$

В этом случае значение  $S_{\alpha\beta} S_{\alpha\beta}$  не выходит за границы поверхности Мизеса.

В качестве уравнения состояния геосреды используется уравнение состояния изотропного упругого тела

$$P(\rho) = \frac{K}{n} \left( \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right)^n - 1 \right), \quad (6)$$

где  $K$  и  $n$  – экспериментально полученные константы материала целика горной породы.

В применяемой модели описания поведения геосреды предельное напряженное состояние горных пород описывается в рамках модели Друккера–Прагера. При этом в пространстве трех главных напряжений, поверхность, определяющая предельное состояние породы, представляет собой конус, усеченный в области отрицательных давлений. Несмотря на известные недостатки этой модели, она достаточно широко применяется в решении задач неупругого деформирования и разрушения горных пород [4]. В этой модели предельное состояние породы анализируется через обобщенное кулоновское напряжение:

$$\sigma_c = \tau / (C + \alpha P), \quad (7)$$

где  $\tau$  – интенсивность тензора напряжений,  $C$  – сцепление,  $\alpha$  – коэффициент внутреннего трения,  $P$  – первый инвариант тензора напряжений. В областях, в которых  $\sigma_c = 1$ , напряженное состояние соответствует предельному. В этих областях реализуется локальная потеря квазистойчивости и развивается неупругое деформирование элементов горного массива. Идет накопление повреждений, деградация сцепления и наблюдается переход эволюции НДС к сверхбыстрому негативному режиму, что несомненно можно трактовать как триггерный эффект в геомеханике.

Для замкнутой системы уравнений (1)–(7) ставится краевая задача с соответствующими начальными и граничными условиями, заключающимися в том, что на поверхностях вблизи охраняемых выработок полагается отсутствие напряжений, на условной подскважинной поверхности реализуется граничное условие бесконечности. При решении краевой задачи требуется определить компоненты тензора напряжений  $\sigma_{\alpha\beta}$  во всех точках массива и компоненты перемещений произвольной точки.

Для решения поставленной задачи предлагается метод сглаженных частиц, положительно зарекомендовавший себя для задач геомеханики [6].

Достоинством метода SPH является возможность расчета смещений с произвольными деформациями при сохранении преимуществ лагранжевого подхода.

В течение всего расчета от начала инициирования зарядов записываются значения скоростей колебаний частиц горной породы в местах расположения датчиков, и они интерпретируются как сейсмограммы. Как показали предварительные расчеты, параметры сейсмозрывной волны вблизи шахтных объектов в монолитной среде изменяются мало, сильно изменяются (уменьшаются) в сильно трещиноватой среде, и имеют промежуточный характер изменения в среднетрещиноватой среде.

Рисунок 2 демонстрирует пример отклика геосреды на взрывные работы и вызванные этими действиями сдвиги и разрушения породы в виде записи показаний изменения продольной скорости  $u_x$  в местах расположения сейсмодатчиков на вертикальной линии на расстоянии 150 м от кромки карьера.

Прослеживается образование и распространение упругих волн, вызванных взрывным воздействием и связанное с ним перераспределение интенсивности напряжений в горном массиве. Локальная потеря устойчивости и множественные разрушения разных масштабов формируют картины фликкер-шума расчетных сейсмических событий.

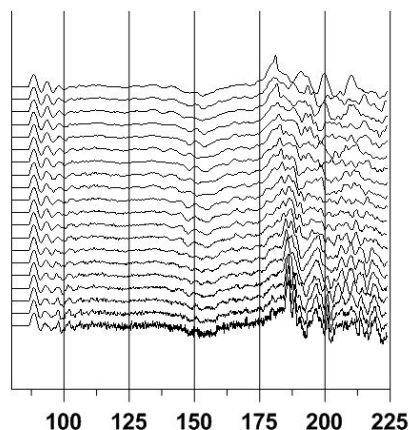


Рис. 2. Отклик геосреды на взрывные работы

Ослабление сейсмозрывной волны достигается не только конст-рукцией заряда, но и естественным природным путем. При этом воз-можные варианты структуры целика массива, представленные водона-сыщенностью, особыми геологическими структурами и т.п., наоборот, могут усилить действие сейсмозрывной волны с концентрацией ее дей-ствия в определенном направлении.

### Вывод

Таким образом, выбранный подход компьютерного моделирования позволяет проводить некоторые оценки ситуации охраны подземных объектов при комбинированной открыто-подземной разработке место-рождений полезных ископаемых с учетом как параметров открытых взрывных работ, так и свойств расположенного под ними целика масси-ва горных пород.

### Список литературы

1. Викторов С.Д., Захаров В.Н., Закалинский В.М. Снижение сейсмиче-ского воздействия массовых взрывов в карьере на устойчивость породного массива и подземных сооружений при комбинированной разработке уголь-ных месторождений // Горный журнал, 2016. – № 12. – С. 59-64.
2. Физика взрыва: В 2 т. / С.Г.Андреев [и др.]; Под ред. Л.П. Орленко. Изд. 3-е. испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. Т.2. – 656 с.
3. Шиповский И.Е. Расчет хрупкого разрушения горной породы с ис-пользованием бессеточного метода / И.Е. Шиповский // Науковий вісник НГУ – НГУ. – Днепропетровск, 2014.

4. Макаров П.В., Евтушенко Е.П., Еремин М.О. Эволюция напряженно-деформированного состояния горного массива с выработками. Математиче-ское моделирование: Монография. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2016. – 184 с.

5. Малинникова О.Н., Трофимов В.А., Шиповский И.Е. Метод сгла-женных частиц в моделировании разрушения и обрушения кровли выработ-ки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 11 (специальный выпуск 49). – С. 464-475.

6. Шиповский И.Е. Расчет хрупкого разрушения горной породы с ис-пользованием бессеточного метода // Научный вестник НГУ – НГУ. – Днепропетровск. – Вып. 1(145). – 2015. – С. 76-82.

## РОЛЬ ФАКТОРОВ ГОРНОГО И ГАЗОВОГО ДАВЛЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ И ПРОЯВЛЕНИИ ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА НА ШАХТАХ ДОНБАССА

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

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

<sup>2</sup> Донбасская национальная академия архитектуры  
и строительства (ДонНАСА),  
(Министерство образования и науки, г. Макеевка).

На региональном уровне показана роль факторов горного и газового давлений в формировании и проявлении внезапных выбросов угля и газа на шахтах Донбасса

В работе [1] В.В. Ходот указывает, что выбросоопасность углей обусловлена совместным влиянием: 1) физико-механических свойств угля; 2) газа, содержащегося в угле; 3) напряженного состояния уголь-ного пласта. В работе [2] выполнено обоснование необходимости ком-плексного учета также: 4) структурно-химических свойств углей; 5) геомеханических факторов; 6) технологических и организационных факторов.

Поэтому, целями настоящей работы является рассмотрение роли геодинамических процессов на формирование и проявление выбросо-опасности углей различного марочного состава.

В Донбассе погружение геологических слоев происходило неравномерно: восточные части Большого Донбасса были погружены на глубины 9,0–12,0 км, а западные части погружались на глубину 1,0–3,0 км (табл. 1).

**Таблица 1 – Глубины погружения углей различных марок в Донбассе**

| Марки                         | Д       | Г       | Ж       | К, ОС           | Т       | ПА      | А        |
|-------------------------------|---------|---------|---------|-----------------|---------|---------|----------|
| $H_{\text{погр}}, \text{ км}$ | 1,4-2,9 | 2,9-4,4 | 3,7-5,0 | 5,0-6,5         | 6,5-7,3 | 7,3-8,8 | 8,8-12,0 |
| $\text{Grad} M_{\text{пол}}$  | 0,3     | 0,7     | 1,8     | 1,8             | 0,9     | 0,4     | 0,2      |
| $E_{\text{актив}}$            | 45,66   | 41,07   | 31,87   | 25,88;<br>29,24 | 32,59   | –       | 50,19    |

Вмещающие породы, залегающие в районах расположения углей марок Т, ПА и А, характеризуются высокой плотностью, низкой газопроницаемостью и пониженной газоносностью, для выше указанных пород характерны зависания пород основной кровли и образования породных слоев – мостов. Как правило, мощные слои песчаников создают дополнительные напряжения в угольных пластах. Для углей марок ПА и А глубина расположения поверхности метановой зоны составляет  $H_0 = 50 - 300$  м, эти угли характеризуются высокими: природной газоносностью, сорбционной способностью и крепостью, способны накапливать значительные количества энергии, энергия активации диффузии метана для антрацитов составляет  $E_{\text{актив}} = 50,194$  кДж / моль (табл. 1). Для углей марок А минимальные глубины проявления внезапных выбросов угля и газа –  $H_{\text{мин}}$  в Донбассе составляют: а) для пластов пологого падения  $H_{\text{мин}} = 106$  м ; б) для пластов наклонного и крутого падений  $H_{\text{мин}} = 190$  м, (табл. 2). Следует отметить, что в нормативном документе [3] значения  $H_{\text{мин норм}}$  по Донбассу даны с ошибками и без разделения пластов: а) на пологое падение, б) на наклонное и крутое падения, см. табл. 2.

**Таблица 2 – Минимальные глубины проявления внезапных выбросов угля и газа –  $H_{\text{мин}}$ , м в Донбассе за период 1946 – 2008 гг.**

| Группы                        | 1-я    | 2-я         | 3-я         | 4-я         | 5-я          | 6-я         | 7-я    |
|-------------------------------|--------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------|
| Значения $V^{\text{daf}}, \%$ | > 35,0 | 35,0 ÷ 29,1 | 29,0 ÷ 25,1 | 25,0 ÷ 18,1 | 18,0 ÷ 13,1% | 13,0 ÷ 9,1% | ≤ 9,0% |
| Марки                         | Д, Г   | Г, Ж        | Ж, К        | К, ОС       | ОС, Т        | Т           | А      |
| $H_{\text{мин-пол.}}$         | 617    | 410         | 487         | 310         | 286          | 254         | 106    |
| $N_{\text{в, ед-пол.}}$       | 6      | 102         | 30          | 144         | 576          | 19          | 214    |
| $H_{\text{мин-н+кр}}$         | 360    | 374         | 320         | 256         | 314          | 286         | 190    |
| $N_{\text{в, ед -н+кр}}$      | 35     | 129         | 60          | 324         | 326          | 215         | 78     |
| $H_{\text{мин норм, м}}$      | 400    | 380         | 320         | 270         | 230          | 230         | 150    |

Например, в 1-й группе метаморфизма на пластах наклонного и крутого падений первые внезапные выбросы угля и газа были зафиксированы на глубине  $H_{\text{мин}} = 360$  м, а по данным [3]  $H_{\text{мин норм}} = 400$  м и с этой глубины должен вводиться текущий прогноз выбросоопасности угольных пластов. Для марок углей ПА и А преобладающую роль в проявлении внезапных выбросов угля и газа играют высокая газоносность и крепость углей, горное давление играет менее заметную роль.

Вмещающие породы, залегающие в районах расположения углей марок Ж, К и ОС, характеризуются средними значениями плотности, газопроницаемости и газоносности, глубина расположения поверхности метановой зоны  $H_0 = 100 - 350$  м. Угли марок Ж, К и ОС характеризуются более низкой природной газоносностью, имеют высокие значения дробимости, разрушаемости, сорбционной способности и сорбционной набухаемости. Средние значения энергии активации диффузии метана для этих углей согласно [4] минимальны, так, для коксующихся углей  $E_{\text{акт}} = 25,879$  кДж / моль (табл. 1). Для углей марок К, ОС и Т характерен максимум генерации тяжелых углеводородов: этана, пропана и бутана, [5]. Для углей марок К и ОС минимальные глубины проявления внезапных выбросов угля и газа в Донбассе составляют; а) на пологих пластах  $H_0 = 310$  м ; б) для пластов наклонного и крутого падений  $H_0 = 256$  м, (табл.2). Согласно [6], наибольшие средние значения полного градиента метаморфизма в %  $V^{\text{daf}}$  на 100м – ( $\text{Grad } M_{\text{пол}}$ ) для пластов пологого падения наблюдаются у марок углей Ж, К и ОС (табл.1). Большая восприимчивость к факторам метаморфизации углей марок Ж, К является следствием неустойчивости их структуры, следствием присутствия свободных радикалов [5]. У углей марки 6 ОС наблюдается первый максимум в размерах пор, для них диаметр пор составляет  $d_{\text{пор}} = 0,20$  мкм; угли этой марки характеризуются высокой степенью выбросоопасности, второй максимум роста диаметра пор наблюдается у антрацитов [7].

Породы, которые залегают в районах расположения углей марок Д и Г характеризуются более низкими значениями плотности и газоносности, они отличаются повышенной пористостью и газопроницаемостью, глубина расположения поверхности метановой зоны здесь составляет  $H_0 = 100 - 400$  м и более. Угли марок Д и Г имеют повышенные значения крепости, удельного веса по сравнению с углями марок Ж, К и ОС. Для углей марок Д и Г минимальные глубины проявления выбросов в Донбассе составляют: а) для пологих пластов  $H_{\text{мин}} = 617$  м; б) для пластов наклонного и крутого падений

$H_{\text{мин}} = 360\text{м}$ , (табл. 2). Угли способны накапливать значительное количество энергии, энергия активации диффузии метана для углей марки Д составляет  $E_{\text{актив}} = 45,663 \text{ кДж / моль}$ .

### Выводы

1. В ряду метаморфизма углей с ростом степени их углефикации роль горного давления ослабевает и усиливается роль газового давления и фактора высокой природной газоносности углей.

2. Наиболее потенциально выбросоопасными являются угли марок ОС и Т.

3. В Донбассе на пластах наклонного и крутого падений первые внезапные выбросы угля и газа, зафиксированные для углей низкой и средней стадий метаморфизма (Д, Г, Ж, К, ОС) в диапазоне изменений  $V^{\text{daf}} < 35,0 - 18,1 \%$ , зафиксированы на меньших глубинах по сравнению с этими же марками углей, залегающими на пластах пологого падения.

### Список литературы

1. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля, породы и газа [Текст] / В.В. Ходот – М.: Госгортехиздат, 1961. – 363 с.

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

3. СОУ 10.1.00174088.011 – 2005. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям [Текст] / Киев, Минуглепром Украины. 2005. – 225 с.

4. Алексеев А.Д. Прогнозирование неустойчивости системы уголь – газ [Текст] / А.Д. Алексеев, Г.П. Стариков, Г.П. Чистоклетов // Донецк, изд-во «Ноулидж» (донецкое отделение), 2010. – 343 с.

5. Анциферов А.В. Газоносность угольных месторождений Донбасса [Текст] / А.В. Анциферов, М.Г. Тиркель, М.Т. Хохлов, В.А. Привалов, А.А. Голубев, А. А. Майборода, В.А. Анциферов // Киев, Наукова думка.– 2004.– 231с.

6. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР: в 12 т. / Т.1: Угольные месторождения юга европейской части СССР [Текст] // М.: Госгеолтехиздат, 1963. – 1210 с.

7. Новикова В. Н. Надмолекулярно-поровая структура и сорбционная способность углей в комплексе геологических факторов прогноза и оценки метаносности угольных пластов Юго-Западного Донбасса: автореф. дис... канд. геолога – минерал. наук [Текст] / Санкт-Петербург. 2009. – 20 с.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ВПЕРЕДИ ПРОВОДИМОГО ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

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

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

<sup>2</sup> *Донбасская национальная академия архитектуры и строительства (ДонНАСА), (Министерство образования и науки, г. Макеевка).*

В статье рассмотрены особенности изменения опорного давления, возникающего впереди проводимого очистного забоя.

С увеличением глубины ведения горных работ на шахтах растет энергия горного массива, напряженное состояние и давление газов в угольных пластах. Разработка угольных пластов в Донбассе сопровождается внезапными выбросами угля и газа, динамичными посадками основной кровли и т. д. В связи с этим возникает задача исследования закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния, которое формируется впереди движущегося очистного забоя с целью определения безопасной глубины выемки угольного пласта.

Поэтому, целью данной работы является рассмотрение особенностей изменения опорного давления, возникающего впереди забоя движущейся лавы.

Важную роль в формировании расстояния до максимума опорного давления –  $\ell$ , м играют следующие факторы: состав пород кровли, их мощности и крепости, порядок чередования слоев, шаг посадки основной кровли и т. д. Перед посадкой основной кровли максимум опорного давления –  $\sigma_{\text{макс}}$  находится на расстоянии –  $\ell_0$ , м (рис.1, график 1); а после посадки основной кровли  $\sigma_{\text{макс}}$  перемещается в глубину пласта на расстояния  $\ell_{11}$  и затем на расстояние  $\ell_{12}$  (рис.1, графики 2 и 3). По мере дальнейшего подвигания лавы и зависания консоли пород кровли  $\sigma_{\text{макс}}$  возвращается в положение  $\ell_{11}$  (рис.1, график 2) и затем в положение  $\ell_0$  (рис.1, график 1); после этого цикл перемещений  $\sigma_{\text{макс}}$  повторяется. С ростом глубины ведения горных работ удельные статические и динамические нагрузки на угольный пласт возрастают, растут: величина опорного давления  $L_{\text{оп}}$ , градиенты нарастания напряжений  $\sigma_{y-1}$  в области пластического состояния пласта (рис. 2, кривая А – В – С), градиенты давления газов в пласте. Решению задачи о распределении напряжений

В работе [2] В.В. Ходот вводит понятие фиктивного увеличения выработки. Величина фиктивного увеличения выработки  $x_0$  принимается В.В. Ходотом равной расстоянию от груди забоя до точки, где  $\sigma_y = \gamma H$ , т. е. выработка увеличивается на длину призабойной части угольного массива, напряжения в которой ниже первоначальных (рис. 2). Согласно [2], напряженное состояние угольного пласта получают путем совмещения эпюр напряжений в областях предельного (пластического) –  $\sigma_{y-1}$  и упругого состояний –  $\sigma_{y-2}$ . По данным [2], нормальные к плоскости пласта напряжения  $\sigma_y^1$  в зоне предельного напряженного состояния описываются уравнением:  $\sigma_y^1 = Kve^{\varphi x}$ , где  $K$  — коэффициент сцепления угля; определение величин  $v, \varphi, \lambda$  выполняют по следующим формулам:

$$\nu = \frac{2 \cos \rho}{1 - \sin \rho}; \quad \varphi = \frac{2 f_{\text{Tp}} \lambda}{m}; \quad \lambda = \frac{1 + \sin \rho}{1 - \sin \rho};$$

45

С ростом глубины ведения горных работ протяженность зоны опорного давления впереди движущейся лавы –  $L_{on}$  увеличивается, а также растут удельные нагрузки опорного давления на угольный пласт, растут градиенты давления горных пород и давлений газов, расстояние до максимума опорного давления увеличивается, на больших по размерам площадях наблюдается концентрация напряжений в угольном пласте и вмещающих породах. Вследствие этого с ростом глубины ведения горных работ снижается частота и увеличивается интенсивность выброшенной массы угля при внезапных выбросах угля и газа

1. После посадки основной кровли происходит отодвигание максимальных напряжений в глубину массива и одновременно снижение коэффициента концентрации напряжений в зоне опорного давления. При дальнейшей работе лавы максимальные напряжения, возникающие в угольном пласте, вновь приближаются к поверхности забоя.

46

### Список литературы

1. СОУ 10.1.00174088.011 – 2005. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям / Киев, Минуглепром Ук-раины. 2005. – 225 с.
2. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля, породы и газа / В. В. Ходот – М.: Госгортехиздат, 1961. – 363 с.
3. Шлимовичус Я.Г. Уточнение метода расчета напряжений впереди очис-тной выработки, проводимой по выбросоопасному пласту / Я.Г. Шлимовичус // В кн.: Вопросы безопасности в угольных шахтах. Труды ВостНИИ. Том XII. Кемерово. 1972. – С. 65–76.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАРУШЕННОСТИ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ МЕТОДОМ ЭНТРОПИИ-СЛОЖНОСТИ

Малинникова Е.В.<sup>1</sup>, Пашичев Б.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет геодезии  
и картографии (МИИГАиК)

<sup>2</sup>Институт проблем комплексного освоения недр  
им. академика Н.В. Мельникова РАН

В работе представлены результаты исследования микрофотографий углей – цифровые изображения поверхности угольных образцов, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа с тысяче-кратным увеличением, в системе «энтропия-сложность». Рассмотрено четыре группы образцов угля: I – полученные из *выброса* (179-181); II – *склонного к самовозгоранию* (114); III – *выбросоопасного* (117); IV – *из спокойной зоны пласта* (не выбросоопасной и не склонной к самовозгоранию) (182, 192, 124, 118). Ниже в таблице 1 приведены ха-рактеристики исследованных нами образцов угля, влажность всех об-разцов углей варьируется около 1 %.

Нами использованы две рассчитываемые характеристики: энтропия и статистическая сложность. Энтропия как мера нашего незнания о сис-теме, которая здесь интересна, как характеристика структурной органи-зованности системы. Максимальная энтропия заданной системы, соот-ветствует низшей степени её структурной организованности, то есть наибольшей неупорядоченности. Низкая энтропия, напротив, соответст-вует высокой структурной упорядоченности.

Таблица 1 – Характеристики образцов углей

| Обра-<br>зец | Наименование<br>шахт      | Место<br>отбора                   | Выход<br>летучих,<br>$V_{daf}$ , % | Золь-<br>ность,<br>$A_{daf}$ , % | Связанный<br>углерод,<br>С, % |
|--------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 179          | им. Скочинского           | выброс                            | 31,70                              | 4,17                             | 62,98                         |
| 180          | им. Скочинского           | выброс                            | 31,90                              | 2,69                             | 64,10                         |
| 181          | им. Скочинского           | выброс                            | 30,01                              | 11,25                            | 57,79                         |
| 182          | им. Скочинского           | спокойная зона                    | 30,19                              | 12,99                            | 55,63                         |
| 192          | Комсомольская             | спокойная зона                    | 26,56                              | 20,93                            | 51,77                         |
| 114          | Усковская                 | склонный<br>к самовозго-<br>ранию | 34,9                               | 2,40                             | 61,2                          |
| 124          | Талдинская-<br>Западная 2 | не склонен                        | 34,4                               | 3,01                             | 59,9                          |
| 117          | Осинниковская             | Выбросо-<br>опасный               | 29,97                              | 3,45                             | 65,7                          |
| 118          | Осинниковская             | не склонен                        | 30,3                               | 4,42                             | 64,4                          |

Оценка сложности и энтропии для двумерных изображений, здесь для электронных микрофотографий угля, состоит из двух этапов: (1) разложение изображения на коэффициенты, характеризующие локаль-ные различия и положение структур; (2) на следующем этапе определя-ется относительная энтропия Шеннона  $S[P] = -\sum P_i \log_2 P_i$ , и статистиче-ская сложность. Сложность стремиться к нулю как при абсолютно упор-ядоченной, так и при абсолютно хаотической структуре вещества. Предлагаемый подход интересен тем, что позволяет оценивать энтро-пию и сложность локально.

В таблице 2 приведены диапазоны значений изменения величин сложности и энтропии. Для ряда угольных проб исследовалось по не-сколько образцов. Из приведенных значений следует, что для изобра-жений углей из выбросоопасной зоны (114, 117) значения энтропии и сложности имеют больший разброс, чем для углей из зоны выброса (179, 180, 181), и намного больший, чем для углей из спокойной зоны (182, 192, 124, 118\_2). Последние демонстрируют практически одинако-вое поведение для различных образцов – примерно один и тот же узкий диапазон значений величин.

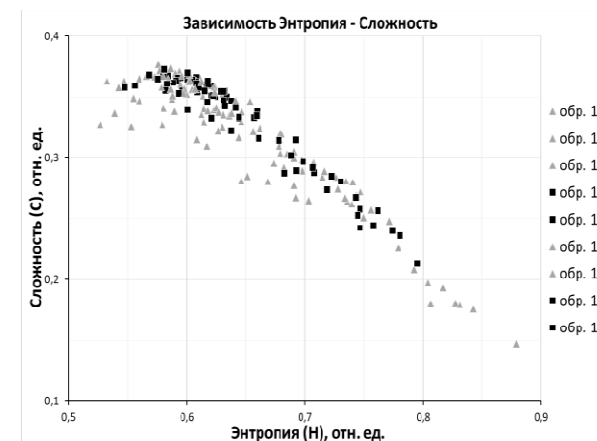
Кроме того, в зависимости от характеристик образца меняется ме-стоположение экспериментальных точек на графике «энтропия-сложность». Так для образцов из спокойных зон точки сосредоточены, в основном, в области невысокой энтропии и средней сложности (рис. 1.б). Можно предположить, что это объясняется достаточно высо-кой упорядоченностью образцов, что говорит о достаточно регулярной,

**Таблица 2 – Диапазоны значений изменения величин сложности и энтропии**

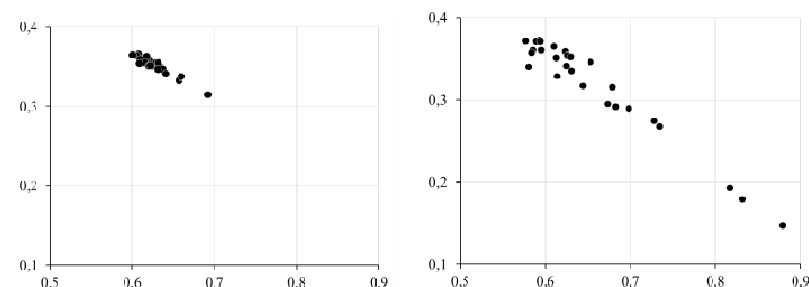
| Образец | Наименование шахт     | Место отбора              | Энтропия  | Диапазон энтропии | Сложность   | Диапазон сложности |
|---------|-----------------------|---------------------------|-----------|-------------------|-------------|--------------------|
| 179     | им. Скочинского       | выброс                    | 0,58-0,83 | 0,25              | 0,18-0,38   | 0,20               |
| 180     | им. Скочинского       | выброс                    | 0,58-0,87 | 0,29              | 0,14-0,38   | 0,24               |
| 181     | им. Скочинского       | выброс                    | 0,53-0,84 | 0,31              | 0,17-0,38   | 0,21               |
| 182     | им. Скочинского       | спокойная зона            | 0,60-0,69 | 0,09              | 0,31-0,37   | 0,06               |
| 192     | Комсомольская         | спокойная зона            | 0,57-0,70 | 0,13              | 0,28-0,37   | 0,09               |
| 114     | Усковская             | склонный к самовозгоранию | 0,93-0,98 | 0,45              | 0,097-0,029 | 0,30               |
| 114-1   |                       |                           | 0,53-0,77 |                   | 0,330-0,250 |                    |
| 114_2   |                       |                           | 0,66-0,82 |                   | 0,320-0,200 |                    |
| 124     | Талдинская-Западная 2 | не склонен                | 0,83-0,97 | 0,42              | 0,215-0,047 | 0,313              |
| 124-1   |                       |                           | 0,55-0,76 |                   | 0,360-0,246 |                    |
| 124_2   |                       |                           | 0,62-0,72 |                   | 0,350-0,280 |                    |
| 117     | Осинниковская         | выбросоопасный            | 0,58-0,74 | 0,41              | 0,360-0,280 | 0,347              |
| 117_2   |                       |                           | 0,82-0,99 |                   | 0,195-0,013 |                    |
| 118     | Осинниковская         | не склонен                | 0,94-0,98 | 0,28              | 0,084-0,024 | 0,276              |
| 118_2   |                       |                           | 0,70-0,83 |                   | 0,300-0,196 |                    |

но сложной структуре. По-видимому, для таких зон имеет смысл применение мультифрактального анализа, то есть представление их в виде сложных структур, но подчиняющихся некоторым статистическим законам.

Для образцов из зоны выброса экспериментальные точки расположены практически по всему диапазону значений (рис. 1.в). Мы считаем, что это можно объяснить наличием в выброшенном угле участков с самой разной структурой – близких к «спокойным зонам» (то есть со средними значениями энтропии и сложности), а также участков,



а)



б)

в)

**Рис. 1. Зависимость «энтропия – сложность» для изображений угольных пластов из спокойной зоны (182, 192, 124, 118), из выброса (179, 180, 181) из зоны склонной к выбросоопасности (114, 117) (а); для образца 182, взятого из спокойной зоны (б); для образца 180, взятого из зоны выброса (в)**

близких к абсолютному хаосу, то есть фактически случайному равномерному распределению (высокая энтропия и низкая сложность). Для образцов, взятых из опасной зоны, характерны очень высокие значения энтропии и низкие значения сложности.

Таким образом, метод расчёта графика «энтропия-сложность» может, если не распознать опасные образцы, то, по крайней мере, подсказать, на какие следует обратить большее внимание. В то же время, наши расчёты были проведены для определенного разрешения снимка. Так, образцы из опасной зоны оказались наиболее близки к хаотическому

равновесному распределению. Но, возможно, при более детальном разрешении можно будет установить некоторые статистические закономерности.

### Список литературы

1. Brazhe A. Shearlet-based measures of entropy and complexity for two-dimensional patterns// Physical Review E 97. – 2018. – P. 061301(7).
2. Ribeiro HV, Zunino L, Lenzi EK, Santoro PA, Mendes RS Complexity-Entropy Causality Plane as a Complexity Measure for Two-Dimensional Patterns. – 2012. PLoS ONE 7(8): e40689.

## ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ПОДРАБОТКИ ВОДОЗАЩИТНОЙ ТОЛЩИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СОЛЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Максутова Е.А.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет*

Разработка месторождений калийно-магниевых солей имеет ряд специфических особенностей, в основном связанных с тем, что все соли легко растворимы в воде, поэтому одной из основных задач является обеспечение невозможности проникновения природных вод в зону ведения добычных работ, в особенности из вышележащих водоносных горизонтов. Вопрос безопасности ведения горных работ стоит в приоритете у недропользователей, а так как основным решением этой задачи является сохранение водозащитной толщи, то данное исследование является актуальным.

В России шахтная разработка месторождений калийно-магниевых солей ведется с применением камерно-столбовой системы с поддержанием кровли на жестких целиках. Этот метод добычи характеризуется высокими потерями, однако необходим для сохранения целостности водозащитной толщи (ВЗТ).

Геологоразведочные наблюдения на месторождениях калийно-магниевых солей позволяют выделять потенциально опасные зоны прорыва рассолов и воды. В ходе данной работы были рассмотрены некоторые из этих зон, и состояние ВЗТ в их пределах было оценено на основе критерия кривизны верхней границы водозащитной толщи.

Из анализа результатов натурных наблюдений за сдвижением горных пород Авершиным А.Г. были установлены соотношения между максимальными величинами вертикальных сдвижений и деформациями поверхности и слоёв массива горных пород.

$$K_1/K_2 = H_2^2/H_1^2, \quad (1)$$

Где  $K_1$  – максимальная кривизна поверхности, находящейся на расстоянии  $H_1$  по вертикали от выработки;  $K_2$  – максимальная кривизна слоя пород, расположенного на расстоянии  $H_2$  по вертикали до выработки.

В данном соотношении  $K_2$  – это максимальная кривизна слоя пород, расположенного на некотором расстоянии по вертикали от выработки. То есть, с помощью данного критерия, можно определить кривизну водозащитной толщи, а значит оценить её состояние, зная её допустимую кривизну.

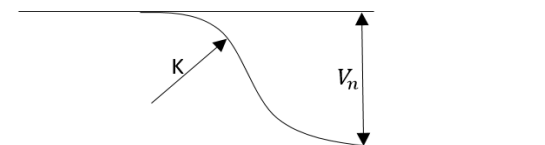


Рис. 1. Схема кривизны поверхности

По известным значениям кривизны поверхности и высоты от поверхности и от верхнего слоя водозащитной толщи до выработки соответственно были построены графики кривизны для исследуемых зон. На полученные графики были наложены максимально допустимые значения кривизны.

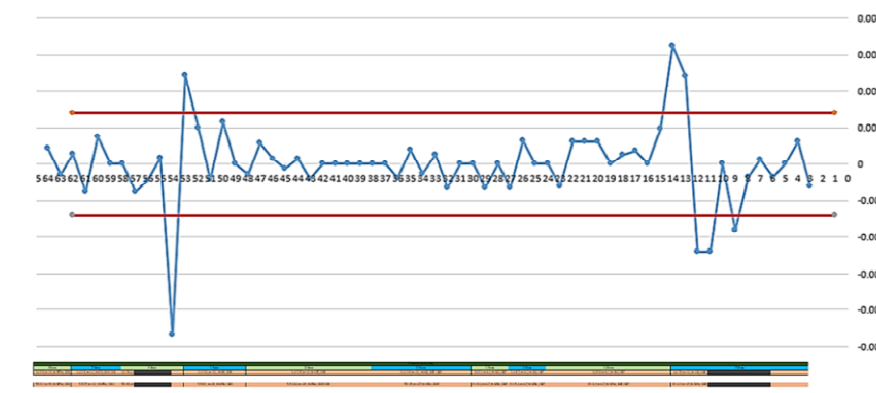


Рис. 2. График кривизны потенциально опасной зоны

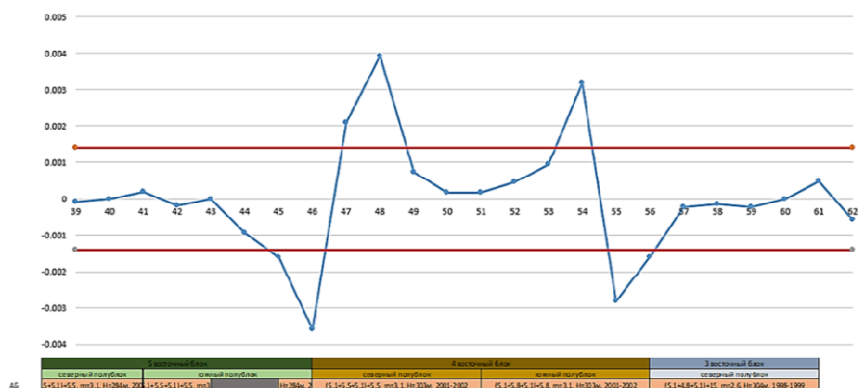


Рис. 3. График кривизны потенциально опасной зоны

Исследование показало, что кривизна ВЗТ на рассматриваемых участках превышает допустимые значения.

В данной работе были сформулированы возможные причины, которые приводят к образованию опасных состояний ВЗТ: боковые разрушения краев междукламерных целиков, обрушение кровли и межпластовой потолочины в камерах, что приводит к изменению заданных соотношений целиков и снижение их несущей способности.

Таким образом, по критерию кривизны было оценено состояние водозащитной толщи как неблагоприятное, и описаны возможные механизмы, которые привели к этому. Для предотвращения возникновения подобных проблем в будущем рекомендуется вести на калийных рудниках полную закладку выработанного пространства.

#### Список литературы

1. Пермяков Р.С., Ковалев О.В., Пинский В.Л. и др. Справочник по разработке соляных месторождений. – М.: Недра, 1986. – 212 с.
2. Соловьев, В.А. Разработка калийных месторождений: практикум / В.А. Соловьев, А.И. Секунцов. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. унта, 2013. – 265 с.
3. Кузнецов Г.Н. Графические методы оценки предельных состояний трещиноватого массива вокруг горных выработок // Доклады всесоюзной конференции по механике горных пород. – Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1970.
4. Методическое руководство по ведению горных работ на рудниках Верхнекамского калийного месторождения / Под ред. В.А. Соловьева, УФ ВНИИГ. – М.: Недра, 1992. – 468 с.
5. Горная энциклопедия / под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1984–1991.

## УРАВНЕНИЕ ОГИБАЮЩЕЙ ПРЕДЕЛЬНЫХ КРУГОВ МОРА ДЛЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Кулагина М.А.

ГОУ ВПО Кыргызско-Российский Славянский университет

Паспортом прочности горных пород служит огибающая к предельным кругам напряжений, которая (на известной диаграмме Мора) разграничивает область опасных (по разрушению) и не опасных напряженных состояний и позволяет определить ориентацию плоскости среза при разрушении. В данном сообщении проанализировано уравнение такой огибающей линии (получаемое на основе предложенного в [1] критерия прочности), которое в достаточной мере отражает прочностные свойства разнообразных горных пород.

Согласно теории прочности Мора [2], в плоскости, наклоненной под определенным углом к главным напряжениям ( $\sigma_1, \sigma_3$ ), касательное напряжение ( $\tau$ ) зависит от нормального напряжения ( $\sigma$ ) на ней. По экспериментальным данным трехосного сжатия по схеме Кармана строят в координатах  $\tau \sim \sigma$  круги (Мора) предельных напряженных состояний, центр ( $O_c$ ) и радиус ( $R$ ) которых определяются выражениями:

$$O_c = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3), \quad R = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3).$$

Уравнение предельных кругов Мора в пространстве главных напряжений можно представить в виде алгебраического уравнения второй степени:

$$\varphi(\sigma, \tau, c) = \sigma^2 + \tau^2 - (1+c)\sigma_1 + c\sigma_1^2 = 0, \quad (1)$$

где параметром этого семейства является параметр  $c = \sigma_3 / \sigma_1$ .

Общее уравнение второй степени относительно  $x$  и  $y$ , имеет вид [6]:

$$a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + a_{22}y^2 + 2a_{13}x + 2a_{23}y + a_{33} = 0, \quad \text{где } a_{ik} = a_{ki} \quad (i, k=1, 2, 3). \quad (2)$$

Для рассматриваемого уравнения (1), принимая  $\sigma_1 = x$ ,  $\sigma_3 = y$ , согласно (2), коэффициенты  $a_{ik}$  равны:

$$a_{11} = a_{22} = 0; \quad a_{12} = a_{21} = 1/2;$$

$$a_{13} = a_{31} = -\sigma/2; \quad a_{23} = a_{32} = -\sigma/2. \quad (3)$$

Инварианты уравнения (1), по которым судят о классификации кривой, таковы:

$$D_{инв.} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}, \quad A_{инв.} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Эти инварианты в рассматриваемом случае таковы:

$$D_{инв.} = -1/4 < 0, \quad A_{инв.} = -\tau^2/4 \neq 0.$$

В соответствии с этими значениями инвариантов  $A_{инв.}$  и  $D_{инв.}$  выражение (1) представляет собой уравнение гиперболы [6].

Задав в пространстве главных напряжений уравнение гиперболы (согласно ее определению) в виде:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + (\sigma_3 - b)^2} - \sqrt{\sigma_1^2 + (\sigma_3 - a)^2} = d \quad (a, b, d - const), \quad (5)$$

удалось [1] разрешить его относительно главного напряжения  $\sigma_3$ , т.е. получить зависимость  $\sigma_3 = \sigma_3(\sigma_1)$ , а именно:

$$\sigma_3 = \frac{a+b}{2} + \sqrt{\frac{d^2 \sigma_1^2}{(a-b)^2 - d^2} + \frac{d^2}{4}}. \quad (6)$$

На основании известной теоремы [3], огибающая семейства вида (1) должна удовлетворять также уравнению:

$$\phi_c(\sigma, \tau, c) = 0 \quad (\phi_c = \partial \phi / \partial c), \quad (7)$$

Составляя систему уравнений из (1) и (7), из ее решения получим координаты огибающей  $(\sigma, \tau)$  в параметрическом виде:

$$\sigma = \frac{\sigma_1(\sigma_1 + 2c(\sigma_1)_c)}{(\sigma_1 + (1+c)(\sigma_1)_c)}, \quad \tau = \frac{(1-c)\sigma_1 \sqrt{(\sigma_1 + c(\sigma_1)_c)(\sigma_1)_c}}{\sigma_1 + (1+c)(\sigma_1)_c}, \quad ((\sigma_1)_c = \partial \sigma_1 / \partial c) \quad (8)$$

Введем замену констант гиперболы:

$$\frac{a+b}{2} = A, \quad \frac{d^2}{4} = B^2, \quad \frac{d^2}{(a-b)^2 - d^2} = Q. \quad (9)$$

Учитывая (9), выражение (6) принимает следующий вид:

$$\sigma_3 = A + \sqrt{Q\sigma_1^2 + B^2}, \quad (10)$$

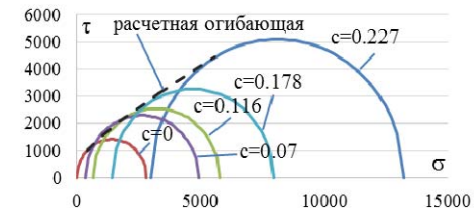
Огибающая при  $\sigma_1 \rightarrow \infty$  стремится к линии, параллельной оси  $\sigma$ , а напряжение  $\tau$  стремится к значению максимального касательного напряжения [1, 4]; согласно этому условию предельного перехода  $Q=1$ . Следовательно, зависимость  $\sigma_3(\sigma_1)$  можно представить еще в виде:

$$\sigma_3 = A + \sqrt{\sigma_1^2 + B^2}, \quad (11)$$

Проанализируем полученную таким образом зависимость  $\sigma_3(\sigma_1)$  и установим область применимости формул (10) и (11). Для этого построим предельные круги Мора, используя результаты испытаний на трехосное сжатие обширной группы горных пород, которые содержатся в виде табличных данных в монографии [5].

В качестве примера, на рис. 1 приведены предельные круги напряжений для песчаника П-03 для пяти видов напряженного состояния, а также огибающая к ним, построенная по формулам (8), при использовании зависимости  $\sigma_3(\sigma_1)$  в виде (10). Для определения констант  $A$ ,  $B$  и  $Q$  в этом случае необходимо выбрать в качестве «опорных точек» напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  при трех видах напряженного состояния. Как видно из рисунка, огибающая ко всем предельным кругам напряжений действительно является касательной практически ко всем этим кругам.

Формулы (10) и (11) позволяют также определить предел прочности на растяжение  $(\sigma_p)$  по известным значениям констант  $A$  и  $B$ , т.е. при  $\sigma_1 = 0$  имеем  $\sigma_p = \sigma_3 = A + B$ .



Рис/ 1. Круги Мора и огибающая к ним для песчаника П-03

В проведенном исследовании установлено, что зависимость  $\sigma_3(\sigma_1)$  в виде (11) достаточно хорошо отражает прочностные свойства мелкозернистых горных пород, к которым, в частности, относятся [5]: талькохлорит, песчаник Д-8, мрамор П, известняк (эстонсланец), диабаз. Свойства средне- и крупнозернистых пород лучше отображаются соотношением (10), но при использовании большего набора исходных экспериментальных данных для определения материальных констант ( $A$ ,  $B$ ,  $Q$ ). К таким породам относятся [5]: песчаник выбросоопасный, песчаник, не опасный по выбросам, песчаник П-0, известняк Д-6, песчаник П-01, песчаник П-026, мрамор-І, кварцевый диорит Д-2.

#### Список литературы

1. Дуйшеналиев Т.Б., Койчуманов К.Т. Уравнение огибающей линии предельных кругов напряжений. Бишкек: Илим, 2006. 130 с.
2. Paterson M.S., Wong T.-F. Experimental Rock Deformation – The Brittle Field. Berlin: Springer, 2005. – 348 p.
3. Погорелов А.В. Дифференциальная геометрия. Москва: Наука, 1974. 176 с.
4. Рычков Б.А. О прочностных характеристиках горных пород // Современные проблемы механики сплошных сред. Бишкек, 2011. Вып. 13. С. 310-317.
5. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. Москва: Недра, 1979. 305 с.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Москва: Наука, 1974. 832 с.

### **К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ГЛАВНЫХ КРИТЕРИЕВ ВЗРЫВНОГО РЫХЛЕНИЯ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД НА КАРЬЕРАХ ПРИМЕНительно К ТРЕБОВАНИЯМ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ КОМПЛЕКСОВ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ВЕДЕНИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ**

**Айнбиндер И.И., Жариков И.Ф., Докутович М.И.**

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

Существующие большое количество современных промышленных взрывчатых веществ (ПВВ) по своим энергетическим характеристикам пригодны для решения любых геотехнологических задач, но реальные возможности управления энергией этих ПВВ существенно отстают от быстро растущих требований к результатам взрыва. При этом коэффициент полезного использования энергии зарядов остается достаточно малым [1].

Учитывая, что с ростом глубины карьеров непрерывно усложняется технология вскрытия нижележащих горизонтов, сопровождаемая возрастанием объемов вскрышных работ и увеличением числа транспортных горизонтов вместе с протяженностью автомобильных трасс, технический прогресс возможен путем внедрения циклично-поточной и поточной технологий. При этом интенсификация и повышение эффективности открытых горных работ (ОГР) наиболее логично связывать с расширением применения конвейерного транспорта и реализацией на его базе циклично-поточной технологии (ЦПТ) [2].

Для повышения эффективности работы комплексов необходимы новые подходы, а для решения задач по обеспечению высокого качества дробления горных пород (ГП) требуется прежде всего скорректировать технологию взрывания применительно к условиям глубоких карьеров [2].

При оценке эффективности взрывного дробления ГП основными критериями, определяющими эффективность ведения взрывных и последующих ГР, являются: выход негабарита, степень дробления ГП, форма развала, количество «порогов» и т.д., причем первые два принято считать главными. Одним из главных параметров при оценке результатов взрывного дробления ГП в горном деле и строительстве является оценка среднего размера куска в развале. Знание зависимости этой величины от параметров буровзрывных работ (БВР) и свойств ГП позволяет надёжно рассчитывать не только технико-экономические показатели БВР на предприятиях, но и решать ряд других важных задач горного производства – проектирование и выбор горного оборудования на карьерах и обогатительных фабриках и т.д. [3-5].

Также установлено, что и для экскавации, и для условий ЦПТ, где есть ограничения по качеству дробления, выход определенной фракции не должен превышать заданной величины [2, 6].

В существующих методиках оценки гранулометрического состава, среднего размера куска породы, выхода негабарита и т.д. недостаточно учитывается физическая сущность разных процессов разрушения пород на разных расстояниях от взрывающего заряда ПВВ.

В настоящем докладе на основе развития «Феноменологической квазистатическо-волновой теории Н.В. Родионова о крупномасштабном подземном взрыве» делается попытка дать теоретические оценки некоторых детерминированных закономерностей дробления ГП в зоне регулируемого дробления и определения среднего размера куска в развале с учетом физико-механических свойств ГП, термодинамических параметров зарядов ПВВ и схем их размещения во взрываемом блоке с установлением величины степени дробления породы на разных расстояниях от оси взорванного заряда, используя закономерности формирования на-

пряженно-деформированного состояния (НДС) породы при взрывах в ней зарядов ПВВ. Анализируется процесс развития трещин в породе с учетом распределения микронарушений в среде и проводится сравнения с результатами лабораторных и промышленных испытаний взрывного дробления различных пород. На основании проведенных исследований предлагается теоретическая модель формирования кусков породы в зоне её регулируемого дробления взрывом зарядов ПВВ, что позволяет рассчитывать гранулометрический состав взорванной горной массы и определять один из главных критериев – средний размер куска породы в развале. При этом показано удовлетворительное согласие с результатами лабораторных и промышленных исследований взрывного дробления принципиально разных пород [7-10].

Установленные соотношения справедливы для широкого диапазона классов ГП и типов ПВВ, удовлетворительно согласуются с результатами промышленных экспериментов и позволяют определять условия требуемого взрывного дробления ГП на карьерах.

#### Список литературы

1. Викторов С.Д., Галченко Ю.П., Закалинский В.М., Рубцов С.К. Разрушение горных пород сближенными зарядами. – М.: Научтехлитиздат, 2006. – 276 с.
2. Жариков И.Ф. Проблемы подготовки взорванной горной массы на глубоких горизонтах. // Взрывное дело. Выпуск №120/77. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2018. – с. 109-121.
3. Крюков Г.М., Докутович М.И., Жаворонко С.Н. Степень дробления и выход негабарита при взрывном рыхлении горных пород на карьерах. // ГИАБ, №5. – М.: Горная книга, 2011. – с. 347-351.
4. Крюков Г.М. Модель взрывного рыхления горных пород на карьерах. Выход негабарита. Средний размер кусков породы в развале. // Отдельные статьи ГИАБ, №2, Препринт. – М.: МГГУ, 2005. – 30 с.
5. Докутович М.И. Теоретические оценки детерминированных закономерностей степени дробления горных пород под воздействием взрыва каждого заряда промышленных взрывчатых веществ. // Инженерная физика, №5. – М.: Научтехлитиздат, 2019. – с. 46-53.
6. Жариков И.Ф. Эффективность управления процессами буровзрывной подготовки горного массива к экскавации. // Взрывное дело. Выпуск №108/65. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2012. – с. 82-92.
7. Докутович М.И. Оценка эффективности применения программируемого многорядного короткозамедленного взрывания при производстве специальных взрывных работ. // Сб. докладов XIV Международной научно-практической конференции по взрывному делу АНО «НОИВ». – М.: ООО «Пресс Бюро», 2014. – с. 47-48.

8. Рубцов В.К. Исследование дробимости горных пород взрывами на карьерах. // Диссертация на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. – М.: МГИ, 1971. – 412 с.

9. Белин В.А., Крюков Г.М. Итоги развития теории разрушения горных пород взрывом. // Взрывное дело. Выпуск №105/62. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2011. – с. 3-17.

10. Крюков Г.М., Докутович М.И. Прогнозные оценки для двух основных критериев взрывного дробления горных пород на карьерах. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал, №1. – Екатеринбург: УГГУ, 2008. – с. 78-87.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КАРКАСНОЙ СИСТЕМЫ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА ДЛЯ УСЛОВИЙ САМООБРУШЕНИЯ РУДЫ\*

Косырева М.А., Еременко В.А.

Горный институт НИТУ «МИСиС»

При использовании современных горных технологий, основанных на экстенсивных методах преодоления горного давления, неизбежной платой за локальную геомеханическую безопасность добычных работ является появление очагов опасных напряжений в налегающих массивах [1-3].

Целью научно-исследовательской работы, проводимой в настоящее время при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-17-00034), являются практикоориентированные исследования по созданию конвергентных горных технологий разработки различных геологических типов месторождений твердых полезных ископаемых. В качестве экспериментальной проверки сформулированных общих подходов был проведен комплекс теоретических исследований и виртуальных экспериментов с использованием численных моделей в программном комплексе Map3D. В результате было установлено, что при формировании в горном массиве достаточно крупной неоднородности (например – отрабатываемого участка рудного тела) условия воспроизводства устойчивых динамических структур в литосфере будут определяться только релаксационными процессами на внешнем контуре неоднородностей.

---

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

Опережающее формирование контура открывает реальную возможность преодоления, обозначенного выше локального противоречия, за счёт того, что при формировании и развитии зоны техногенного разрушения процессы добычи полезного ископаемого и защиты от последствий геомеханических возмущений литосферы разделяются во времени.

Это положение составляет содержание геофизической идеи построения конвергентных горных геотехнологий, которая заключается в опережающем выделении зоны техногенного разрушения литосферы из общего поля вторичных изменений геофизического состояния массива за счёт разделения во времени процессов добычи полезного ископаемого и процессов преодоления последствий геомеханического возмущения прилежащих участков литосферы.

Разработанная при проведении научно-исследовательской работы модель каркасной горно-технической системы включает крупную неоднородность, а именно отрабатываемый участок мощного рудного тела (рис. 1). Участок оконтурен с боков каркасом высотой 100 м и с кровли (потолочиной) одинаковой мощностью. Внутри каркаса массив разбит переборками на 12 выемочных единиц-камер длиной 55,5 м и шириной 15 м. Запасы руды на участке около 3 млн. т, одной камеры – 250 тыс. т. В таблице представлены сценарии модели проектируемой каркасной горно-технической системы и объёмы:  $V_{кар.}$  – ширина каркаса, в т.ч. потолочины каркасной системы;  $V_{пер.}$  – ширина переборок внутри каркасной системы;  $V_{кар.}$  – объём каркасного массива, в т.ч. потолочины;  $V_{пер.}$  – объём массива переборок;  $V_{кам.}$  – объём 12 камер;  $V_{общ.}$  – объём каркасной горно-технической системы (крупной неоднородности);  $V_{кар.+пер.}$  – объём каркасного массива и переборок.

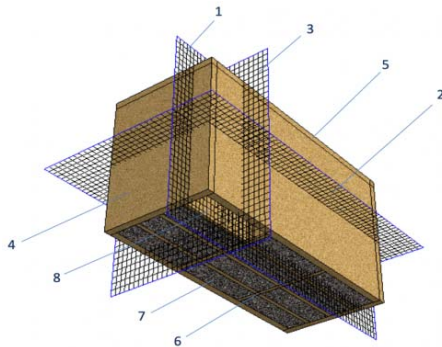


**Рис. 1. Модель проектируемой каркасной горно-технической системы.**  
1-3 – расчетные сетки численной модели; 4 – каркас; 5 – потолочина каркаса; 6 – переборки; 7 – камера с запасами руды; 8 – отработанная камера

Подготовка каждой выемочной единицы включает в себя также формирование днища известной конструкции для условий самообрушения руды и проведение нижней подсечки.

После возведения на первой стадии оконтуривающего и разделительных искусственных массивов и набора высокопрочной закладкой паспортной прочности, на второй стадии выемочные единицы отрабатываются в диагональном порядке с применением системы с самообрушением руды для условий разработки мощных рудных месторождений, способов инициирования процессов самообрушения и выпуска рудной массы.

По мере продвижения фронта очистных работ выработанное пространство отработанных выемочных блоков заполняют твердеющими или сухими закладочными смесями, твёрдыми отходами горного производства, хвостами обогащения, металлургическими шлаками или просто бытовыми твёрдыми отходами.

**Таблица – Сценарии и объёмы проектируемой каркасной горно-технической системы**

| Сценарии                                 | $V_{кар.},$<br>$м^3$ | $V_{кам.},$<br>$м^3$ | $V_{пер.},$<br>$м^3$ | $V_{общ.},$<br>$м^3$ | $V_{кар.+пер.},$<br>$м^3$ | $V_{кар.+пер.}/$<br>$V_{общ.}, \%$ | $V_{кар.+пер.}/$<br>$V_{кам.}, \%$ |
|------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1<br>( $V_{кар.}=5м,$<br>$V_{пер.}=3м$ ) | 323587,5             | 999000               | 191250               | 1513837,5            | 514837,5                  | 34,01                              | 51,54                              |
| 2<br>( $V_{кар.}=4м,$<br>$V_{пер.}=2м$ ) | 261645               |                      | 126300               | 1386945              | 387945                    | 27,97                              | 38,83                              |
| 3<br>( $V_{кар.}=4м,$<br>$V_{пер.}=4м$ ) | 276600               |                      | 257400               | 1533000              | 534000                    | 34,83                              | 53,45                              |
| 4<br>( $V_{кар.}=6м,$<br>$V_{пер.}=3м$ ) | 378922,5             |                      | 191250               | 1569172,5            | 570172,5                  | 36,34                              | 57,07                              |

Численное моделирование проектируемой каркасной горно-технической системы проводилось методом граничных интегральных уравнений с использованием программного комплекса Mar3D. Исходное напряженное состояние выбрано литостатическое, которое определяется на проектируемой глубине 1000 м примерно 21 МПа для рассматриваемых условий.

Прочность рудного массива вне и внутри каркаса была определена по обобщенному критерию Хука-Брауна с использованием программы RocData. Установлено, что рудный массив, находящийся вне каркаса, имеет прочность значительно меньшую, чем внутри, из-за воздействия флюидонесущих горизонтов, например, воды и высокого порового давления.

С учетом полученных результатов численного моделирования напряженно-деформированного состояния проектируемой каркасной горно-технической системы по четырем сценариям (рис. 3), получены следующие результаты:

- Максимальное главное напряжение ( $\sigma_1$ ) внутри каркасной системы изменяется от 15 до 55 МПа, в рудном массиве камер – от 12 до 35 МПа, во вмещающем каркасную систему массиве – от 3 до 30 МПа (рис. 2). Отрабатанные и заложенные камеры находятся в разгруженном состоянии. Зоны максимальных напряжений формируются в районе отрабатываемой камеры, близлежащих к ней переборок и неотработанных камер.

- Установлено, что наиболее благоприятная геомеханическая ситуация обеспечивается для условий отработки по третьему сценарию, когда ширина каркаса и переборок одинаковая, для рассматриваемого случая – 4 м.

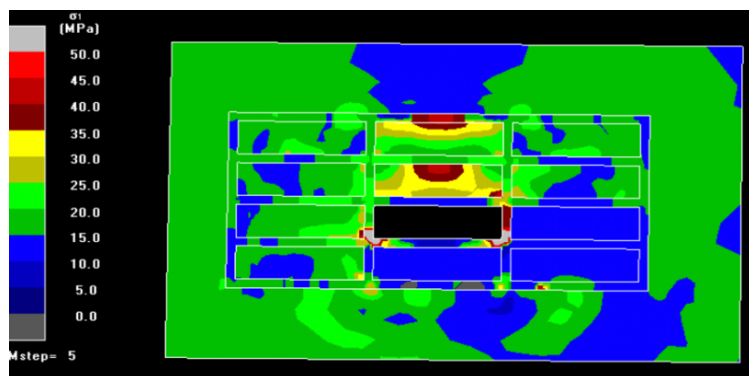


**Рис. 2. Распределение максимального главного напряжения  $\sigma_1$  в модели проектируемой каркасной горно-технической системы и во вмещающем его массиве. На рисунке рассмотрен сценарий 3, шаг №4 по сетке № 2 в диагональном порядке отработки камер. 0-50 МПа – действующие напряжения**

#### Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Мясков А.В., Галченко Ю.П., Еременко В.А. Обоснование и создание конвергентных горных технологий подземной разработки мощных месторождений твердых полезных ископаемых // Горный журнал. – №5. – 2019. – С. 6-13.
2. Курленя М.В., Серяков В.М., Еременко А.А. Техногенные геомеханические поля напряжений. – Новосибирск: Наука. — 2005. – 264 с.
3. Galchenko Yu.N., Eremenko V.A., Myaskov A.V., Kosyeva M.A. Solution of geoeological problems in underground mining of deep iron ore deposits // Eurasian Mining. — 2018. — № 1. — pp. 35-40.

## СОЗДАНИЕ ПОЛИГОНА ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МАССИВА И ИСПЫТАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА

**Янбеков А.М., Еременко В.А., Умаров А.Р.,  
Хажыылай Ч.В.**

*Горный институт НИТУ «МИСиС»*

Увеличение глубины горных работ – общемировая реальность. Это влечет за собой усложнение горно-геологических условий, что, в свою очередь, оказывает негативное влияние на устойчивость элементов горных конструкций. В странах с развитой горнодобывающей промышленностью задача управления устойчивостью горных выработок как при ведении открытых горных работ, так и подземных, возложена на геотехническую службу предприятия. Осуществляя контроль поведения массива горных пород геотехническая служба выполняет две основные функции: 1) обеспечивает безопасность персонала посредством эффективного мониторинга и управления сдвижением контуров выработок, 2) повышает экономическую эффективность горного производства посредством оптимизации горных работ с точки зрения управления горным давлением.

Как показывает мировая практика, компетентность руководителей предприятий в горной геомеханике приводит к значительному сокращению несчастных случаев на производстве. Геотехническая квалификация специалистов горнодобывающих компаний в вопросах оценки состояния массива горных пород, обеспечения устойчивости выработок, выбора и расчетов крепей подземных сооружений позволяет им принимать более продуманные долгосрочные решения, и, как следствие, возрастает рентабельность предприятия, обеспечивается безопасность и повышается эффективность горных работ.

По информации горного надзора Ростехнадзора РФ, озвученной на Техническом совете по геомеханике [1], который прошел 15 марта 2019 года в Горном институте НИТУ «МИСиС» [1], 40% случаев травматизма при ведении горных работ подземным способом связаны с обрушением пород и с разрушением элементов крепи выработок.

На Техническом совете озвучена идея создания подземного полигона для подготовки и повышения квалификации геомехаников рудников (геотехников), геологов, горных инженеров и подготовки студентов, а также стенда для оценки работоспособности различных видов крепи и их параметров в подземных условиях.

Создание полигона для проведения количественной оценки состояния массива, подготовки и повышения квалификации геомехаников и стенда для оценки и демонстрации работы различных видов крепи и систем крепления выработок при действии динамических и статических нагрузок позволит проводить тестирование, повышение квалификации персонала рудников по специальности геомеханик рудника (геотехник), геолог и горный инженер, натурное обучение абитуриентов институтов современным методикам оценки устойчивости массива:

1. В натуральных условиях на основе международных рейтинговых классификаций проводить количественную и качественную оценку состояния массива горных пород (системы Q-индекс, RMR, GSI, MRMR и др.).

2. Определять параметры, коэффициенты и рейтинги породного массива, характеризующие: RQD — качество породного массива; FF — частоту нарушенности массива; J<sub>n</sub> — число систем трещин; J<sub>г</sub> — шероховатость поверхности трещин; J<sub>а</sub> — измененность стенок трещин; J<sub>в</sub> — присутствие воды в трещинах; SRF — разрушение пород вследствие избыточного горного давления или уменьшенного обжимающего напряжения вблизи поверхности; J<sub>A1</sub> — прочность породы на одноосное сжатие; J<sub>A2</sub> — качество породного массива; J<sub>A3</sub> — расстояние между трещинами; J<sub>A4</sub> — характеристику трещин; J<sub>A41</sub> — шероховатость поверхности трещин; J<sub>A42</sub> — длину трещин; J<sub>A43</sub> — раскрытие трещин; J<sub>A44</sub> — заполнитель трещин; J<sub>A45</sub> — измененность стенок трещин; J<sub>A5</sub> — обводненность пород выработки; J<sub>в</sub> — ориентацию трещин в пространстве и др.

3. Определять категории нарушенности и устойчивости, типовые структуры, техногенные и природные трещины и системы трещин, примеры поведения и качественные характеристики массива горных пород; проводить геотехническое картирование массива по обнажениям.

4. Проводить структурное и интервальное документирование керна, обучать и тестировать процедуру отбора, подготовки и транспортирования геотехнических проб для лабораторных испытаний физико-механических свойств горных пород.

5. Повышать, тестировать и обучать навыкам работы в программе численного моделирования Map3D для расчёта действующего напряженно-деформированного состояния массива горных пород и программ Rocscience — Dips, RocData и Unwedge.

6. Наглядно демонстрировать на стенде статическую и динамическую работу крепи и систем крепления выработок (в том числе по заданным параметрам — на основе натуральных замеров на рудниках ЗФ).

7. Исследовать (испытывать на стадии Опытно-промышленных испытаний) на стенде виды крепи и систем крепления выработок различного назначения (борт карьеров) с позиций энергопоглощения и де-

формируемости способных выдерживать воздействия статических и динамических проявлений горного давления, например, устанавливать значения распределения нагрузок между анкерами и поверхностной крепью — сеткой и(или) торкретбетоном (набрызбетоном, фиброторкретбетоном), предельную разрушающую нагрузку каждого элемента крепи, максимальные смещения при разрушении и энергию, поглощаемую элементами крепи до разрушения.

8. Проектировать и производить оптимальный выбор параметров крепи и систем крепления.

Научно-исследовательский центр «Прикладная геомеханика и конвергентные горные технологии» Горного института НИТУ «МИСиС» разработал проект на строительство подземного полигона и в настоящее время ведет переговоры с крупнейшими горнодобывающими компаниями России о реализации данного проекта на их площадках, в т.ч. в арктической зоне в условиях крайнего Севера.

#### Список литературы

1. Еременко В.А. Итоги работы Технического совета по геомеханике // Горный журнал. — №4. — 2019. — С. 97-98.

2. Мясков А.В., Еременко В.А., Лушников В.Н., Мансуров В.А., Бабкин Е.А. Актуальность и пути подготовки инженеров-геотехников для горных предприятий Российской Федерации // Горный журнал. — №5. — 2019. — С. 96-97.

### ВЛИЯНИЕ ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД\*

Хажыылай Ч.В., Еременко В.А., Янбеков А.М.

Горный институт НИТУ «МИСиС»

Естественное напряженное состояние массива горных пород зависит от многих факторов, включая структурные характеристики массива, прочность горных пород, их обводненность, процессы эрозии, сейсмическую активность и пр. Учесть все факторы практически невозможно из-за различия состава горных пород. Действующие напряжения в массиве отличаются величиной и направлением, а также влиянием таких факторов, как литология, поровое давление и температура.

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

Поровое давление является одним из ключевых параметров при геомеханических исследованиях. Правильный прогноз порового давления позволяет значительно увеличить достоверность и реалистичность геомеханических моделей, уменьшить риски при ведении горных работ. Локализованное поровое давление может привести к возникновению трещин или к снижению эффективной прочности на разрыв, если порода не находится в водонасыщенном состоянии [1].

Если породы водонасыщены, влияние порового давления на неустойчивость подземных выработок и в целом состояние массива горных пород сильно возрастает. В связи с этим влияние порового давления на устойчивость горных пород при разработке месторождений необходимо учитывать всегда.

Влияние порового давления на напряженное состояние массива и само явление порового давления впервые описал Карл Терцаги (1883-1963). Сжимающие напряжения в водонасыщенных грунтах состоят из двух составляющих напряжений: порового и действующего [2].

Поровое давление – это давление, которое действует на поверхности контакта зерен с содержащим пор. Влияние порового давления снижается в областях близких к границам уплотнения и возрастает при увеличении плотности пород.

При увеличении порового давления действующие напряжения уменьшаются, что приводит к ослаблению породы и уменьшению прочности на сдвиг.

Соответственно, напряженное состояние пород на глубине характеризуется полными напряжениями: действующими напряжениями (вертикальными и горизонтальными) и поровым давлением. Значение порового давления для массива равно давлению столба воды и определяется из выражения:

$$i = \gamma_v \cdot H \quad (1)$$

где  $\gamma_v$  – удельный вес воды, кг/м<sup>3</sup>;  $H$  – глубина, м.

Согласно исследованиям Терцаги [3] о действующих напряжениях прочность на сдвиг горной породы на определенной глубине рассчитывается по формуле:

$$\tau_p = (\sigma - i) \operatorname{tg} \varphi \quad (2)$$

где  $\tau_p$  – предельная прочность горной породы на сдвиг, МПа;  $\varphi$  – угол внутреннего трения породы, град;  $\sigma$  – полные напряжения, МПа.

Для условий гравитационного исходного напряженного состояния массива прочность на сдвиг горной породы рассчитывается по формуле:

$$\tau_p = (\gamma_n - \gamma_v) \cdot H \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3)$$

где  $\gamma_n$  – удельный вес породы, кг/м<sup>3</sup>.

Влияние порового давления на напряженное состояние массива горных пород показано на диаграмме Мора (рис. 1). При увеличении порового давления значения действующих напряжений уменьшается, а в диаграмме Мора круг действующих напряжений смещается в сторону начала координат, что означает переход массива горных пород в неустойчивое состояние.

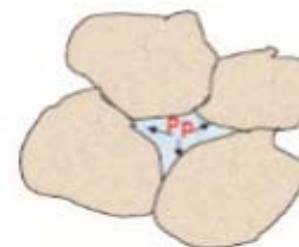


**Рис. 1. Наглядная схема влияния порового давления – оказывает воздействие изнутри на соседние участки горной породы**

При увеличении порового давления значения действующих напряжений уменьшаются, а в диаграмме Мора круг действующих напряжений смещается в сторону начала координат, что приводит к менее устойчивому напряженному состоянию.

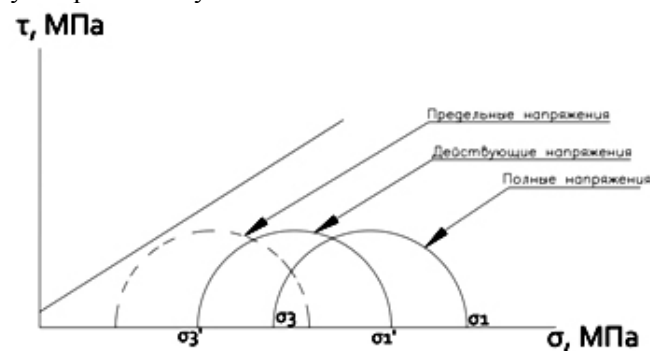


**Рис.2. Влияние порового давления на напряженное состояние**

С увеличением глубины введения горных работ пористость и проницаемость горных пород уменьшаются, что приводит к увеличению действующих напряжений. Пористость уменьшается уже на первых сотнях метров, но у некоторых пород пористость уменьшается значительно медленнее. Несмотря на уменьшение пористости с глубиной, периодически встречаются зоны с высокой пористостью на больших глубинах.

Поровое давление оказывает значительное влияние на напряженно-деформированное состояние массива при разработке водонасыщенных пород.

### Список литературы

1. К. Терцаги. Теория механики грунтов: Пер. с нем. И. С. Утевского / Под общей ред. Чл.-корр. АН СССР проф. Н.А. Цытовича, Москва. – 1961.
2. Д.Х. Троллоп, Х. Бок, Б.С. Бест, К. Уоллес, М.Дж. Фултон. Введение в механику скальных пород: Пер. с англ. / Под ред. Х. Бока. – М.: Мир. – 1983. – 276 с.
3. Хажыылай Ч.В., Еременко В.А., Косырева М.А., Янбеков А.М. Расчет паспорта прочности горных пород находящихся в естественных условиях массива с использованием критерия Хука-Брауна и программы RocData // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — М.: Издательство «Горная книга». — № 12. — 2018. — С. 92-101.

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Базаев С.Ю.<sup>1</sup>, Закоршменный И.М.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет*

<sup>2</sup>*Институт проблем комплексного освоения недр  
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Способы строительства подземных сооружений зависят от гидрологических условий и глубины заложения. Основными являются: открытый, опускной и «стена в грунте». Способы отличаются применяемыми материалами и конструкцией. В условиях городской застройки необходимо сооружение котлованов с вертикальными стенами, что обеспечивается применением ограждающих конструкций. К числу наиболее применяемых относятся:

- **шпунтовое ограждение, выполняемое** из отдельных элементов-шпунтин образующих сплошную стенку стальными сваями (шпунт типа «Ларсен», плоский шпунт, зетовый профиль, а также труба и двутавровые балки и др.) погружаемых в грунт на расчётную глубину методом вибропогружения, забивки или вдавливания;
- **опускная крепь, состоящая** из замкнутых монолитных или сборных оболочек различного очертания, выполненных из материала, обладающего достаточной прочностью, погружаются под действием собственного веса по мере разработки грунта внутри оболочки;
- **стена в грунте, сооружаемая** из монолитного или сборного железобетона в узких траншеях, отрываемых по периметру подземного сооружения на всю его глубину, как правило, до слоёв более плотных грунтов (водопора), чтобы передать значительные нагрузки по подошве стены. Устойчивость обеспечивается с помощью анкеров или распорок.

Наибольшей популярностью у строителей в России пользуются методы «стена в грунте» траншейного типа и ограждения из металлических труб. При этом начиная с глубины котлована более 10 м метод «стена в грунте» занимает лидирующее место со значительным преимуществом (в пределах две третьих от общего объема) [1]. Рассматриваемый способ при правильном соблюдении технологии сооружения ограждения отвечает всем требованиям безопасности строительства в условиях плотной городской застройки. Стена в грунте может возводиться на расстоянии превышающим 0,4 м от действующих зданий и сооружений, не допуская деформаций и сдвижения грунтов на глубину до 60 м [2]. Оборудование ведущих мировых производителей позволяет устраивать траншеи на глубину до 70 м. Основным ограничением применения данного метода является возможность ухода бентонитового раствора в макропористых грунтах, в полости техногенных отложений и инженерные коммуникации при их незначительном удалении от места проведения работ.

В этих условиях и при сложной конфигурации котлована все большее распространение получает применение ограждений из буросекующих свай. Данный метод позволяет разрабатывать котлованы глубиной до 25 м. К основным недостаткам следует отнести худшую по сравнению с траншейным способом гидроизоляцию. При нарушениях технологии сооружения буросекующих свай в водонасыщенных грунтах возможны нарушения герметичности котлована через дефектные стыки.

Сопоставление обобщенных технико-экономических показателей типов ограждения котлованов показывают преимущества применения рассмотренных типов ограждения котлована по всем параметрам за исключением стоимости их реализации [3].

Вместе с этим, учитывая особенности применения указанных способов и затраты на их реализацию особое значение приобретают вопросы контроля качества выполняемых работ, как при сооружении ограждений, так и в процессе эксплуатации.

Методы контроля качества бетона в изготовленных буронабивных сваях, так же как и методы контроля качества бетона в строительных конструкциях, делятся на две группы. К одной относят методы, требующие частичного разрушения бетона в стволах свай, ко второй – так называемые неразрушающие методы, применение которых не связано с нарушением целостности стволов свай.

В первую группу входит метод отбора бетонных кернов из тела сваи путем колонкового бурения скважин в стволе сваи с последующим испытанием на прочность образцов, изготовленных из кернов. Этот метод, используемый для контроля качества бетона, хотя и дает данные о качестве бетона только в местах отбора образцов, позволяет определить фактическую прочность бетона в свае и оценить ее изменение по длине ствола сваи или стены и судить о качестве бетонирования в целом. Вместе с тем метод имеет существенные недостатки: высокую стоимость и малую оперативность из-за низкой скорости бурения бетона. Для косвенной оценки прочности бетона стволов буронабивных свай служит метод отбора образцов бетона при укладке смеси в скважину. Из каждой порции бетонной смеси, укладываемой в скважину, изготавливают контрольные бетонные образцы. Образцы должны набирать прочность, находясь на специальных поддонах в особой скважине на глубине, соответствующей местонахождению порции апробируемого бетона. Контрольные образцы 28 – дневного возраста испытываются на прочность. Следует учитывать, что этот метод может давать искаженные оценки фактической прочности бетона, так как техника укладки бетонной смеси в скважину, ее уплотнение и условия твердения бетона в теле конструкции отличаются от способа изготовления контрольных бетонных образцов.

Ко второй группе методов контроля относят методы неразрушающих механических испытаний и «геофизические» методы, из которых наибольшее распространение получили методы, основанные на выполнении сейсмоакустических, ультразвуковых измерений [3, 4].

Неразрушающие механические испытания при контроле качества бетона могут выполняться лишь на доступной части поверхности огра-

ждающей конструкции и имеют вспомогательный характер. При диагностике оснований методами неразрушающего «геофизического» контроля обычно стоят следующие задачи: определение длины, фактической прочности и наличия дефектов (нарушений и разрывов сплошности). К появлению дефектов в свае могут приводить различные причины, это недостаточный объем бетона на площадке строительства в момент бетонирования, неоправданный перерыв в работах по бетонированию, не герметичность соединения обсадных труб в водонасыщенных грунтах, расслоение бетонной смеси и др.

При сравнении эффективности различных «неразрушающих» методов оценки качества бетона в сваях следует учитывать, что любой способ неразрушающего контроля качества бетона дает при измерениях величины, лишь косвенным образом пересчитываемые в параметры, характеризующие свойства бетона, например, в значения прочности. Результаты геофизических измерений непосредственно позволяют оценить сплошность и однородность бетона, а для полной оценки качества бетона, получаемые при этих измерениях значения физических характеристик должны пересчитываться по корреляционным зависимостям в значения плотности и прочности бетона [4].

Для обеспечения эффективной и практически реализуемой схемы контроля качества ограждающих конструкций глубокого заложения необходимо применение комплексного подхода, включающего анализ результатов испытаний образцов, отобранных из участков заглубленной конструкции, и неразрушающие геофизические обследования и не противоречащие требованиям нормативных документов.

### Список литературы

1. Шуплик М. Н. Анализ специальных способов строительства подземных сооружений в городских условиях // ГИАБ. – 2014. – № S1. – С. 523-546.
2. Петрухин В.П. Ограждающие конструкции котлованов, методы строительства подземных и заглубленных сооружений/В.П. Петрухин, И.В. Колыбин, Д.Е. Разводовский//НИИОСП. – М.
3. Шейнин В.И., Блохин Д.И., Гайсин Р.М., Максимович И.Б., Максимович Ил.Б., Ходарев В.В. Комплексная диагностика технического состояния монолитной «стены в грунте» после длительной консервации // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2014. – №4. – С.19-24.
4. Шейнин В.И., Дзагов А.М., Блохин Д.И., Смилянский А.Л. Оценка качества и прочности бетона с использованием данных ультразвуковых испытаний // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2012. – № 4. – С. 6-11.

## РАЗРАБОТКА СХЕМ ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ ВЫЕМКЕ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ ПЛАСТОВ ДЛИННЫМИ ОЧИСТНЫМИ ЗАБОЯМИ

Громцев К.В.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет*

Темпы добычи калийных руд в мире постоянно возрастают, и такая тенденция будет сохраняться в будущем [1]. Анализ мирового опыта разработки калийных месторождений показывает, что основные проблемы при разработке калийного рудника – это высокий уровень потерь полезного ископаемого и повышенная опасность затопления горных выработок в результате нарушения сплошности водозащитной толщи. Применение закладки выработанного пространства позволяет комплексно решить вышеописанные проблемы. Размещение закладочных массивов в выработанных пространствах лав при разработке соляных пластов недостаточно изучена, и данная комбинация технологий имеет малый опыт применения, поэтому разработка способов размещения закладки и обоснование их параметров является актуальной задачей. На основе мирового опыта применения технологий разработки длинными столбами с закладкой выработанного пространства были разработаны технологические схемы с закладкой выработанного пространства.

На калийных рудниках возможно использование опыта формирования бутовых полос позади лавы (ОАО «Беларуськалий»). Закладка выработанного пространства осуществляется с помощью закладочных комплексов, уставленных в конвейерном, вентиляционном и специально пройденном закладочном штреке, путем доставки сыпучего материала метателями в выработанное пространство лавы. В выработанном пространстве формируются несколько бутовых полос, которые принимают на себя нагрузку вышележащих пород и обеспечат плавное опускание кровли [3].

Достоинства данного способа состоят в возможности размещения пустой породы от проходки выработок в выработанных пространствах и в простоте организации одновременного ведения добычных и закладочных работ. Основным недостатком способа заключается в возникновении в вышележащих породах существенных деформаций, так как при расстоянии между бутовыми полосами более 25 м образуется интенсивная трещиноватость [4]. Также возникают сложности в проходке дополни-

тельных закладочных штреков. Кроме того, данный способ не решает проблему утилизации жидких отходов (глинистых шламов), образующихся в результате обогащения калийной руды.

Другой возможный способ – это полная закладка выработанного пространства. Данный способ применялся на угольных шахтах Китая в виде доставки сыпучего материала за секции крепи в выработанное пространство. Для условий калийных рудников рассмотрен способ гидравлической закладки.

Для внедрения мероприятий закладки в процесс добычи необходимо использование специализированного несерийного оборудования очистного забоя с новыми конструктивными элементами. Секции механизированной крепи должны иметь подзавальное перекрытие, а основание крепи со стороны выработанного пространства должно быть оснащено оградительным щитом для удержания массы закладочного материала в выработанном пространстве. К завальному перекрытию по всей длине лавы прикрепляется рулон непроницаемого крепкого полотна, который раскручивается по мере подвигания забоя и ложится на почву выработанного пространства. Гибкий закладочный забойный пульпопровод подвешивается к секциям механизированного комплекса со стороны завального перекрытия и на равных интервалах по длине лавы имеет отдельные выходы для подачи закладочного материала в выработанное пространство (рис. 1). С учетом скоростей затвердевания и набора прочности современных закладочных массивов, подача закладочного материала по забойному трубопроводу в выработанное пространство лавы должна производиться с остановкой забоя. Закладочный массив должен застывать и набирать прочность в кратчайшие сроки для обеспечения приемлемой скорости подвигания забоя.

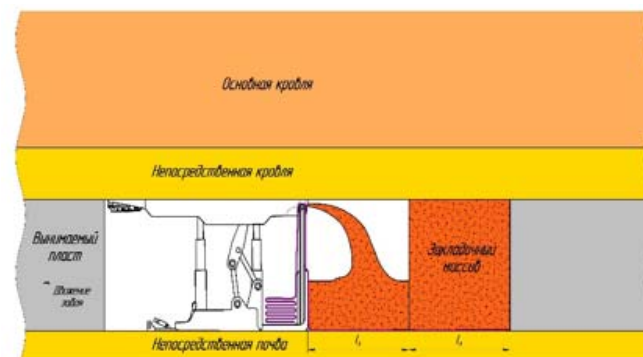


Рис. 1. Полная закладка выработанного пространства

При данном способе обеспечивается минимальное воздействие на механическое состояние пород водозащитной толщи, сводится к минимуму оседание земной поверхности и отсутствуют ограничения во времени по сохранению прочностных характеристик. Способ позволяет максимально размещать отходы обогащения и пустой породы в выработанных пространствах рудника. Недостатки способа заключаются в сложной технологии доставки закладочного материала в выработанное пространство и в значительных затратах на закладочный материал, так как отходы обогащения не покрывают весь объем выработанного пространства. Так же проблемой является простой комплекса в связи с длительным периодом застывания закладочного массива.

В третьем варианте технологии закладка выработанного пространства осуществляется путем формирования за механизированным комплексом полос, параллельных забою лавы. Подача закладочного материала будет вестись с пульпопровода, подвешенного к секциям механизированного комплекса со стороны завального перекрытия в специальные мешки из крепкого полотна, закрепленные в кровле анкерами (рис. 2).

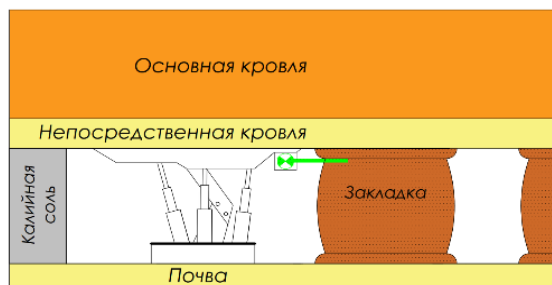


**Рис. 2. Закладка выработанного пространства путем возведения полос параллельных забою лавы**

Данный способ обеспечивает снижение затрат на формирование закладочного массива по отношению к полной закладке. Так как закладочные массивы формируются с определенными интервалами, возникает возможность увязки закладочных и добычных работ во времени.

### **Выводы**

Применение закладки выработанного пространства позволяет разрабатывать калийные пласты длинными очистными забоями, что позволяет повысить коэффициент извлечения полезного ископаемого из недр. В ходе исследования были разработаны способы возведения закладочных массивов позади лав. Каждый из описанных способов применим в

условиях калийных месторождений. Также возможна их комбинация на разных участках для изменяющихся геологических условий. В настоящее время ведется работа по определению параметров закладочных массивов и способу доставки закладочного материала в выработанное пространство лав.

### **Список литературы**

1. Батурин Е.Н. Проблемы освоения крупнейших калийных месторождений мира / Е.Н. Батурин, Е.А. Меньшикова, С.М. Блинов, Д.Ю. Наумов, П.А. Белкин // Современные проблемы науки и образования. Электронный журнал. 2012. № 6.
2. Соловьев В.А. Методическое руководство по ведению горных работ на рудниках Верхнекамского калийного месторождения. / В.А. Соловьев // М.: «Недра», 1992. – 467 с.
3. Инструкция по применению систем разработки на Старобинском месторождении // Белгорхимпром / Солигорск-Минск, 2018.
4. Дешковский В.Н. Разработка методики расчета высоты распространения зоны водопроводящих трещин для столбовых систем разработки с частичной закладкой выработанного пространства в виде бутовых полос. Горная механика №2. стр. 77-84.

## **КЛАССИФИКАЦИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ**

**Голдин С.В., Ягмур А.Б.**

*РАНИМИ, г. Донецк, ДНР*

Одним из основных аспектов при ликвидации шахт Донбасса является погашение вертикальных стволов. Как правило, согласно нормативных документов [1] (п.5.1.1), [2] «ликвидируемые вертикальные и крутые стволы должны быть полностью заполнены закладочным материалом до уровня земной поверхности». Подобное решение, при условии соблюдения всех необходимых мероприятий и технических решений, позволяет достаточно надежно и, при последующей дозасыпке стволов после усадки закладочного материала, практически на неограниченное время обеспечить техническую и экологическую безопасность объектов ликвидации.

К настоящему времени основные проектные решения и технология засыпки стволов достаточно отработаны. Тем не менее, ввиду несистемного подхода к проблемам ликвидации угольных предприятий,

в процессе ликвидации стволов отмечены многочисленные аварийные ситуации, которые можно укрупненно разделить на три основные группы.

К первой группе относятся нарушения, связанные с уходом закладочного материала в горные выработки шахт. Так, в клетевом стволе шахты «Мушкетовская» уход закладочного материала составил по высоте 573 м, а в скиповом стволе шахты «Пролетарская» – 688 м [3], [4]. Следует отметить, что уход закладочного материала наблюдался как в ликвидируемых стволах, так и в уже засыпанных ранее. Основной причиной подобных процессов является техническая невозможность или экономическая нецелесообразность возведения перемычек стволов с примыкающими горными выработками при отсутствии заполнения сопряжений щебнем или иным непросадочным материалом, закладываемого с целью создания упорного слоя. Обычно это происходит в условиях значительной обводненности стволов затопленных шахт. При этом закладочный материал может уходить из ствола либо частично, (заполнив ближайший свободный объем горных выработок и препятствуя таким образом дальнейшему расползанию засыпанного материала), либо полностью как одномоментно, так и в течение длительного времени.

Ко второй группе относятся аварийные ситуации, связанные с зависанием части засыпного материала в стволе и образованием в связи с этим пустот внутри ликвидируемого ствола. В данных случаях пустоты могут достигать значительных размеров. Так, в стволе №1 шахты «Красный Октябрь» ПО «Орджоникидзеуголь» высота образовавшейся полости в стволе составила около 140 м (объем создавшейся полости составляет почти 4000 м<sup>3</sup>), а в стволе №2 шахты им. А. Б. Батова при его засыпке образовалось даже две полости – высотой 50-55 м и около 100 м соответственно. Подобные зависания в непрогнозируемом будущем чреваты обрушением (возможно, вместе с крепью) засыпного материала в образовавшиеся полости, которые могут сопровождаться мощными динамическими и газодинамическими проявлениями, вплоть до сейсмических.

Причинами подобных случаев являются выдавливание нарушенной крепи внутрь ствола или обрыв и расклинивание расположенного в стволе не извлеченного оборудования (трубопроводов, кабелей и т.д.) в сочетании с залповой подачей закладочного материала.

К третьей группе относятся стволы с полностью или частично обрушившимся устьем ствола. Причины частичного или полного разрушения устьев стволов могут быть различны, но общим признаком во всех случаях является естественное или искусственное ослабление

толщи пород, вмещающих устье ствола, главным образом наносов. Засыпка данных стволов либо не производилась (как в случае ствола №5 шахты имени Н. Изотова ПО «Артемуголь», восточный воздухоподающий ствол шахты «Октябрьский рудник», вентиляционная скважина №4 шахты «Родинская»), либо была вымыта в горные выработки шахты подземными водами (ствол шахты № 6-14 ПО «Макеевуголь») [5].

На основании проведенного детального анализа многочисленных аварийных ситуаций, возникших при ликвидации вертикальных шахтных стволов, можно сделать следующие выводы. Предложенная в данной статье классификация аварийных ситуаций позволит более детально определять причины и основные провоцирующие факторы, а также разрабатывать оптимальные мероприятия по их ликвидации. Следует отметить, что применение тех или иных мероприятий при возникновении аварийных ситуаций должно решаться в каждом отдельном конкретном случае с учетом состояния ствола и его устья, его обводненности, наличия и состоянию горных выработок, близости участка расположения ствола к промышленным и гражданским объектам, наличия энергоснабжения и технических возможностям.

### Список литературы

1. КД 12.12.005-2001. Правила ликвидации стволов угольных шахт. – Утв. Министерством топлива и энергетики Украины 15.02.2001 г. – Донецк, 2001. – 122 с..
2. НПАОТ 10.0-1.01-16. Правила безопасности в угольных шахтах. – опубликовано 20.05.2016 года, с изменениями, внесенными на основании Приказа Министерства угля и энергетики Донецкой Народной Республики, Государственного Комитета горного и технического надзора Донецкой Народной Республики от 07.07.2016 № 63/319, от 20.06.2017 № 157/291. – Донецк, 2016. – 217 с
3. Гавриленко, Ю.Н. Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины / Ю.Н. Гавриленко, В.Н. Ермаков, Ю.Ф. Кренида, О.А. Улицкий, В.А. Дрибан//.– Донецк: «Издательство НОРД-ПРЕСС», 2004.– 632 с.
4. Дрибан, В.А. Технология принятия решений по схемам ликвидации вертикальных стволов / В.А. Дрибан, С.В. Голдин // Наукові праці УкрНДМІ НАНУ: сб. науч. тр. – Донецк, 2009. – № 5(1). – С. 477–489.
5. Голдин, С. В. Аварийные ситуации в районе расположения устьев вертикальных стволов / С. В. Голдин // Наукові праці УкрНДМІ НАН України: зб. наук. пр. – Донецьк, 2010. – № 6. – С. 313-322.

## ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТВОЛОВ ЛИКВИДИРУЕМЫХ ШАХТ ДЛЯ ОТКАЧКИ ВОДЫ ПОГРУЖНЫМИ НАСОСАМИ

Хохлов Б.В., Дрибан В.А.

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

Реструктуризация угольной промышленности Донбасса, обусловленная как военными действиями, так и необходимостью повышения рентабельности угледобычи, включает в себя закрытие нерентабельных шахт, что в свою очередь ведет к кардинальному перераспределению гидрогеологического режима.

Регулирование регионального гидрорежима осуществляется путем установления оптимального уровня затопления горных выработок для обеспечения безопасной эксплуатации объектов земной поверхности и безаварийной работы соседних рентабельных шахт. При этом в качестве основного средства управления уровнями затопления предполагается использование погружных насосов, располагаемых в вертикальных шахтных стволах.

Устойчивая работа водоотливного комплекса в первую очередь связана с долговременной геомеханической устойчивостью таких сложных сооружений как шахтные стволы, доступ в которые в ряде случаев отсутствует. При глубоком долговременном водопонижении и последующем водонасыщении околоствольный массив и сами стволы испытывают сложное неравномерное силовое воздействие, проявляющееся в общем вертикальном сжатии-растяжении, зональном вертикальном растяжении и сжатии, сдвигающих и изгибающих усилиях на контактах с дренируемыми и деформируемыми слоями. Это существенным образом изменяет напряженно-деформированное состояние околоствольного массива, связанное с ослаблением физико-механических свойств горных пород при обводнении, в результате чего происходит деформация крепи ствола. Возникает ситуация, когда несущая способность уже ослабленной крепи, не обеспечивает равновесного состояния системы «крепь-массив» в условиях деформирующегося околоствольного массива горных пород, и, как следствие, происходит неизбежное разрушение вертикальных шахтных стволов. В результате нарушения в околоствольном массиве гидростатического баланса зачастую происходит частичное или полное разрушение усть-

ев стволов с образованием воронки разрушения. С учетом того, что вертикальные шахтные стволы обычно бывают большого диаметра [1], [2], глубиной зачастую более километра, имеют множество сопряжений с горизонтальными горными выработками на различных горизонтах, масштабы аварийной ситуации могут быть катастрофическими. Осложняющим фактором в устойчивости водоотливного комплекса является то, что вскрытие шахтного поля осуществлялось вертикальными центрально расположенными сближенными стволами и этажными квершлагами. При проектировании водоотливного комплекса с погружными насосами в одном из стволов необходимо учитывать взаимовлияние сближенных стволов, способы ликвидации не задействованных стволов в процессе откачки воды, вероятность проникновения шлама из засыпанных стволов в действующий, потенциал замены стволов для откачки, возможность интенсивного деформирования земной поверхности на промплощадке водоотливного комплекса.

Таким образом, актуальными являются задачи прогноза долговременной геомеханической устойчивости водоотливных комплексов (ВОК) закрытых шахт. Работа является весьма специфической, самой технически сложной и одной из наиболее дорогостоящих: годовые проектные затраты на погашение стволов составляют около 15 % от плановых затрат на физическую ликвидацию шахты в целом [1].

Работа позволила решить следующие задачи:

- собрана необходимая база горно-геологических, маркшейдерских и горнотехнических данных по шахтам центрального района Донбасса;
- проведен анализ орографических, геологических и горнотехнические условия поддержания стволов;
- выполнена оценка напряженно-деформированного состояния околоствольного массива и крепи вертикальных шахтных стволов;
- проведен расчет долговременной геомеханической устойчивости крепи стволов и проверка ее соответствия горно-геологическим и геомеханическим условиям при затоплении массива;
- определена расчетная бальная оценка состояния крепи стволов;
- выполнено видеообследование и проведена оценка фактического состояния крепи стволов с сопоставлением расчетных и фактических характеристик;
- проведено визуальное обследование состояния устьев стволов;
- выбраны стволы наиболее пригодные для откачки воды погружными насосами по критериям устойчивости;

- проведено моделирование устойчивости стволов в зависимости от уровня затопления, параметров крепи, напряженного состояния околоствольного массива;
- разработаны мероприятий по обеспечению долговременной устойчивости протяженной части стволов и сопряжений с горизонтальными выработками;
- разработаны конструктивные мероприятия по обеспечению устойчивости рабочей зоны погружных насосов;
- разработаны рекомендации по ликвидации стволов, не задействованных в откачке воды погружными насосами;
- составлены планы зон возможных интенсивных деформаций земной поверхности на промплощадках ВОК с их подробным описанием, привязкой и визуализацией в геоинформационной системе *GoogleEarth*;
- разработаны рекомендации по инженерной защите территории;
- выполнены обследования зданий и сооружений и определены объекты, которые могут быть использованы при строительстве ВОК.

В настоящее время работы по данной тематике продолжаются, предлагаемая методика обеспечения долговременной устойчивости стволов, планируемых для откачки воды погружными насосами, проходит апробацию на шахтах Донбасса.

В РАНИМИ имеется обширный опыт [3] в решении задач ликвидации угольных предприятий. В частности, в течении последних 15 лет разработано более 60 рекомендаций по ликвидации вертикальных шахтных стволов без их физической засыпки (обеспечение долговременной устойчивости) при закрытии шахт.

#### Список литературы

1. Дрибан, В. А. Технология принятия решения по схемам ликвидации вертикальных стволов / В. А. Дрибан, С. В. Голдин // Наукові праці УкрНДМІ НАН України: зб. наук. пр. – Донецьк, 2009. – № 5 (I). – С. 477-489.
2. Хохлов, Б. В. История развития представлений о мерах охраны и поддержания технических скважин / Б. В. Хохлов // Наукові праці УкрНДМІ НАН України: зб. наук. пр. – Донецьк, 2011. – № 9 (I). – С. 37-48.
3. Дрибан, В. А. Мониторинг вертикальных горных выработок, имеющих выход на земную поверхность, при реструктуризации горных предприятий / В. А. Дрибан, Б. В. Хохлов // Материалы 3-й Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса» Том 1. «Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве». – Донецьк, 2017. – С. 41-46.

## ИЗМЕНЕНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Терлецкий А. М., Рожко М. Д.

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

При ликвидации нерентабельных угольных шахт Донбасса происходит затопление вертикальных шахтных стволов. Стволы ликвидируются путем засыпки либо используются для поддержания экологически безопасного уровня воды. Для этого в стволе размещаются погружные насосы, позволяющие регулировать уровень затопления. В данных условиях возникают новые задачи, связанные с необходимостью обеспечить долговременную устойчивость затопленного ствола.

Определение устойчивости крепи вертикальных стволов и мероприятия по их ликвидации (мокрой консервации) производятся согласно действующим нормативным документам [1-3], которые объективно учитывают многочисленные факторы, оказывающие влияние на условия поддержания стволов. Тем не менее, при затоплении горного массива данные методики не в полной степени учитывают изменяющиеся условия поддержания. Это объясняется, тем, что при затоплении шахт происходит полное водонасыщение углепородного массива и существенно изменяются его физико-механические характеристики – прочностные, деформационные и реологические. Изменение реологических свойств горных пород проявляется через значительный промежуток времени, который может составлять десятки лет, а изменение их прочностных и деформационных характеристик – почти сразу же после затопления соответствующего слоя. В этом случае напряженно-деформированное состояние обводненного горного массива можно характеризовать как упругопластическое состояние с более выраженными пластическими свойствами.

Влияние изменения прочностных и деформационных характеристик обводненного массива проявляется в следующих аспектах:

- увеличение радиального давления вследствие ослабления прочностных свойств;
- снижение неравномерности нагрузок от давления пород на крепь ствола за счет роста гидростатического давления;
- снижение концентрации напряжений от очистных и подготовительных выработок вследствие увеличившейся пластичности обводненного массива.

Поскольку все изменения физико-механических свойств учитываются комплексно, необходимо с достаточной точностью знать фактические величины изменения свойств горных пород при их водонасыщении. Наиболее изученными являются изменения прочностных характеристик [4, 5]. При отсутствии фактических данных можно воспользоваться коэффициентом  $k_w$ , значения которого для различных пород приведены в таблице 1 [1].

**Таблица 1 – Параметры разупрочнения обводненных пород**

| Тип пород                          | $k_w$   |
|------------------------------------|---------|
| Песчаники и сланцы кремнистые      | 0,8     |
| Песчаники известковые и известняки | 0,7     |
| Песчаники глинистые и алевролиты   | 0,6     |
| Аргиллиты и мергели                | 0,5     |
| Глины                              | 0,4-0,5 |

Менее изученными являются деформационные свойства горных пород, в частности, их изменение при водонасыщении. При длительных процессах, характерных для долговременного поддержания выработок, определяющими являются именно пластические свойства горных пород.

Упругопластическое состояние горных пород характеризуется двумя показателями – модулем упругости  $E$  и коэффициентом Пуассона  $\mu$ . Определение данных показателей при строительстве шахты не проводится, поэтому в расчетах принимаются их средние значения для конкретного региона. Необходимо учитывать, что изменения модуля упругости и коэффициента Пуассона при водонасыщении пород, недостаточно изучены. Это связано с тем, что ранее при ликвидации шахт не существовало затопленных объектов поддержания (в частности, стволов) и подобные исследования были неактуальны. Согласно отдельным исследованиям [5-7] при водонасыщении модуль упругости горных пород снижается на 24-35 %, а коэффициент Пуассона возрастает на 18-27 %. Для инженерных расчетов модуля упругости целесообразно использовать известные зависимости его от прочностных свойств с учетом их изменения при водонасыщении [8].

На основании анализа фактических данных, произведен расчет изменения упругих характеристик горных пород околоствольных массивов при полном затоплении шахт «Красный Октябрь» и «Красный Профинтерн» Центрального района Донбасса (глубина около 1000 м). Проведенные расчеты показывают, что в результате водонасыщения средний модуль упругости снижается с 18,1-19,7 ГПа до 12,3-13,4 ГПа, ко-

эффициент Пуассона возрастает с 0,366-0,371 до 0,427-0,441. В результате повышения пластичности массива расчетный коэффициент концентрации опорного давления составит 68,7-77,1 % от первоначального уровня.

В дальнейшем планируется результаты данных исследований использовать при разработке нового нормативного документа по охране и поддержанию горных выработок.

### **Выводы**

- при затоплении горного массива происходят изменения физико-механических свойств, которые влияют на поддержание горных выработок как позитивно, так и негативно;
- изменения свойств горного массива происходят непрерывно, по мере повышения уровня воды и водонасыщения очередного слоя, поэтому при определении устойчивости стволов стало возможным проводить оценку для любого уровня затопления, осуществляя, таким образом, моделирование определения радиальных нагрузок на крепь стволов при различных уровнях затопления;
- учет изменений позволяет более точно определить меры, необходимые для обеспечения долговременной устойчивости крепи вертикальных выработок при размещении погружных насосов.

### **Список литературы**

1. КД 12.01.01.201-98 Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания. – Утв. Минуглепромом Украины 25.06.98. – Донецк: УкрНИМИ, 1998. – 154 с.
2. КД 12.12.005-2001 Правила ликвидации стволов угольных шахт./ ОАО «Донгипрошахт» и УкрНИМИ: Утв. Министерством топлива и энергетики Украины 15.02.2001 г. – Донецк, 2001. – 122 с.
3. ГСТУ 101.00159226.001-2003. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом. – Введ. 2004-01-01. – Донецк: УкрНИМИ, 2003. – 128 с.
4. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. – М.: Недра, 1975. – 260 с.
5. Янукович, В.Ф. Решение геоэкологических и социальных проблем при эксплуатации и закрытии угольных шахт / В. Ф Янукович, Н. Я. Азаров, Ф. В. Алексеев. – Донецк: ООО «Алан», 2002. – 480 с.
6. Питаленко, Е. И. Влияние увлажнения горного массива на активизацию геомеханических процессов при закрытии угольных шахт./ Е.И. Питаленко, В.В. Васютин, В.Н. Ревва/ Наукові праці УкрНДМІ НАН України: зб.наук.пр. – № 8.– 2011. – С. 117- 127.

7. Сукнёв С.В. Определение статического модуля упругости и коэффициента Пуассона горных пород при изменении влажности /С.В. Сукнёв // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 7. – С. 108-116.

8. Карташов, Ю.М. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов, Б.В. Матвеев, Г.В. Михеев, А.Б. Фадеев. М.: Недра, 1979. – 270 с

### МЕТОД МИКРО- И НАНОИНДЕНТИРОВАНИЯ КАК СПОСОБ ОЦЕНКИ ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД НА РАЗНЫХ МАСШТАБНЫХ УРОВНЯХ

Пирожкова Т.С.<sup>1</sup>, Головин Ю.И.<sup>1</sup>, Тюрин А.И.<sup>1</sup>, Кочанов А.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт  
«Нанотехнологии и наноматериалы»,

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет  
имени Г.Р.Державина

<sup>2</sup>Институт проблем комплексного освоения недр  
им. академика Н.В. Мельникова РАН

В настоящее время метод внедрения индентора в поверхность материалов превратился в инструмент, позволяющий изучать закономерности их деформационного поведения на разных масштабных уровнях, в том числе и на микро- наноуровнях, варьируя нагрузку, глубину и время нагружения [1-3]. При реализации данного метода осуществляется непрерывной мониторинг в реальном времени кинетики погружения индентора известной геометрии в поверхность материала в условиях действия высоких локальных напряжений. Анализ получаемой в результате такого испытания диаграммы нагружения (характерной  $P(h)$  – диаграммы, где  $P$  – нагрузка прикладываемая к индентору,  $h$  – глубина внедрения индентора), дает возможность оценки более десяти физико-механических характеристик, в том числе оценить твердость –  $H$ , модуль Юнга –  $E$  и коэффициент вязкости разрушения –  $K_{IC}$ .

С применением методов нано- и микроиндентирования для оценки упругих и прочностных свойств горных пород и минералов (модуля Юнга, твердости, вязкости разрушения) проведены экспериментальные исследования, основные их полученные результаты опубликованы в работах [4-7]. Измерение  $H$  и  $E$  в макро-, микро- и нанодиапазонах проводили на твердомерах DuraminA300 фирмы Struers (Дания), комбинированном динамическом нано-и микроиндентометре (DNT-3M) собст-

венной разработки коллектива НОЦ «Нанотехнологии и наноматериалы» ТГУ имени Г.Р. Державина и трибонаноиндентометре Ti-950 фирмы Hysitron (США) с использованием трехгранного алмазного индентора Берковича.

Влияние масштабного фактора на величины твердости  $H$  и модуля Юнга  $E$  исследовалось для минеральных компонентов железистого кварцита. Из полученных данных следует, что по мере увеличения глубины проникновения индентора наблюдается уменьшение твердости, и эта тенденция наблюдается для всех минеральных компонентов. В макрообласти ( $h \geq 20$ -50 мкм) масштабный фактор в твердости  $H$  практически отсутствует ( $H = \text{const}$ ). Для магнетита масштабный фактор проявляется в интервале глубин отпечатка  $h$  (от 80 нм и по меньшей мере до 8-9 мкм), а для гематита – от 100 нм до 20 мкм. Для кварца в широком диапазоне  $h$  (от 70 нм до нескольких мкм) наблюдается участок имеющий  $H = \text{const}$ . С увеличением глубины внедрения происходит также уменьшение значений модуля Юнга для всех порообразующих минералов вплоть до глубины внедрения 200-300 нм, затем, при дальнейшем увеличении глубины внедрения, значения модуля Юнга остаются неизменными.

Для оценки вязкости разрушения различных минеральных компонентов и их межзеренных границ использовался динамический наноиндентометр PMT-NI. Длина трещин в углах отпечатка измерялась с помощью оптического микроскопа AxioObserver, CarlZeiss (Германия). Для минеральных компонентов горных пород и на границах отдельных минеральных зерен определены значения вязкости разрушения  $K_{IC}$ .

В заключении можно отметить, что неразрушающие методы микро- и наноиндентирования могут быть с успехом применены для количественной оценки механических свойств горных пород, отдельных элементов их структуры (зерен, границ срастания) и для выявления атомных механизмов их деформации и разрушения.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 17-48-680817).

### Список литературы

1. Bhushan B. Springer Handbook of Nanotechnology. Berlin: Springer. 2010. 1968 p.
2. Головин Ю.И. Наноиндентирование и его возможности. М.: Машиностроение. 2009. 312 с.
3. Головин Ю.И., Тюрин А.И. Современные проблемы нано-и микро-твердости твердых тел // Материаловедение. 2001. № 1. С. 14
4. Головин Ю.И., Тюрин А.И., Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Пирожкова Т.С. Размерные эффекты и картирование физико-механических свойств

отдельных фаз и межфазных границ поликристаллических материалов // Известия РАН. Серия физическая. 2018. том 82. № 7. С.945-950.

5. Викторов С.Д., Головин Ю.И., Кочанов А.Н., Тюрин А.И. и др. Оценка прочностных и деформационных характеристик минеральных компонентов горных пород методом микро- и наноиндентирования // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. №4. С.46-54.

6. Головин Ю.И., Викторов С.Д., Тюрин А.И., Кочанов А.Н., Шуклинов А.В., Пирожкова Т.С. Размерные эффекты упругих и прочностных свойств отдельных фаз и межфазовых границ поликристаллических материалов // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2016. Т. 80. № 5. С. 573-577.

7. Викторов С.Д., Тюрин А.И., Кочанов А.Н., Шуклинов А.В., Пирожкова Т.С., Шуварин И.А. Исследование твердости и вязкости разрушения отдельных фаз и межфазных границ горных пород методами микро- и наноиндентирования // ГИАБ. №12. С.124-133.

## **СКАНИРОВАНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ АППАРАТУРОЙ «ЛОЗА» НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ КОЧКАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**Аверин А.П., Белоусов Ф.С.**

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

Объектом исследований является земная поверхность над разрабатываемыми золоторудными жилами Кочкарского месторождения в опасных зонах в районе города Пласт Челябинской области.

В данной работе отражены предварительные результаты георадарного обследования состояния геологических слоев грунта Кочкарского месторождения в июне 2019 года.

Георадар «ЛОЗА-В» – переносной импульсный радиолокатор подповерхностного зондирования повышенной мощности с отображением радиолокационных профилей в процессе измерения. Георадар предназначен для зондирования почвы до глубины в несколько десятков метров, локализации с высокой точностью объектов и предметов искусственного и естественного происхождения в грунте, определения глубины залегания и характера поверхности.

Профилирование выполняется отдельными продольными и поперечными профилями на обследуемом участке – для изучения геологической структуры грунта. Георадар с приемно-передающими антеннами перемещается вдоль профиля с шагом зондирования 20 см, который позволяет обеспечить высокое качество профилирования.

Результаты измерений выводятся на экран прибора в виде радарограммы, фиксирующей время прихода сигнала, отраженного от границ раздела сред, для каждой точки измерения. Время прихода отраженного сигнала зависит от глубины залегания отражающей поверхности и скорости распространения волны в грунте.

Основная задача обследования состояла в выявлении характерных особенностей на радарограммах, характеризующих грунты вблизи провалов и последующий поиск потенциально опасных участков на профилях, пройденных вдоль будущих геодезических реперных станций.

На данном этапе представлены предварительные результаты обработки одного профиля и приведены наиболее информативные разрезы по нему.

Профиль (рис. 1) выполнен по ровной песчаной насыпи мощностью около 5 метров. Длина профиля 359,4.



**Рис. 1. Расположение профиля**

Решение о наличии области разуплотнения производится по ряду признаков, которые можно наблюдать в зарегистрированном волновом поле. Характерными признаками разуплотнения являются:

1. Появление звонков (длительных, слабо затухающих гармонических компонент в сигнале). Обычно эти особенности появляются из-за пробега волнового пакета либо его отражения от области с высокой проводимостью.

Высокая проводимость может наблюдаться в разуплотнённых грунтах из-за того, что они часто являются местами сбора и перетока грунтовых вод.

2. Изменчивость осей синфазности (их просадки, разрывы, раздвоение). Наблюдается из-за того, что в областях разуплотнения может наблюдаться расслоение в толще грунтового массива, либо изменение положения границ, вызванных просадками массива.

3. Хаотическая волновая картина. Характеризуется множественными разрывами в осях синфазности и резкими перепадами. Возникает из-за большого количества объектов в области разуплотнения.

На рис. 1-3 представлены примеры полученных радиоизображений. На представленных радарограммах использованы следующие обозначения: ВП – воздушная помеха; ОС – ось синфазности.

Пример, когда в зарегистрированном волновом поле проявляется «звон», хорошо виден на рис. 2. При другой обработке этого же профиля (см. рис. 3) хорошо просматривается просадка оси синфазности, говорящая о возможном нарушении хода литологических границ.

Хаотическая волновая картина просматривается на другом участке профиля на рис. 4.

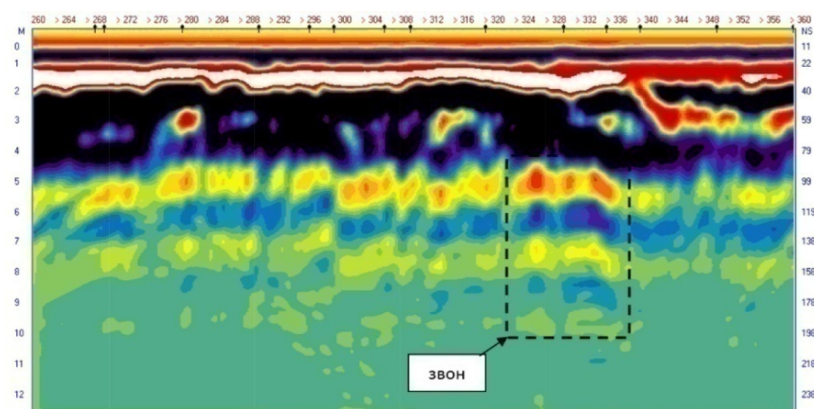


Рис. 2. Радарограмма профиля участка 260-360м. Обработка №1

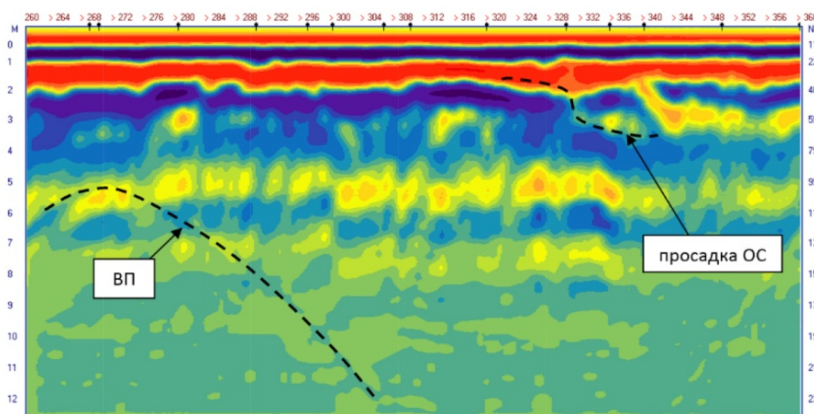


Рис. 3. Радарограмма профиля участка 260-360м. Обработка №2

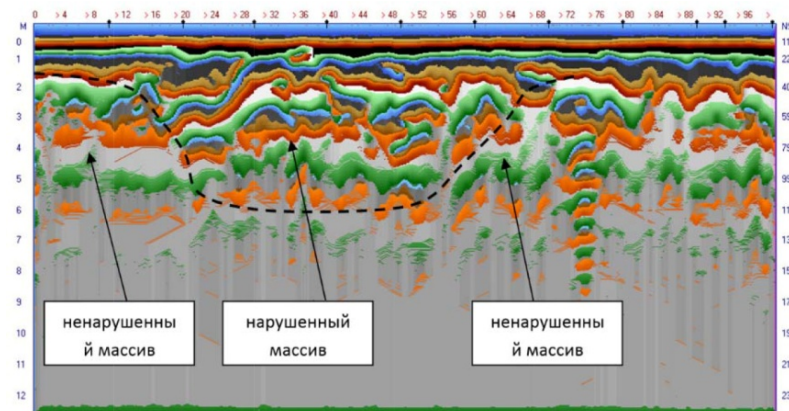


Рис. 4. Радарограмма профиля «ПР4». Участок 0-100м

В результате проведенных исследований определены критерии выделения потенциально опасных участков по профильным линиям. С учетом выделенных зон будут заложены профили наблюдательных реперных станций для контроля процесса деформаций поверхности.

#### Список литературы

- 1.Финкельштейн В.И., Мендельсон В.Л., Кутаев В.А. Радиолокация слоистых земных покровов. Издание «Советское радио», Москва, 1977.
2. Набатов В.В., Гайсин Р.М. Георадиолокационное обследование массивов горных пород вблизи эксплуатирующихся коллекторов с целью выявления областей разуплотнения. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 11. С. 60-68.

#### ГЛУБИНА ПРОНИКНОВЕНИЯ ТРЕЩИН В МАССИВ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ВЗРЫВЕ

Шляпин А.В., Казаков Н.Н.

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

Повреждаемость еще не отработанного горного массива, охранных целиков, и различных подземных объектов под карьером, при ведении в карьере буровзрывных работ, оценивается по нескольким параметрам, в том числе по проникновению техногенных радиальных трещин в горный массив и по оживлению ранее «залеченных» естественных трещин.

Для численного решения этих вопросов в конкретных горно-геологических условиях необходимо знать физические и технологические свойства горных пород и горного массива карьера. [1]

В ИПКОН РАН разработана компьютерная методика, определения численных значений глубины проникновения техногенных трещин в массив горных пород, при ведении БВР. Критерием глубины проникновения техногенных трещин в массив горных пород, является равенство максимального растягивающего напряжения в массиве, пределу прочности породы на растяжение.

Эта методика позволяет также определить предельные расстояния от центра взрыва до внешнего контура, возможного «оживления» ранее «залеченных» естественных трещин. Критерием нахождения такого контура, является равенство максимального растягивающего напряжения в массиве, для всех горных пород, пределу прочности на растяжение горных пород третьей категории крепости по шкале М.М. Протодьяконова.

Ключевыми моментами решаемой задачи являются определение радиусов излучения волны напряжений  $R_d$ , длины волны  $\Lambda$  и начальной максимальной массовой скорости частиц в волне напряжений  $U_n$  на границе излучения. [2,3]

$$R_d = r_p \sqrt{\frac{\rho c^2}{4\sigma_{сж}}}; \quad \Lambda = 3R_d; \quad U_n = \frac{c\sigma_{сж}(1-\mu^2)}{E(1-0.36\mu)}.$$

На Рис.1. представлен фрагмент компьютерной программы с начальными условиями расчета.

Рис. 2. Фрагмент компьютерной программы определения радиально-го и растягивающего тангенциального напряжения.

На Рис.3. представлен фрагмент компьютерной таблицы расчетных величин напряжений на разных расстояниях от центра скважины диаметром 250 мм.

В таблице представлены пошаговые, расчетные значения расстояния от центра скважинного поперечного сечения в метрах, радиальные и тангенциальные (растягивающие) напряжения в МПа, и максимальные значения массовой скорости частиц на разных расстояниях от центра скважины в м/с.

**Максимальная массовая скорость и тангенциальные растягивающие напряжения в волне напряжений**  
 Для каждой породы свое значение предела прочности на сжатие

$\sigma_{сж} := 50600000$  Па       $\sigma_{1сж} := \frac{\sigma_{сж}}{100000}$        $\sigma_{1сж} = 506$   $\frac{\text{Кг}}{\text{см}^2}$   
 $\sigma_{2сж} := \frac{\sigma_{сж}}{1000000}$        $\sigma_{2сж} = 50.6$  МПа

Для каждой породы свое значение предела прочности на растяжение

$\sigma_p := 5500000$  Па       $\sigma_{1p} := \frac{\sigma_p}{100000}$        $\sigma_{1p} = 55$   $\frac{\text{Кг}}{\text{см}^2}$   
 $\sigma_{2p} := \frac{\sigma_p}{1000000}$        $\sigma_{2p} = 5.5$  МПа

Для всех пород одно значение предельного предела прочности на растяжение

$\sigma_{рп} := 3000000$  Па       $\sigma_{р1п} := \frac{\sigma_{рп}}{100000}$        $\sigma_{р1п} = 30$   $\frac{\text{Кг}}{\text{см}^2}$   
 $\sigma_{2рп} := \frac{\sigma_{рп}}{1000000}$        $\sigma_{2рп} = 3$  МПа

Для каждой породы свое значение модуля упругости, коэф. Пуассона и скорость продольной волны в породе

$E := 21500000000$  Па       $E1 := \frac{E}{100000}$        $E1 = 215000$   $\frac{\text{Кг}}{\text{см}^2}$   
 $\mu := 0.17$        $c := 3000$   $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

$\rho := 2950$   $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$       Объемный вес (масса) породы  
 Плотность заряжения для каждого типа взрывчатого вещества  
 ВВ - Гранулит 79/21  
 $\rho_0 := 900$   $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$   
 $Q := 1000$  ккал/кг;      Теплота взрыва ВВ  
 Радиус заряда (скважины) выбирается по условиям работ в карьере  
 $r_0 := 0.065$  м       $L := 1$  м

Рис. 1. Фрагмент компьютерной программы с начальными условиями

**Одна скважина**

$r := R_n, R_n + \Delta R \dots 60$        $\Delta R := 1.0$

$U(r) := U_n \cdot \left(\frac{R_n}{r}\right)^{1.1}$        $\varepsilon_r(r) := \frac{0.77 U(r)}{c}$        $\varepsilon_\Theta(r) := \frac{0.2 \cdot U(r) \cdot \Lambda}{c \cdot r}$

$\sigma_\Theta(r) := \frac{E \cdot (\varepsilon_\Theta(r) + \mu \cdot \varepsilon_r(r))}{1 - \mu^2}$        $\sigma_r(r) := \frac{E \cdot (\varepsilon_r(r) + \mu \cdot \varepsilon_\Theta(r))}{1 - \mu^2}$

$\sigma_\Theta(r) := \frac{\sigma_\Theta(r)}{1000000}$        $\sigma_r(r) := \frac{\sigma_r(r)}{1000000}$

Рис. 2. Фрагмент компьютерной программы определения радиального и растягивающего тангенциального напряжения

| $r =$ | $\sigma_r(r)$ | $\sigma_\theta(r)$ | $U(r)$ |
|-------|---------------|--------------------|--------|
| 4     | 45            | 37.8               | 7      |
| 5     | 35            | 25.3               | 5.5    |
| 6     | 28            | 18.2               | 4.6    |
| 7     | 24            | 13.9               | 3.9    |
| 8     | 21            | 11                 | 3.4    |
| 9     | 18            | 8.9                | 3      |
| 10    | 16            | 7.5                | 2.7    |
| 11    | 14            | 6.3                | 2.4    |
| 12    | 13            | 5.5                | 2.2    |
| 13    | 12            | 4.8                | 2      |
| 14    | 11            | 4.2                | 1.9    |
| 15    | 10            | 3.8                | 1.7    |
| 16    | 9             | 3.4                | 1.6    |
| 17    | 9             | 3.1                | 1.5    |

Рис.3. Фрагмент компьютерной таблицы величины напряжений на разных расстояниях от центра скважины диаметром 250 мм

Величина растягивающего тангенциального напряжения  $\sigma_r(\theta)$  на внешней границе трещинообразования, и расстояние от центра взрыва до границы возможного оживления ранее залеченных трещин, указаны на рис. 3 стрелками. [4,5]

#### Заключение

1. Интенсивность радиальных трещин с удалением от центра взрыва интенсивно убывает. До 12 метровой отметки проникнут лишь отдельные трещины.

2. Глубина возможного оживления ранее залеченных трещин, в нашем примере, может достигать глубины 17 метров от центра скважинного заряда, в этом варианте взрывания.

#### Список литературы

1. Сборник (кадастр) физических горных пород. Под ред. акад. Н.В. Мельникова и др. – М.: Недра, 1975.
2. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Разрушение породы волновой фазой взрыва в верхней концевой части скважинного заряда. Сборник «Взрывное дело» Выпуск №112/69. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2014. – С.33-46.
3. Казаков Н.Н., Шляпин А.В., Лапиков И.Н. Многофазная и многозонная теория технологического дробления горных пород взрывом. Международная научно-практическая конференция «50 лет Российской научной школе комплексного освоения недр земли». – М.: ИПКОН РАН, 2017. – С.56-59.

4. Казаков Н.Н. Теоретические основы процессов технологического дробления горных пород взрывом группы зарядов. Сборник «Взрывное дело» Выпуск №117/74. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2017. – С.19-36.

5. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Определение тензорного напряженно-деформированного состояния горных пород при взрыве скважинного заряда. Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск №1. – М.: Мир горной книги, 2018.

## ГЛАВНАЯ ФАЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ДРОБЛЕНИЯ ПОРОД ВЗРЫВОМ

Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В.

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

Технологическое дробление горных пород взрывом в карьерах является процессом многофазным и многозонным. Взрывом скважинного заряда наибольший объем породы, до технологически приемлемой крупности, дробиться цилиндрической квазистатической фазой процесса, развивающегося в массиве горных пород при второй стадии расширения газовой полости. Многие ученые считают, что главным дробящим фактором является волна напряжений, хотя она выносит в горный массив очень малую величину энергии взрыва.

В ИПКОН РАН разработана теория цилиндрической квазистатической фазы в среднем слое карьерного блока. [1-3]

На рисунке 1 представлены: вид квазистатической полости в метровом слое уступа; вид поперечного сечения квазистатической полости к концу ее развития; предложенная авторами модель поперечного сечения полости к концу ее развития. Серым цветом у вида полости показан массив горных пород, желтым выделена газовая полость, красным кружочком показано поперечное сечение скважинного заряда. Необходимо отметить, что цилиндрическая квазистатическая полость, как часть всей квазистатической полости, формируется по всей длине скважинного заряда, расположенной выше поверхности нижнего уступа. Но привязка расчетов к метровому слою удобна, и с точки зрения перехода к заряду любой длины, и с точки зрения определения параметров полости, и ее объема.

Путь к решению задачи лежит через определение объема квазистатической полости к концу ее развития. Объем полости есть площадь поперечного сечения умноженная на длину отрезка скважины.

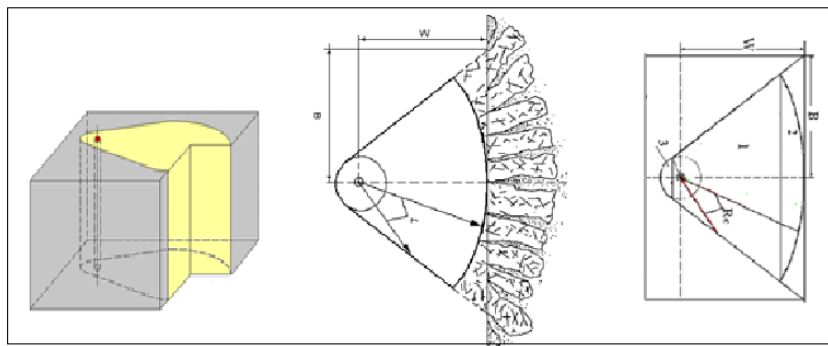


**Рис. 1. Вид полости в метровом слое, вид поперечного сечения полости и принятая модель поперечного сечения полости**

По принятой модели поперечного сечения, площадь поперечного сечения состоит из трех площадей: площади трапеции и площадей двух, примыкающих к трапеции, сегментов. Определение площади поперечного сечения и объема полости задача громоздкая, но исключительно геометрическая.

Давление и остаточная энергия в газовой полости к концу второй стадии ее расширения определяется по формулам

$$P_n = P \left( \frac{V_1}{V_n} \right)^{1,3}; \quad \mathfrak{E}_{02} = \frac{P_n V_n}{0,3}.$$

Энергия разрушения цилиндрической квазистатической фазы взрыва и энергия разрушения в слое метровой толщины определяются по формулам

$$\mathfrak{E}_{pkвз} = \mathfrak{E}_{01} - \mathfrak{E}_{02}; \quad \mathfrak{E}_{pkвс} = \frac{\mathfrak{E}_{01}}{L_{зар}}.$$

Полученные таким образом материалы, дают возможность, с использованием разработанных компьютерных программ, составить баланс распределения энергии скважинного заряда.

Цифровой материал по результатам расчета представлен по конкретному варианту. Высота уступа 15 метров. Порода гранит. Заряд тротила диаметром 250 мм. Энергия заряда в 1 метре заряда 44 кг.

|                              |
|------------------------------|
| $\mathfrak{E}_3 = 100 \%$    |
| $\mathfrak{E}_{км} = 38 \%$  |
| $\mathfrak{E}_{вз} = 3 \%$   |
| $\mathfrak{E}_{квз} = 48 \%$ |
| $\mathfrak{E}_{раз} = 11 \%$ |

**Рис. 2. Распределение энергии скважинного заряда по фазам процесса**

На рис. 2 представлено распределения энергии скважинного заряда (верхняя строке – 100%) по фазам процесса воздействия взрыва на массив горных пород в карьере. Во второй строке 38% энергии заряда передается в ближнюю камуфлетную зону. Несмотря на значительную часть энергии переданной в камуфлетную зону она затрачивается на очень мелкое дробление небольшого объема породы.

В третьей строке 3% энергии заряда передано в волну напряжений. Этой энергии очень мало для технологического дробления породы взрывом.

В четвертой строке 48% передано в квазистатическую фазу взрыва. В эту фазу передано в 16 раз больше энергии, чем в волну напряжений. Но эту энергию нужно распределить по направлениям, а затем распределить вдоль каждого направления. И только после такого распределения можно решать задачу о крупности дробления горных пород квазистатической фазой взрыва.

В последней пятой строке таблицы представлено 11% энергии, затрачиваемой на отброс породы от забоя и на формирование развала отбитой горной массы.

Чтобы определить крупность дробления горной породы цилиндрической квазистатической фазой взрыва, нужно предварительно решить две задачи: распределить энергию разрушения квазистатической фазы по произвольно выбираемым направлениям; распределить энергию разрушения в направлении по расчетным объемам произвольно выбираемой толщины.

На рис. 3 представлен фрагмент компьютерной программы определения энергии разрушения по выбранному направлению. Величина энергии по направлению зависит от площади поперечного сечения выбранного направления и от количества всех направлений такого поперечного сечения. В демонстрационном примере определяется энергия разрушения цилиндрической квазистатической фазы выбираемой с углом раствора в 1 градус. Программа выбирает параметры воронки  $w=7$  м и  $B=7$  м, соответствующие этому направлению. В нашем примере, по заданным направления с таким углом раствора, энергия разрушения по направлению составляет 906002 Дж.

Выбор направления в 1 метровом слое  
 $\alpha := 0, \Delta\alpha \dots \alpha 1$   
 Выбираем произвольно нужное нам  $\alpha$   
 $\alpha := 1 \quad w = 7 \quad B = 7$   
 Расстояния до внешней границы полости  
 $R1\pi(\alpha) := \sqrt{(w - B)^2 + B^2 + 2 \cdot (w - B) \cdot B \cdot \cos\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right)}$   
 $R3\pi(\alpha) := \frac{r\pi}{\cos\left[(\alpha 1 - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180}\right]}$   
 $R\pi(\alpha) := \begin{cases} R1\pi(\alpha) & \text{if } \alpha < \beta \\ R3\pi(\alpha) & \text{if } \alpha \geq \beta \end{cases} \quad R\pi(\alpha) = 7$   
 Расстояния до внешней границы зоны расчета  
 $Rr1(\alpha) := \frac{w}{\cos\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right)} \quad Rr2(\alpha) := \frac{B}{\cos\left[(90 - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180}\right]}$   
 $Rr(\alpha) := \begin{cases} Rr1(\alpha) & \text{if } \alpha < \beta \\ Rr2(\alpha) & \text{if } \alpha \geq \beta \end{cases} \quad Rr(\alpha) = 7 \quad \text{Записываем} \quad Rr := 7$   
 Величина смещение по направлению  
 $L1(\alpha) := R\pi(\alpha) - r\pi \quad L1(\alpha) = 6.763$   
 Энергия разрушения в выбранном направлении  
 $\text{Эр1квз}(\alpha) := L1(\alpha) \cdot \text{Эр1с} \quad \text{Эр1квз}(\alpha) = 906002 \quad \text{Дж}$   
 Записываем  $\text{Эр1квз} := 906002$

Рис. 3. Фрагмент программы определения энергии разрушения по выбираемому направлению

На рис. 4 представлен фрагмент программы с рассчитанными в каждом расчетном объеме по одному направлению: величинами расчетного объема, энергии, плотности энергии в каждом расчетном объеме, и крупности кусков в метрах в каждом расчетном объеме.

| Размер крупности кусков по выбранному направлению при $\alpha=45$ |                 |                       |                                    |               |       |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|---------------|-------|
| R =                                                               | $\text{Э}(R) =$ | $\Delta\text{Э}(R) =$ | $\Delta V(R) = \Pi\text{Э1ц}(R) =$ | $dk_{ц}(R) =$ |       |
| 0.125                                                             | 906491          | 0                     | 0                                  | 0             | 0     |
| 1.125                                                             | 616553          | 289938                | 0.028                              | 10223         | 0.028 |
| 2.125                                                             | 496457          | 120096                | 0.046                              | 2621          | 0.11  |
| 3.125                                                             | 404304          | 92153                 | 0.063                              | 1457          | 0.198 |
| 4.125                                                             | 326615          | 77689                 | 0.081                              | 962           | 0.299 |
| 5.125                                                             | 258170          | 68445                 | 0.098                              | 697           | 0.413 |
| 6.125                                                             | 196291          | 61879                 | 0.116                              | 535           | 0.538 |
| 7.125                                                             | 139387          | 56904                 | 0.133                              | 428           | 0.674 |
| 8.125                                                             | 86423           | 52965                 | 0.151                              | 352           | 0.819 |
| 9.125                                                             | 36677           | 49745                 | 0.168                              | 296           | 0.973 |
| 10.125                                                            | -10373          | 47050                 | 0.185                              | 254           | 1.135 |

Рис. 4. Компьютерная таблица в расчетном объеме энергии разрушения и крупности кусков

В таблице крупность дробления представлена в последнем столбце, для направления  $\alpha=45^\circ$  при воронке нормального выброса. Длина этого направления приближается к 10 метрам.

В этом направлении, в нашем демонстрационном варианте, цилиндрическая квазистатическая фаза раздробит породу на куски размером меньше 1 м, собственными силами. Последние расчетные объемы будут раздроблены на негабаритные куски, размером больше 1 метра.

Но он попадает в зону активного дробления соседнего заряда и будет раздроблен мельче негабаритных фракций.

Необходимо обратить внимание на то, что в технологическом дроблении блока принимают участие много других фаз процесса, действующих в зоне распространения цилиндрической квазистатической фазы. Их вклад в дробление, каким бы малым он не был, будет улучшать качество дробления породы, а не ухудшать его.

### Заключение

1. В пределах зоны технологического дробления горных пород взрывом, определены многие параметры физического процесса цилиндрической квазистатической фазы взрыва, развивающейся в горном массиве, как неотъемлемая часть процесса технологического дробления горных пород взрывом скважинных зарядов в карьерах.

2. Определены параметры процесса, форма цилиндрической квазистатической полости и ее размеры, остаточная энергия в полости, распределение энергии и плотности энергии разрушения в разрушаемом объеме, определена крупность кусков породы, разрушаемых квазистатической фазой взрыва.

3. В технологическом дроблении горных пород взрывом скважинных зарядов в карьерах цилиндрическая квазистатическая фаза является одним из доминирующих факторов дробления породы.

### Список литературы

1. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Определение тензорного напряжено-деформированного состояния горных пород при взрыве скважинного заряда. Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск №1. – М.: Мир горной книги, 2018. – С.112-127.
2. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Распределение энергии скважинного заряда по фазам зонам и видам затрат к концу развития камуфлетной фазы. Сборник «Взрывное дело» Выпуск №119/76. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2018. – С.20-36.
3. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В. О цилиндрической волновой фазе в средней зоне. Современные инновационные технологии в гор-

ном деле и при первичной переработке минерального сырья. Москва, Промниипроект, Международная конференция. 2018. – С.125-132.

4. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Разрушающее действие цилиндрической волны в средней зоне. Викторов С.Д., Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения недр. Москва, ИПКОН РАН.2018. – С.9-13.

5. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Определение фактического грансостава раздробленной взрывом горной массы. Инженерная физика. 2018. № 5. – С.117-123.

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СКВАЖИННЫХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ, СТРОЕНИЯ, СТРУКТУРЫ И СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Дорохин К.А.

ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

В настоящее время большой необходимостью развития мегаполисов является освоение подземного пространства для устройства транспортных коммуникаций, подземных паркингов, торговых зон и т.д. При реализации подобных проектов существенно возрастает риск возникновения аварий и повреждения существующей застройки в зонах влияния строительных работ. Возможность снижения риска возникновения аварий при строительстве подземных сооружений в городской черте является только при условии выявления неблагоприятных факторов, оказывающих негативное влияние на существующую застройку или возводимый объект, и разработке мероприятий, снижающих негативное влияние[1-2].

Применение геофизических методов для комплексной оценки фактического состояния вмещающего массива существенно увеличивает оперативность и объективность геотехнического мониторинга. При этом применение сейсмоакустической томографии существенно повышает разрешающую способность исследований. Существующие методики, например, межскважинное сейсмоакустическое просвечивание (МСП), позволяют исследовать практически любые глубины даже в стесненных городских условиях.

Суть метода (МСП) заключается в возбуждении упругой волны в одной скважине, регистрации в другой и дальнейшем анализе ее характеристик. В отличие от наземных методов сейсморазведки, МСП обладает рядом преимуществ, основным из которых – приближение источников и приемников к объекту исследования, и отсутствие необходимости реги-

страции волн через неоднородный поглощающий поверхностный слой. В отличие от каротажных работ (СК), область исследования околоскважинного пространства в методе МСП несравненно больше, и может достигать нескольких десятков метров.

Существует 3 основные методики проведения МСП:

- однолучевое параллельное просвечивание на продольных волнах;
- многолучевое параллельное просвечивание;
- многолучевое томографическое просвечивание.

Существуют и более расширенные варианты метода, когда в наблюдениях, в том числе участвует дневная поверхность, или же исследования проводятся в шахтах и штольнях в произвольной плоскости.

Зависимость разрешающей способности метода от выбора системы наблюдений была подробно рассмотрена в работах [3-5], в которых были проделаны имитационно модельные исследования. Исследования показали, что наиболее практичной является система многоазимутального покрытия сейсмическими лучами, которая реализуется при томографическом просвечивании.

При выполнении данного вида работ в водонаполненных скважинах используют излучатели сейсмических волн (типа «sparker») и многоканальные сейсмические косы желательно с гидрофонными (объемными) датчиками приема. Использование одноканальной приемной установки также возможно, но малоцелесообразно в виду значительного роста времени выполнения работ.

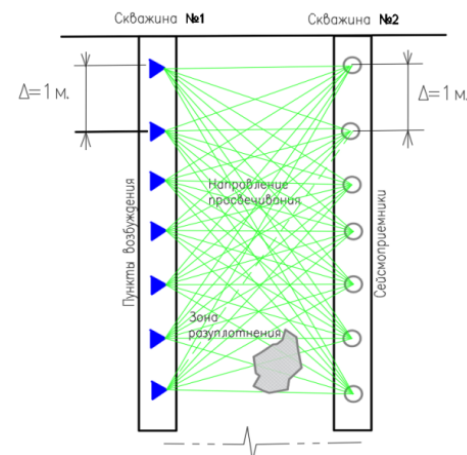


Рис. 1. Принципиальная схема производства томографического просвечивания (методом МСП)

Стандартным подходом при обработке получаемых материалов является томографическая инверсия времен прихода первых вступлений, которая позволяет восстановить распределение скорости ( $V$ ) упругой волны и, при многоазимутальном покрытии исследуемой среды, параметр ( $V_x/V_y$ ) в межскважинном пространстве.

Физический предел разрешающей способности метода лучевой сейсмотомографии соизмерим с размером первой зоны Френеля  $h$ :

$$h = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda \cdot l},$$

где  $\lambda$  – длина волны;  $l$  – длина луча.

Использование размеров зоны Френеля для оценки разрешающей способности лучевой сейсмической томографии справедливо при наличии локальных и периодических аномалий скорости.

Мероприятия по инъекционному закреплению грунтов под основаниями зданий – достаточно актуальная задача последних лет. Все чаще освоение подземного пространства ведется в уже застроенных центральных и исторических частях мегаполисов. Здания, попадающие в зону влияния строительных работ (предполагаемую мульду оседания земной поверхности) должны обязательно входить в программу геотехнического мониторинга на всем протяжении строительства, а при условии, если расчетные прогнозные показатели деформаций при строительстве подземного сооружения приближаются или превышают предельно допустимые величины – необходимы мероприятия по инъекционному укреплению грунтов под основаниями зданий, попадающих в зону влияния, а также, если это необходимо, проведение компенсационных нагнетаний в грунты под основаниями зданий для исключения неравномерных осадок здания.

Известно, что инъекционное закрепление грунтов при большом количестве достоинств имеет недостатки. Основным существенным недостатком, является невозможность прогнозирования получаемых объемов, прочности и водонепроницаемости закрепленного грунта после инъекции раствора. Известны случаи, когда после мероприятий по инъекционному закреплению выкапывались специальные контрольные шурфы, и обнаруживалось, что состояние и структура закрепленного грунта не соответствует проекту: не обеспечена сплошность закрепленного грунта (зоны закрепления являются отдельными монолитами различных размеров и объемов преимущественно в местах расположения скважин). В свою очередь такие проблемы, в процессе длительной эксплуатации могут привести к неравномерным осадкам и деформациям здания.

По этой причине необходимо контролировать качество проведения мероприятий по инъекционному закреплению грунтов.

С помощью метода МСП оценивается эффективность инъекционных работ, определяются участки, в которых укрепление грунтов оказалось недостаточным, и в которых необходимо дополнительное закрепление. Также параметры, полученные методом МСП необходимы для уточнения технологических параметров инъекционных нагнетаний, в

том числе: объемы инъекционного раствора; состав раствора; необходимости превентивного гидрологического экранирования и т.д.

Стоит отметить, что конструкция манжетных колонн в скважинах, предназначенных для нагнетаний, позволяет использовать их, как для многократных повторных инъекционных работ, так и для повторных геофизических исследований. Для этого после инъекционных мероприятий скважины специально промываются водой, после чего они остаются заполненными водой, что также необходимо для акустического контакта при сейсмоакустических исследованиях методом МСП.

### Выводы

- применение сейсмоакустической томографии существенно повышает разрешающую способность исследований;
- методика МСП позволяет производить наблюдения практически на любые глубины даже в стесненных городских условиях;
- по результатам МСП определяются участки, в которых закрепление грунтов оказалось недостаточным, и требуется дополнительное закрепление, уточняются технологические параметры инъекционных нагнетаний, в том числе: объемы инъекционного раствора; состав раствора; необходимости превентивного гидрологического экранирования, регламента производства закрепления и т.д.

### Список литературы

1. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. Практическое пособие по проектированию зданий и подземных сооружений в условиях плотной застройки. «Стройиздат Северо-Запад» Изд-во «Группа компаний «Геореконструкция», 2010 г. с. 547.
2. Петрухин В.П. Геотехнические проблемы строительства в Москве – крупнейшем мегаполисе России. – Геотехнические проблемы мегаполисов. СПб: Изд-во «Группа компаний Геореконструкция», 2010. Т.1., с.259.
3. Шишкина М.А., Фокин И.В., Тихоцкий С.А. Разрешающая способность межскважинной лучевой сейсмической томографии: расстановка, скоростная модель, конечная частота сигнала. Информационный портал института ИФЗ РАН. URL: <http://www.ifz.ru/lab-202/inverse-problems/tomo-resolution/>.
4. Шишкина М.А., Фокин И.В., Тихоцкий С.А. К вопросу о разрешающей способности межскважинной лучевой томографии. Журнал: Технологии сейсморазведки №1, 2015. с. 5-21.
5. Болгаров А.Г., Рослов Ю.В. Межскважинная сейсмическая томография для решения инженерно-геологических задач. Технологии сейсморазведки. №1. 2009. с. 105-111.

# О РАСЧЕТЕ СДВИЖЕНИЯ ПОДРАБАТЫВАЕМОГО ГОРНОГО МАССИВА

Кулибаба С.Б.

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

Надежный прогноз деформаций горного массива над очистными выработками и способствует осуществлению рационального извлечения запасов полезного ископаемого из недр при сохранении безопасной эксплуатации обрабатываемых объектов. В мировой и отечественной практике существует целый ряд методов расчета этих деформаций, однако при существующей тенденции увеличения глубины подземных разработок их точность постепенно снижается, что говорит о необходимости разработки новых, более точных и обоснованных методов прогнозирования.

Анализ результатов многолетних маркшейдерских наблюдений за сдвижением горных пород и земной поверхности в Донецком угольном бассейне позволил разработать более совершенную методику расчета, в которой устранен целый ряд недостатков ранее существующих методов. В основу этой методики легли следующие экспериментально доказанные положения:

- величина вектора сдвижения любой точки обрабатываемого массива зависит от ее местоположения, величины максимального оседания в рассматриваемой полумульде сдвижения и угла падения пластов;
- ключевую роль в формировании общего поля деформаций породной толщи над выработанным пространством играет зона полных сдвижений;
- направление векторов сдвижения внутри этой зоны, а также над ней по линии максимальных оседаний, близко к нормали к напластованию;
- в остальной части области влияния очистной выработки (т. е. за пределами указанной зоны) тангенциальная составляющая вектора сдвижения любой точки в сечении, параллельном напластованию обрабатываемого массива, всегда направлена в сторону точки максимального оседания данного сечения.

Сдвигения и деформации определяют в расчетных зонах обрабатываемого горного массива (рис. 1) – полных сдвижений (зона 1), перегибов (зоны 2 и 2') и неполных сдвижений (зоны 3 и 3'). Прогноз осуществляется одновременно на вертикальных разрезах по двум главным сечениям мульды сдвижения – вкрест и по простиранию пластов (далее – разрез 1 и разрез 2), и базируется на приведенных ниже основных положениях.

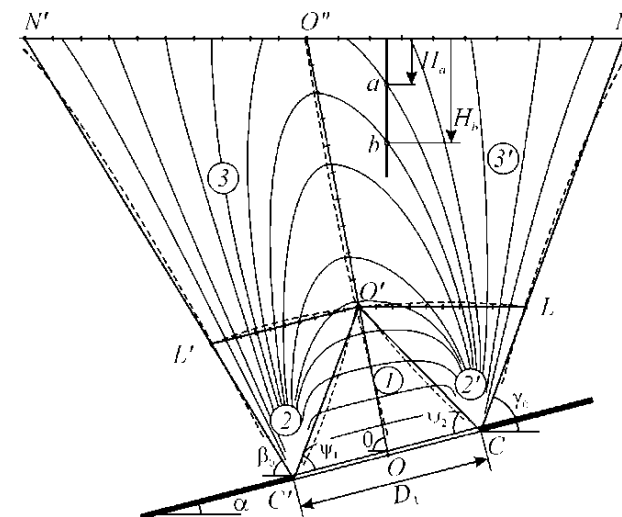


**Рис. 1. Расчетные зоны сдвижения массива горных пород  
в главном сечении мульды вкрест простирания пласта (разрез 1)**

Оседание любой точки обрабатываемого породного массива в общем случае определяют по формуле:

$$\eta = q \cdot m \cdot \cos \alpha \cdot f_1 \cdot f_2, \quad (1)$$

где  $q$  – относительное максимальное оседание горного массива, определяется для различных обрабатываемых его участков;  $f_1$  и  $f_2$  – функции распределения относительных оседаний в полумульдах сдвижения массива с учетом степени его обработанности соответственно на разрезах 1 и 2:

$$f_{1(2)} = N_{1(2)} S(z_{1(2)}), \quad (2)$$

где  $N_{1(2)}$  и  $S(z_{1(2)})$  – соответственно степень обработанности расчетной точки обрабатываемого массива и типовая функция распределения оседаний в полумульде сдвижения на разрезах 1 и 2, определяемые по действующим «Правилам охраны...» [1].

Относительное оседание массива  $q$  для первично обрабатываемых участков горных пород над верхней границей области полной подработки  $L'O'L$  по линии  $O'O''$  соответствует значению  $q_0$ , определяемому по методике [1], а в зоне полных сдвижений – вычисляется по формуле [2]:

$$q = q_0 + k_1 \ln(\sqrt{n_{1(2)}} + k_2), \quad (3)$$

где  $k_1$  и  $k_2$  – эмпирические коэффициенты, значения которых определяют отдельно для каждого угледобывающего региона;  $n_{1(2)}$  – параметр, определяющий относительную удаленность расчетной точки подрабатываемого массива от разрабатываемого пласта по нормали к напластованию в границах зоны полных сдвижений.

На каждом из разрезов 1 и 2 строят схему изолиний равных относительных оседаний  $f_1$  и  $f_2$  (см. рис. 1), с помощью которой по формуле (1) определяют ожидаемые оседания точек подрабатываемого массива горных пород (например, для точек  $a$  и  $b$  вертикального ствола).

Методика была апробирована путем сравнения прогнозных и фактических оседаний горного массива на ряде наблюдательных стаций (пример сравнения показан на рис. 2). Относительная среднеквадратическая погрешность расчетов по предлагаемой методике, полученная из этого сопоставления, не превысила 20 % от максимальных значений, что соответствует коэффициенту перегрузки 1,2, регламентированному действующим нормативно-методическим документом [1] для ожидаемых величин оседаний.

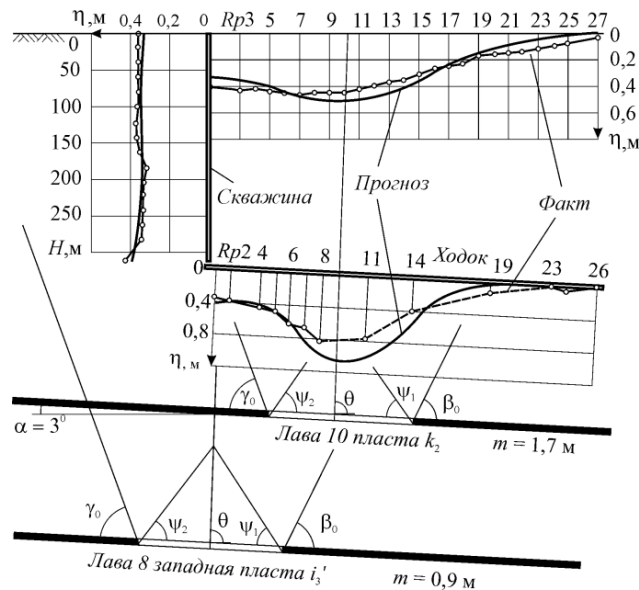


Рис. 2. Сравнение прогнозных и фактических оседаний горного массива и земной поверхности на шахте «Таловская» (г. Краснодон)

## Список литературы

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – С.–Петербург, ВНИМИ, 1998. – 291 с.
2. Кулибаба С.Б. Натурные исследования вертикальных сдвижений подрабатываемого горного массива // Маркшейдерский вестник. – 2019. – № 1 (128). – С. 46-51.

## К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ АЛГОРИТМА ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД И РОБОТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ

Ефремовцев Н.Н., Лапиков И.Н.

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

Проводимые в ИПКОН РАН исследования закономерностей дробления различными промышленными взрывчатыми веществами с применением композиционных имитационных моделей и в производственных условиях и исследования сейсмического действия взрывов, показали необходимость учета фактической скорости выделения энергии и вероятностный характер развития фронта детонации при проектировании параметров буро-взрывных работ и прогнозировании гранулометрического состава взорванной горной массы. Для формирования вариантов с применением расчетов с учетом вероятностного характера развития фронта детонации и использованием научных классификаций – научно обоснованных матриц возможных способов управления формируется аналитический аппарат на основе следующих групп зависимостей:

- скорости детонации от влияющих факторов для сыпучих (гранулированных, порошкообразных) и эмульсионных взрывчатых веществ;
- скорости выделения энергии средствами разрушения горных пород от основных влияющих факторов;
- изменения степени дробления горных пород, среднего размера куска и индекса дробимости от скорости выделения энергии взрыва, диаметра заряда.
- зависимостей скорости детонации от состава и содержания компонентов топливной смеси и содержания плотной и пористой аммиачной селитры.

Разработаны зависимости для расчета величины линии наименьшего сопротивления, рационального расстояния между скважинами и радиуса опасной зоны сейсмического действия взрыва с учетом фактической скорости выделения энергии удлинённых зарядов ПВВ. Проводятся работы по созданию цифровых моделей взрывчатых свойств зарядов ПВВ и их дробящей способности в зависимости от основных влияющих факторов (плотности ВВ, диаметра заряда, расстояния до заряда, скорости выделения энергии, удельного расхода ВВ) на основе обработки результатов промышленных экспериментов и полигонных испытаний с применением имитационных композиционных моделей, учитывающих зоны действия взрыва. В результате обобщения данных экспериментальных полигонных испытаний с применением композиционных имитационных моделей получены зависимости выхода мелких и крупных фракций от диаметра заряда в 3 зонах дробления и в зависимости от расстояния до заряда.

Расчёт скорости выделения энергии скважинного или шпурового заряда осуществляется с использованием следующей формулы:

$$E_3 = M_3 \times Q_{ВВ} \times \frac{C}{L},$$

где  $E_3$  – скорость выделения энергии, ккал/с;  $M_3$  – масса заряда в 1 м скважины или шпура, кг;  $Q_{ВВ}$  – теплота взрыва, ккал/кг;  $C$  – скорость детонации ВВ, м/с;  $L$  – длина заряда, м.

В 2019г в производственных условиях на одном из объектов ООО «Взрывстрой» (карьере известняка) в скважинах глубиной 16м проведены эксперименты по определению скорости развития фронта детонации Гранулита ЕФ-П, изготовленного с применением поризующих эмульсий в скважинах диаметром 160мм. Максимальная измеренная скорость детонации Гранулита ЕФ-П при использовании смеси плотной и пористой аммиачной селитры (АС) составила 4500 м/с и 4100 м/с (на расстоянии от 2 до 7 м от боевика), при использовании соответственно только пористой и смеси пористой и плотной аммиачной селитры. Радиус зоны контролируемого дробления изменяется от 3м до 5.0 -6м в зависимости от соотношения содержания плотной и пористой АС. Полученные зависимости скорости детонации от расстояния до боевика, расположенного в нижней части скважины, позволяют научно обосновать параметры конструкции заряда (положение подживляющего боевика) и более точно прогнозировать выход фракций взорванной горной массы в различных зонах действия взрыва.

Проводятся работа по исследованию влияния компонентного состава ПВВ на фракционный состав взорванной горной массы и скоро-

сти детонации. Зафиксирована существенная зависимость крупности куска взорванной горной массы в верхней части взрывающегося блока (в зоне забойки высотой 3,5 м) от содержания компонентов ПВВ, влияющих на скорость детонации.

Проведены исследования изменения скорости детонации и соответствующей скорости выделения энергии в зарядах Гранемита И-30, гранулита ЕФ-П и гранулола. от расстояния до боевика на основе данных промышленных экспериментов. Установлено, что зависимость скорости детонации и скорости выделения энергии от расстояния до боевика для всех исследованных ПВВ имеет нелинейный и вероятностный характер, как для эмульсионных и гранулированных, так и для штатных содержащих тротил промышленных взрывчатых веществ.

Цифровые модели детонационных систем различных промышленных взрывчатых веществ позволят повысить точность прогнозирования результатов взрывов и войдут в аппарат оптимизационных расчетов параметров БВР и их корректировки с учетом накапливаемой статистики при эксплуатации роботизированных комплексов заряжания скважин с переменной энергетической насыщенностью.

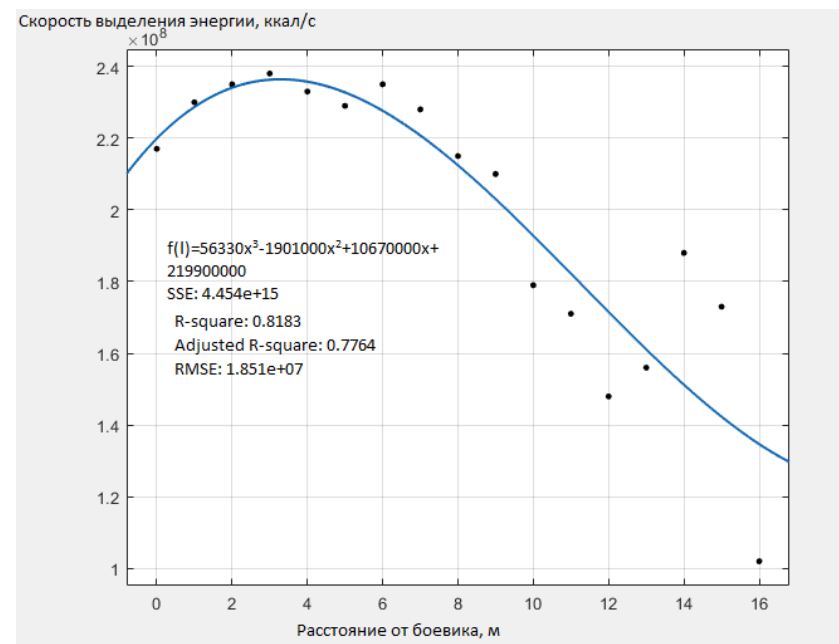


Рис. 1. Изменение скорости выделения энергии в заряде ЭВВ (вероятностная оценка)

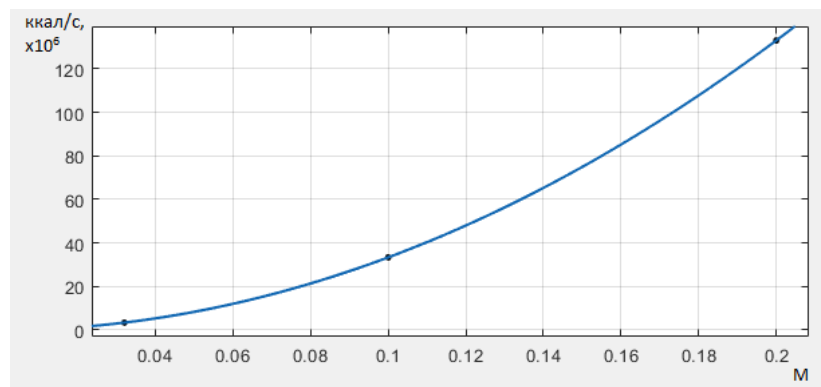


Рис. 2. Зависимость скорости выделения энергии эмульсионных взрывчатых веществ от диаметра заряда

## НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЫБРОСООПАСНЫХ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Лапиков И.Н.

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

Несмотря на достижение определенного прогресса в предотвращении воздействия опасных газодинамических явлений в угольном массиве, проблема в целом еще далека от своего решения, что наглядно подтверждается катастрофическими проявлениями на угольных шахтах в тех странах, где продолжается интенсивная подземная добыча угля. Нерешенные проблемы взаимодействия угля и газообразного метана препятствуют прогрессу в решении технологических проблем и обеспечению безопасности при извлечении метана из угольных пластов.

Одной из принципиальных проблем взаимодействия угля и метана является возможное вовлечение связанного метана (то есть абсорбированного и удерживаемого в виде твердого раствора в угольном веществе) в процесс динамического разрушения угля. В неповрежденных угольных пластах метан находится в связанном состоянии (до 85% [1]). Как полагают многие исследователи, связанный метан не может участвовать в динамическом разрушении шва из-за относительно длительного времени его перехода в свободное состояние (диффузия молекулы в канал фильтрации и десорбция) и, следовательно, является

пассивным фактором, который учитывается при оценке объема метана, высвобождаемого в шахтах.

Мы считаем такой подход упрощенным. Он не в состоянии объяснить большое разнообразие газодинамических явлений, наблюдаемых при добыче угля. Связанный метан обладает энергией, сопоставимой с механической энергией угольного пласта. Эта энергия может быть затрачена на разрушение угля при переходе метана из связанного в свободное состояние. Существует необходимость в моделях для адекватного прогнозирования структуры и величины макротрещиноватости газоносных пластов с учетом их механических и физико-химических свойств, газодинамики и геоструктурных особенностей, а также технологических процессов добычи.

Новая идея в нашем исследовании — это концепция активного вовлечения связанного метана уже на стадии предварительного разрушения угля. Целью настоящего исследования является разработка моделей и установление взаимосвязи между особенностями микроструктуры угля и условиями высвобождения связанного метана из угольного вещества.

Существует несколько концепций физического состояния связанного метана в угле. Согласно общепринятому подходу, неподвижные молекулы метана, связанные с углем, являются адсорбированными молекулами на поверхности открытых макропор размером от нескольких микрон до нескольких миллиметров. Физический закон перехода молекулы метана из связанного в свободное состояние описывается изотермой Ленгмюра. Другая концепция заключается в том, что молекулы метана заполняют плотно закрытые микропоры (нанопоры) менее 10 ангстрем. Межмолекулярное отталкивание максимально близких молекул метана и их диффузия в угольном пласте являются доминирующими факторами, определяющими высвобождение поглощенной молекулы из нанопор и образование из них трехмерных структур. Очевидно, что существует целый ряд мезопор, которые содержат молекулы метана частично в связанном и частично в квазисвободных состояниях. Однако, поскольку количество нанопор велико, объем связанного метана определяется молекулами метана в нанопорах.

Кроме того, существует концепция связанного метана, основанная на идее твердого раствора метана в угольном веществе. Согласно этой концепции молекулы метана имеют кристаллическую связь с молекулами угля, образуя твердые метастабильные растворы. Под техногенным воздействием метано-угольный раствор диссоциирует, и молекулы метана покидают уголь и образуют свободный газ. Концепция твердого раствора пока слабо развита, хотя широко используется в исследованиях.

Существует концепция связанного метана, основанная на существовании газогидратов с молекулами воды, связанными друг с другом. Эти молекулы играют роль кристаллической решетки при внешнем сжатии с содержащимися внутри этой решетки связанными молекулами метана. Газогидраты заполняют угольные поры. Когда сжатие становится меньше, газогидраты диссоциируют, и молекулы метана переходят из связанного в свободное состояние.

Согласно нашей концепции, образование связанного (поглощенного) метана в значительной степени связано с геологическим воздействием на уголь. При сильном тектоническом сжатии природный уголь, максимально насыщенный метаном, подвергается закрытию трещинных пор. В результате одна часть молекул проникает внутрь угольного вещества, а другая часть заполняет дефекты в сильно сжатом угле. Такой уголь называют сжатым дробленным углем -он наиболее выбросоопасен и практически газонепроницаем.

Понятия связанного метана имеют следующие общие элементы. 1) Связанные молекулы метана содержатся в элементах структурных дефектов угля различного масштаба: от нанопор до миллиметров или более крупных трещин. 2) Состояние связанного метана зависит от внешних механических условий: уменьшение сжатия в угольной матрице или повышение температуры прямо или косвенно приводят к переходу метана из связанного в свободное состояние.

Вышеупомянутые физические представления о связанном метане в угольном веществе требуют дополнительного изучения. Одним из возможных направлений является изучение с точки зрения механики разрушения. Мы рассмотрели две модели структуры угля, то есть модели пор и микротрещин. Модель пор входит в традиционную концепцию угля как пористого материала. На рис. 1, а показана типичная структура не склонного к выбросу угля на микронном уровне, полученная с помощью электронной микроскопии. На рисунке показаны поры, часть которых связана с микротрещинами. На рис. 1, б показана геометрия математической модели трещины, соединяющей поры.

Трещина растет под действием свободного газа, содержащегося в порах, и напряжениях, ориентированных нормально к трещине и вдоль направления ее роста. Математическая модель включает уравнение состояния свободного газа в трещине, соотношения для напряжений и деформаций, и критерий Гриффитса-Ирвина для развития трещины. Решение системы уравнений определило зависимость между остановкой роста трещины и давлением газа в этой трещине.

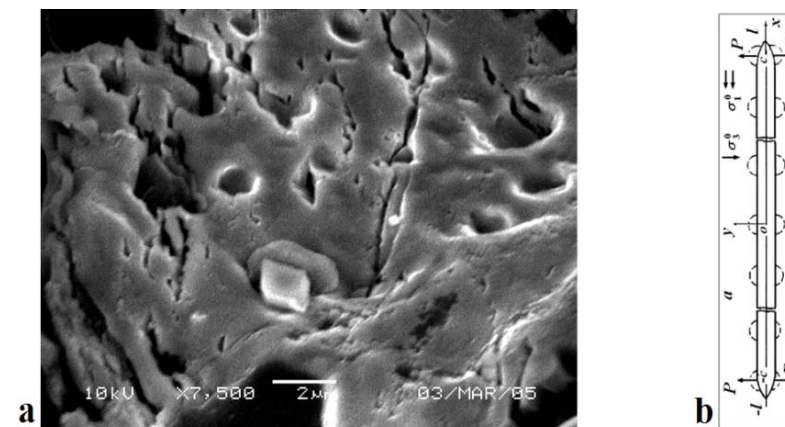


**Рис. 1. Структура пористого угля: а – природный уголь, не склонный к выбросам (пласт Толстый, шахта имени Абакумова); б – модель пористой трещины**

Анализ уравнений и критерий роста трещины показывают, что открытая трещина останавливается, даже когда начальное давление газа в порах  $p_0$  больше, чем давление в породе, но максимальная нагрузка меньше, чем прочность породы. Если максимальная нагрузка больше, чем прочность породы, газосодержащая трещина развивается неограниченно, при этом давление газа в ней стремится к давлению породы. Поэтому рост трещин в макропористом материале определяется главным образом напряженным состоянием угля, при котором начальное давление газа играет второстепенную роль.

Модель микротрещин для развития макротрещин описывает ситуацию для склонного к выбросу сжатого раздробленного угля. Этот уголь выглядит как тыквенные семечки, слепленные вместе, как показано на микронных фотографиях (см. Рис. 2, а). Развитие макротрещины в этой модели обусловлено тремя факторами (см. Рис. 2, б): внешними напряжениями, силами взаимодействия сторон микротрещины и давлением свободного газа в возможных микропространствах между отдельными частицами угля. Короткая макротрещина должна расти сначала в квазистатическом режиме при уменьшении боковых напряжений. Когда трещина достигает определенной длины, она начинает расти в динамическом режиме из-за механических напряжений, и давление газа в трещине стремится к постоянному.

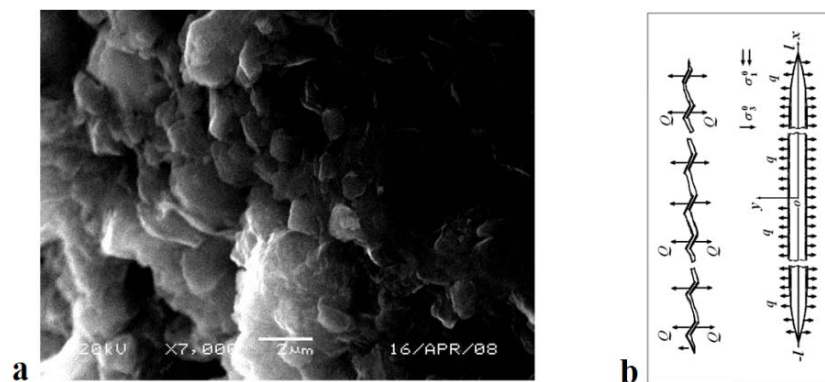


**Рис. 2. Структура измельченного угля: а – природный уголь, очень подверженный выбросам (Первомайская угольная шахта, Кузбасс); б – модель микротрещины**

Из анализа следует, что механические напряжения, а не давление свободного метана, определяют развитие макротрещины. Роль свободного метана в разрушении угля вторична. Нужно принять во внимание поглощенный метан, чтобы выявить истинную роль газового фактора в разрушении угля.

Мы провели такое исследование на основе модели микротрещины с помощью системы уравнений, включающей уравнение Генри, устанавливающее отношения между метаном, выделяемым из угольного вещества, и давлением газа в макротрещине. Модель рассматривалась как фрактальная трещина с неровными сторонами. Возможность динамического развития трещины определялась энергетическим состоянием.

Было показано, что количество связанного метана в угольном веществе и величина поверхностной энергии являются основными физическими факторами, влияющими на поведение трещины. Развитие трещины также зависит от напряженного состояния и степени шероховатости сторон трещины. Возможна ситуация при определенных геомеханических и термодинамических условиях, когда трещина в угле развивается в самоподдерживающемся режиме (при условии частичной разгрузки угольного пласта), то есть растет за счет перехода метана из связанного в свободное состояние. Условия для такого развития трещин включают достаточную разгрузку пласта, высокое содержание метана и низкую трещиностойкость угля.

Изучение влияния связанного метана имеет особое значение для оптимизации динамического воздействия на уголь. Динамическое воздействие является одним из инструментов контроля состояния угольной массы. Динамическое воздействие может вызвать разрушение метано-

насыщенного угля в самоподдерживающемся режиме в некоторых случаях. В других случаях взрывное воздействие обеспечивает спокойное выделение метана из угля с низкой проницаемостью. В этом случае длинные трещины образуются под воздействием газообразных продуктов взрыва, которые служат для дегазации пласта. Использование взрывчатых веществ с низкой скоростью динамического нагружения пласта является наиболее эффективным.

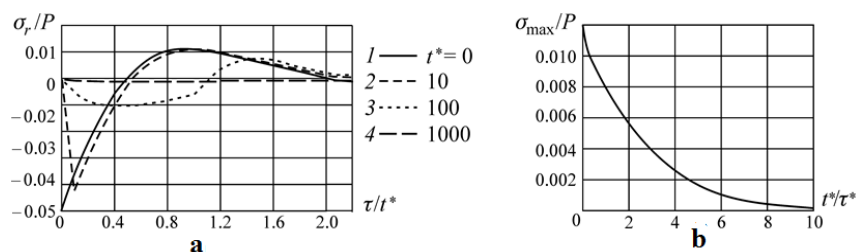
Мы изучили закономерности предварительного разрушения горных пород при воздействии волн, чтобы понять особенности взрывного воздействия на метанонасыщенный уголь и разработать инновационные принципы управления динамическим разрушением угля. Обнаружено, что волна взрыва изменяет естественную нерешённость породы на большом расстоянии от центра взрыва (до 100 радиусов полости взрыва). Эту область можно считать зоной предразрушения с наведенной пористостью породы, увеличивающейся на 3-5%.

Внезапное повышение пористости в метанонасыщенном угле может резко изменить баланс «твердого среднесвязанного метана». Таким образом, часть пласта переходит в метастабильное состояние. Обычно это приводит к выбросам угля в выбросоопасных пластах. Новизна данного исследования заключается в том, что возникновение этой пористости зависит от времени детонационного воздействия. Изменяя параметры детонации, можно контролировать наведенную пористость в зоне предразрушения и, таким образом, либо вызывать выброс, либо создавать условия для безопасного выделения метана через длинные газопроводящие трещины, вызванные взрывом.

Математическая модель была разработана для подробного анализа этого подхода. Модель использовалась для изучения влияния фазы повышения давления в полости взрыва на предварительное разрушение породы и угля. Фаза повышения давления определяется скоростью взрывной детонации и радиусом заряда. Растягивающее напряжение в упругой волне рассчитывалось в рамках этой модели для различных значений параметра повышения давления  $t^*$ , характеризующего время повышения давления до максимального значения  $P$  во взрывной полости. В первом приближении параметр  $t^*$  определялся соотношением  $t^* = a/V$ , где  $V$  – скорость детонации.

Для численного решения задачи использовался метод суперпозиции множественных решений Шарпа для сферической полости с небольшими скачками промежуточного давления. На рис. 3, а приведены некоторые результаты расчетов зависимости радиального напряжения  $\sigma_r/P$  от времени  $\tau/t^*$  для точки с координатой  $r = 20a$  для различных значений параметра повышения давления  $t^*$  во взрывной полости и радиуса

заряда 0,15 м (растягивающие напряжения положительные). Если время нарастания давления достаточно короткое,  $t^* < 10$  мкс (что характерно для многих взрывчатых веществ), то фаза нарастания давления практически не влияет на величину растягивающего импульса. Эффект виден только в первом импульсе сжатия (кривые 1 и 2).



**Рис/ 3. Зависимость радиальных напряжений от времени в точке  $r = 20a$ : а – для различных значений параметра повышения давления во взрывной камере  $t^*$ ; б – максимальное растягивающее напряжение на пике волны**

Если время увеличения давления сравнительно велико,  $t^* > 100$  мкс, растягивающий импульс в упругой волне значительно уменьшается (кривая 3), а при  $t^* > 1000$  мкс растяжение практически не определяется (кривая 4). Такие выводы можно сделать из анализа взаимосвязи между максимальным радиальным растягивающим напряжением на пике волны  $\sigma_{max}$  и параметром  $t^*$ . Как показано на рис. 3, величина растягивающего напряжения быстро уменьшается с ростом  $t^*$  (здесь параметр  $t^*$  равен 100 мкс).

Таким образом, чем быстрее увеличивается давление во взрывной камере, тем больше эффект растяжения угольной матрицы в дальней зоне предварительного разрушения угля и тем больше раскрываются его естественные дефекты. Следовательно, это обеспечивает лучшие условия для выхода связанного метана в открытые микродефекты и начала самопроизвольного разрушения насыщенного метаном угля. Если используются взрывчатые вещества с низкой скоростью повышения давления во взрывной камере, естественные дефекты не раскрываются и связанный метан не может способствовать разрушению угля. В этом случае в результате взрыва могут появиться длинные трещины вследствие воздействия продуктов взрыва. Эти трещины представляют собой пространство для постепенного накопления метана и дальнейшего его выброса из угольного пласта.

Таким образом, контролируя воздействие взрыва, можно контролировать механизм выхода связанного метана из угля и, как следствие, решать различные технологические проблемы при добычных работах в угольных пластах. Обратите внимание, что связанный метан может влиять на эффективность вибрационного воздействия в качестве метода улучшения выделения газа.

Связанный метан является важным фактором квазистатического и динамического разрушения угля. Это определяет возможность развития длинных газонаполненных трещин в самоподдерживающемся режиме и, следовательно, перехода трещины с микро- на макроуровень.

Взрывное воздействие на массив горных пород, в частности на уголь, приводит к наведенной пористости в зоне предварительного разрушения горных пород на расстоянии до 100 радиусов заряда от полости взрыва. Метан высвобождается в наведенные поры. Появление свободного метана в этих порах может быстро изменить геомеханическое состояние угля и создать условия для образования трещин в угле.

Как показали предварительные исследования, эффект взрывного разрушения угля в виде выбросов и образование системы длинных открытых трещин для спокойной дегазации возможны в зависимости от скорости детонации взрывчатых веществ при взрывном воздействии на тот же метанонасыщенный угольный пласт.

Данная работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках выполнения проекта № 18-05-00912.

### Список литературы

1. Odintsev V., Lapikov I., Kochanov A., Mingazov R. The effect of bound methane on coal dynamic destruction. 18TH INTERNATIONAL MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC GEOCONFERENCE SGEM 2018. CONFERENCE PROCEEDINGS, 2018, 18 – 13, pp. 933-940, IPF 6.0.
2. Viktorov S., Lapikov I., Odintsev V., Kochanov A. Structural characteristics and regularities of geomaterial desintegration under intense dynamical impact. 18TH INTERNATIONAL MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC GEOCONFERENCE SGEM 2018. CONFERENCE PROCEEDINGS, 2018, 18 – 13, pp. 863-870, IPF 6.0.
3. Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Одинцев В.Н. Исследование особенностей разрушения образцов углей при динамическом воздействии. Proceedings of the International meeting «Ordering in Minerals and Alloys». 21-th International meeting. (21-й Международный междисциплинарный симпозиум «Упорядочение в минералах и сплавах». Труды симпозиума), 2018, С.77-81.

4. Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Одинцев В.Н.. Фрагментация образцов углей при интенсивном динамическом воздействии. Известия РАН. Серия Физическая, 2019, IPF 0,465.

5. Одинцев В.Н., Кочанов А.Н., Лапиков И.Н., Шляпин А.В. К вопросу участия связанного метана в динамическом разрушении угля. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЗЕМНЫХ НЕДР, 2018, С. 82-85.

## **ДЕТЕРМИНАЦИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ РИСКОВ ОБУСЛОВЛЕННЫХ НАЛИЧИЕМ ОТРАБОТАННОГО КАРЬЕРА И ВЫСОКОНАПОРНОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТИИ**

**Красюкова Е.В., Пацкевич П.Г.**

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

Одним из необходимых условий для минимизации аварийных и катастрофических случаев при добыче полезного ископаемого является выявление потенциальных геомеханических рисков и своевременного принятия мер по обеспечению безопасности. Особо острая необходимость в этом стоит на месторождениях разрабатываемых комбинированным способом, где сложная геомеханическая ситуация усугубляется наличием высоконапорных водоносных горизонтов и накопленных водонасыщенных осыпей на дне карьеров.

Морфология кимберлитовых месторождений Якутии обуславливает их разработку комбинированным способом, когда верхняя часть трубки отрабатывается карьером, а затем переходят на подземный способ добычи. Таким образом, подземные работы ведутся под рудным целиком, который защищает рудник от воды. На руднике «Интернациональный» выявлено три опасных зоны – зона под дном затопленного карьера, включая участок прибортового массива карьера в зоне влияния подземных горных работ; опасная зона над кровлей метегеро-ичерского водоносного комплекса (МИВК); опасная зона ниже почвы МИВК. [1]

Несмотря на то, что при расчетах параметров рудных целиков учитываются максимальное количество факторов и дополнительно закладывается определенный запас прочности на вероятность возникновения непредвиденных ситуаций, опасность прорыва воды и затопление подземных выработок представляется актуальной проблемой. В результате проведенной работы были выявлены основные геомеханические риски

обуславливающие угрозу аварийной ситуации на рудниках «Мир» и «Интернациональный».

Ранее было выявлено, что параметры системы находятся в динамике и могут быстро изменяться, так ранее стабильное состояние резко снижает уровень стабильности, и возникает возможность разных путей развития (бифуркация). Возмущающие факторы вызывают процессы трансформации ранее стабильной системы в неустойчивую среду.

Массив, слагающий предохранительный целик испытывает неравномерные растягивающие и сжимающие напряжения по мере развития фронта горных работ. Ряд циклов раскрытия и закрытия трещин, заполненных растворяемыми породами, создает предпосылки для ухудшения водонепроницаемых свойств целика.

Значительное влияние на вероятность возникновения непредвиденного негативного события оказывает тот факт, что в расчетах параметров предохранительного слоя закладываются данные физико-механических свойств небольшого образца породы полученных лабораторным путем. Как известно [2], показатели свойств массива горных пород, так же как и показатели свойств пород в массиве, широко варьируют с изменением размеров массива и его состояния. Существующие методы определения коэффициента структурного ослабления не позволяют учитывать анизотропию массива в полной мере.

Одновременное присутствие воды и солесодержащих пород повышает уровень опасности. При условии движения ненасыщенных рассолов, существует риск размыва галогенных пород, что приводит к образованию пустот, ухудшению прочностных свойств и риску прорыва воды и пульпы в подземные выработки.

Также оценка геомеханических рисков включает технологический фактор. Массив, слагающий предохранительный целик на руднике «Интернациональный» можно охарактеризовать как трещиноватый мелкоблочный, что при наличии компенсационного пространства создает условия для развития процесса самообрушения. Таким образом, некачественная и несвоевременная работа по креплению выработок и закладке выработанного пространства может привести к выходу куполообразования, вплоть до поверхности целика. Оптимизация параметров технологических процессов на геомеханической основе минимизирует величину деформаций.

В то же время, анализ случаев прорывов воды через барьерные целики показывает, что прорывы воды в основном происходят через боковые породы целика, особенно если они представлены водопроницаемыми породами низкой крепости.

Своевременное выявление рисков дает возможность разработать меры, обеспечивающие минимизацию вероятности наступления и ослабление отрицательных последствий негативных событий, позволяет заблаговременно принять необходимые меры для обеспечения безопасного и рационального использования георесурсов.

В проведенной работе были рассмотрены источники геомеханических рисков при комбинированном способе разработки и проанализированы механизмы их формирования, а также выделены опасные по прорыву воды зоны на примере кимберлитовых месторождений трубок «Интернациональная» и «Мир».

Показана необходимость комплексного метода расчета параметров опасных зон, включающего как методы математического моделирования напряженно-деформированного состояния, так и оценку геологического и структурного строения массива, а также влияние технологических факторов на развитие процессов смещения, деформирования и разрушения природных и искусственных массивов.

На основе разработанной методической базы определены параметры опасных зон и сформулированы требования к ведению горных работ для условий отработки подкарьерных запасов и глубоких горизонтов рудника «Интернациональный». Определены зоны влияния затопленных горных выработок подземного рудника «Мир» и рассчитаны параметры опасных зон и предохранительных целиков для этапов строительства и отработки запасов нового рудника на всю глубину разведанных запасов до глубины 1700 метров. [1]

Можно сделать вывод, что представленный подход будет также применен на месторождениях, разрабатываемых в схожих горно-геологических условиях, а результаты проведенного анализа будут учитываться еще на этапе проектирования разработки, что непременно даст толчок для развития новых методов добычи полезных ископаемых.

#### Список литературы

1. Айнбиндер И.И., Пацкевич П.Г., Красюкова Е.В. Параметры и характеристики опасных зон под дном отработанных карьеров, затопленных выработок и напорных водоносных горизонтов при освоении кимберлитовых месторождений Якутии // Материала докладов Международной конференции, г. Магнитогорск, 2019. – 369 с.
2. Кузнецов Г.Н. Механические свойства горных пород. М.: Углетехиздат, 1947. 180 с.
3. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах». Утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11.04.2016 г. N 144.

## ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СКВАЖИННЫХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОСВОЕНИИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Есина Е.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт проблем комплексного освоения недр  
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

<sup>2</sup>*Российский университет дружбы народов*

Негативные тенденции усложнения горно-геологических и горно-технических условий освоения месторождений полезных ископаемых, истощения минерально-сырьевой базы угольной отрасли, требования комплексности и снижения экологической нагрузки на окружающую среду предопределили необходимость обоснования условий эффективного применения инновационных ресурсосберегающих геотехнологий. Перспективным направлением освоения угольных месторождений являются скважинные геотехнологии, исключающих непосредственное присутствие людей в местах залегания полезного ископаемого [1-3].

Одним из направлений освоения метанонасыщенных угольных пластов, подверженных газодинамическим явлениям, является применение ресурсосберегающей скважинной геотехнологии. При этом повышение эффективности достигается путем использования газо- и геодинамической энергии для разрушения полезного ископаемого. Являясь отрицательным фактором при традиционных способах добычи, она играет положительную роль для разрушения угольного пласта [4]. Кроме того, при разработке сильно обводненных и высокозольных угольных пластов перспективным становится внедрение скважинной гидродобычи, исключающей экологические последствия от воздействия горных работ за счет подготовки гидросмеси в месте залегания полезного ископаемого и оставления в выработанном пространстве пустой породы [5].

Широкое внедрение скважинных геотехнологий сдерживается отсутствием их комплексного геомеханического обеспечения, достоверных методов получения оперативной информации о характере и параметрах геомеханических процессов, происходящих в толще горных пород и на земной поверхности [4-6]. Неравномерное ведение скважинной добычи угля и стихийное формирование в недрах неотработанных целиков при гидродобыче не позволяют обеспечить плавное оседание кровли, что влечет неравномерные проявления непрогнозируемых деформаций земной поверхности.

Ввиду дистанционности процессов выемки полезного ископаемого при скважинных способах разработки невозможно проведение наблю-

дений и регистрации проявлений процесса сдвижения непосредственно в месте ведения добычных работ. Комплексное геомеханическое обеспечение геотехнологии определяет эффективность и безопасность освоения месторождений полезных ископаемых. В связи с этим, для определения параметров выработанного пространства, оценки полноты освоения запасов используется обратная геомеханическая задача: местоположение и размеры выработанного пространства определяются по наблюдаемым сдвигам и деформациям земной поверхности с установлением закономерностей развития геомеханических процессов[5].

Для прогноза развития геомеханических процессов при скважинной добыче полезных ископаемых следует прогнозировать ожидаемые деформации и сдвижения земной поверхности. Для этого разработан специальный метод расчета ожидаемых деформаций земной поверхности, позволяющий учитывать специфику образования выработанного пространства при скважинной геотехнологии [4].

Разработана методика оценки степени устойчивости обнажений выработанного пространства по наблюдаемым деформациям земной поверхности, позволяющая прогнозировать обрушение кровли и своевременно управлять полнотой и качеством извлечения полезных ископаемых из недр. Для ускорения возобновления горных работ можно применить методы принудительного обрушения кровли.

При освоении газоносных угольных пластов с применением методов скважинной геотехнологии формируют защищенную зону, в которую попадают надрабатываемые и подрабатываемые угольные пласты. В дальнейшем данные подзащитные участки угольных пластов, попавшие в защищенную зону, разрабатывают подземным способом, либо скважинной геотехнологией, без применения дорогостоящих и не всегда достаточно эффективных противовыбросных локальных мероприятий. Увеличение газопроницаемости определяется степенью разгрузки массива от действия сил горного давления. Данные об изменениях давления газа и режима его фильтрации важны для предупреждения внезапных выбросов и осуществления эффективной дегазации метанонасыщенных угольных пластов[7].

Интенсивностью дегазационных процессов можно управлять на основе установленной взаимосвязи остаточного давления метана и горизонтальных деформаций опасного пласта. Степень дегазации подрабатываемых и надрабатываемых выбросоопасных пластов зависит от интенсивности образования системы газопроводящих трещин, их размеров и местоположения, которые, в свою очередь, определяются параметрами деформаций горных пород. При этом эффективность дегазационных мероприятий существенно повышается за счет использования полостей

разгрузки при условии расположения направленных скважин в зонах наибольшего скопления газа под экранирующими породами, но не ниже почвы подрабатываемого пласта.

Основными преимуществами скважинной геотехнологии являются снижение риска аварий вследствие отсутствия горнорабочих в непосредственной зоне ведения работ и исключения внезапных выбросов и взрыва угля, угольной пыли и шахтного метана, отказ от строительства капитальных угольных разрезов и шахт, снижение капитальных затрат, отсутствие неконтролируемых выбросов метана в атмосферу ввиду герметичности процессов скважинной добычи в недрах и поверхностного передела продуктов освоения метанонасыщенных угольных пластов, возможность закладки хвостов обогащения угля и отходов бурения скважин в отработанное пространство угольных пластов, отсутствие крупнотоннажных твердых отходов производства.

Таким образом, эффективное внедрение скважинных способов освоения угольных месторождений возможно при создании комплексного геомеханического обеспечения, позволяющего обосновать рациональные параметры разработки, получать достоверную информацию о характере деформирования налегающей толщи пород, качественно управлять технологическими процессами, что в целом обеспечивает безопасное и эффективное освоение месторождений полезных ископаемых.

### Список литературы

1. Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых / под ред. акад. К.Н. Трубецкого. — М.: ИПКОН РАН, 2012. 276 с.
2. Арнс В.Ж., Бабичев Н.И., Башкатов А.Д., Гридин О.М., Хрулёв А.С., Хчян Г.Х. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых — М.: Издательство «Горная книга». — 2007. 295 с.
3. Рубан А.Д., Артемьев В.Б., Забурдяев В.С., и др. Подготовка и разработка высокогазонасыщенных угольных пластов: Справочное пособие / Под общ. ред. А.Д. Рубана, М.И. Щадова. — М.: Издательство «Горная книга». — 2010. — 500 с.
4. Трубецкой К.Н., Иофис М.А., Есина Е.Н. Особенности геомеханического обеспечения освоения месторождений, склонных к газодинамическим явлениям // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2015. — №3. — С 64-71.
5. Есина Е.Н. Особенности управления геомеханическими процессами при скважинной гидродобыче угля. Маркшейдерия и недропользование. — № 4 — 2010г. — С. 7-8.
6. Иофис М.А. Научные основы управления деформационными и дегазационными процессами при разработке полезных ископаемых. — М.: ИПКОН РАН. — 1984. — 230 с.

7. Есина Е.Н. Комбинированная скважинная геотехнология при разработке угольных месторождений / Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Под редакцией академика К.Н.Трубецкого // М.: ИПКОН РАН. – 2018. – С. 262-265.

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ВЫЕМКЕ ЗАКОНТУРНЫХ ЗАПАСОВ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Никифоров К.И.**

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

При выемке рудных залежей сложноструктурных месторождений открытым способом за контуром горных работ могут сосредотачиваться значительные балансовые и забалансовые запасы полезных ископаемых. Принятие технологических решений по выемке оставшихся за контуром карьера запасов, как правило, производится при минимальном резерве коэффициента запаса устойчивости элементов массива, обусловленном тем, что геомеханическое состояние массива бортов близко к предельному по устойчивости.

В этих условиях разрешение противоречия между повышением комплексности освоения месторождений и снижением уровня безопасности горных работ возможно с использованием инновационных геотехнологий при обязательной организации и проведении постоянного геомеханического мониторинга деформационных процессов вблизи выработанного карьерного пространства.

Создание систем геомеханического мониторинга с использованием спутниковой навигации, современных методов наземно-воздушного лазерного сканирования, программно-аппаратных комплексов на базе беспилотных летательных аппаратов, аэрокосмических методов георадарных съемок дает уникальную возможность точного определения пространственно-временных характеристик состояния природных и техногенных образований, величин угловых и линейных деформаций и перемещений, определяемых интенсивностью природных и техногенных геомеханических процессов [5-6].

С развитием технологий мониторинга изменяются критерии допустимости при проектировании откосов бортов карьеров, а также нормативных требований промышленной безопасности. Современный уровень развития геотехнологий, в том числе с интеллектуальным горнотранспортным оборудованием, автоматизированными системами управления горными работами, роботизированными горно-технологическими ком-

плексами, исключаящими или сводящими к минимуму факт присутствия человека в опасной зоне ведения горных работ без снижения интенсивности добычи, качественно изменяет условия безопасности горных работ при проектировании горнотехнических систем. В настоящее время, применительно к каждому рассматриваемому участку горного массива (уступу, блоку, заходке, целику), уже на стадии проектирования выбор коэффициента запаса устойчивости горнотехнических конструкций должен, прежде всего, исходить из требуемой надежности сохранности инженерных сооружений, которая оценивается, исходя из материального ущерба или степени опасности для обслуживающего персонала.

Использование современных систем геомеханического мониторинга позволяет заблаговременно надежно прогнозировать развитие критических деформаций и управлять рисками, связанными с потенциально неустойчивыми участками, с целью минимизации технологических потерь. Это становится возможным в современных условиях обработки исходных данных, многомасштабного моделирования с выделением характерных доменов в соответствии со специфическим строением массива горных пород, особенностями развития деформационных процессов на потенциально опасных участках, установления обратных связей между характеристиками техногенно изменяемых недр и параметрами инновационных геотехнологий.

Общая концепция организации комплексной системы геомеханического мониторинга должна включать следующие основные этапы:

- разработку математических моделей и расчет критических значений параметров, соответствующих переходу участков массива в опасное состояние;
- выбор приоритетных контролируемых параметров для непосредственного измерения в натурных условиях и комплекса методов наблюдений, адекватных контролируемым параметрам;
- сопоставление расчетных и измеренных величин и, при необходимости, корректировка принятых моделей.

Методы мониторинга могут различаться по точности, по принципу связи систем отсчета с контролируемой точкой, по необходимости применения специализированного оборудования и программного обеспечения, по степени покрытия (точечный и площадной мониторинг), по типу фиксируемых деформаций (наземный мониторинг и мониторинг глубинных деформаций) и т.д. Опыт проектирования систем мониторинга и проведения наблюдений показал эффективность создания автоматизированных систем мониторинга, позволяющих объединить данные, собираемые различным оборудованием, в единую систему и обрабатывать совместно. Одновременное применение различных способов наблюде-

ний позволяет изучить физические процессы, происходящие в массиве, а также установить степень влияния различных факторов, оказывающих неблагоприятное воздействие на устойчивость откосов.

На основе результатов мониторинга с учетом оценки рисков развития критических деформаций разрабатываются мероприятия по управлению устойчивостью горнотехнических конструкций в период реализации принятых технико-технологических решений с необходимой корректировкой параметров горнотехнической системы.

Такое развитие системы геомеханического мониторинга снижает уровень риска отработки запасов за контуром карьера. Именно этим руководствовался ИПКОН РАН при оснащении современным исследовательским высокотехнологичным оборудованием, позволяющим своевременно получать достоверную и детализированную информацию о состоянии массива горных пород и горнотехнической системы в целом, лаборатория экологически сбалансированного освоения недр [8].

### Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В., Владимиров Д.Я., Пыталев И.А. Условия и перспективы внедрения роботизированных геотехнологий при открытой разработке месторождений // Горный журнал. 2017. № 11. С. 60-64 DOI: 10.17580/gzh.2017.11.11.
2. Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Эффективные технологии использования техногенных георесурсов – основа экологической безопасности освоения недр // Горный журнал, 2016. – №5. – С. 36-42.
3. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С. Программы «Индустрия-4.0» и «Цифровая экономика Российской Федерации» – возможности и перспективы в угольной промышленности // Горная промышленность. 2018. № 1. С. 22-28.
4. Рыльникова М. В., Зотеев О. В., Никифорова И. Л. Развитие нормативной базы в области обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов // Горная промышленность. – 2018. – №3. С.95-98.
5. Малышев Ю.Н., Титова А.В., Черкасов С.В., Булов С.В., Чесалова Е.В. Сравнительный анализ современных методов мониторинга техногенных объектов // Горная промышленность, 2017. № 6. С. 50-53.
6. Резниченко С.С. Обзор оборудования для организации комплексной системы мониторинга устойчивости уступов и бортов глубоких карьеров // Горное дело, 2018. № 1. С. 55-53.
7. O. K. H. Steff en, P. J. Terbrugge et al. A risk consequence approach to open pit slope design. International Symposium on Stability of Rock Slopes in Open Pit Mining and Civil Engineering, 2005, pp. 81-96.
8. Laboratory for Environmentally Sustainable Exploitation and Preservation of Mineral Resources (Laboratory EcoMine IPKON RAS) [Электронный ресурс]. URL: <http://labecomine.com/> (дата обращения: 29.03.2019).

## ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ВЕДЕНИЯ ГЕОМОНИТОРИНГА НА РУДНИКЕ АКЖАЛ

Доненбаева Н.С.<sup>1</sup>, Нурпеисова М.<sup>1</sup>, Левин Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University, Алматы, Республика Казахстан,

<sup>2</sup>Мичиганский технологический университет, г.Мичиган, США

Одной из актуальных проблем при ведении крупномасштабных горных работ, особенно, в массивах скальных пород является техногенная сейсмичность, влекущая за собой не только катастрофические технико-экономические последствия, но и приводящая иногда к человеческим жертвам. Все это является прямым следствием изменения геодинамического режима геологической среды под влиянием крупномасштабных горных работ, что убедительно подтверждается результатами научных исследований на ряде золоторудных месторождений Казахстана.

Кафедра маркшейдерского дела КазНУТУ уделяет повышенное внимание промышленной безопасности на рудниках. При этом основная роль отводится внедрению в практику современных технологий и средств контроля и мониторинга массива горных пород. Прогноз и геоконтроль состояния массива горных пород будет положительно решена на основе внедрения инновационных способов и средств контроля [1]. В настоящее время, для определения вертикальных сдвижений территории любого объекта и оценки его состояния, используют космические снимки. Одним из таких снимков является космический снимок территории месторождения «Майкаин» (рис.1,а), полученного космическим агентством из искусственных спутников Земли (ИСЗ) и представленный для сравнения план наблюдательной станции на поверхности (рис.1,б)

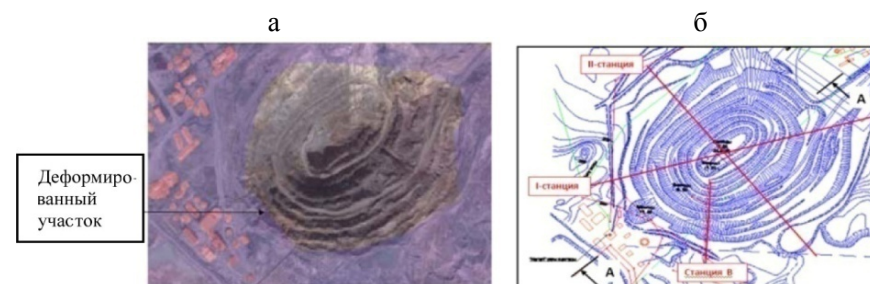


Рис. 1: а – космический снимок карьера «Майкаин» с промплощадкой; б – план наблюдательной станции

Быстрое развитие геодезической науки и техники в последние десятилетия характеризуется внедрением в жизнь спутниковых, электронных и лазерных приборов. Широкое их использование при геодезических наблюдениях позволит быстро и с высокой точностью определять параметры процесса сдвижения и в тоже время отслеживать изменения в параметрах во времени [2].

Тем не менее, инструментальные наблюдения показывают трудоемкость полевых работ, особенно перенос с одного пункта в другой комплект приборов (сам прибор, штатив, отражатели, рейки и др.) и установка отражателей над каждым рабочим репером. В связи с этим, репера на уступах устанавливали повыше и на лицевой стороне репера приклеивали светящиеся марки фирмы Leica Geosystems» (рис.2).

Светящиеся марки раньше использовались в наблюдениях городских зданий. Наблюдательные марки нами впервые внедрены на руднике «Майкаин», что обеспечило повышение точности и производительности труда при геодезических работах.



**Рис. 2. Профильные линии станции и средства наблюдения:  
а, б – расположение рабочих реперов на уступах;  
в – вид наблюдательной марки**

Многолетние инструментальные наблюдения показали трудоемкость полевых работ, особенно перенос с одного пункта в другой комплект приборов (сам прибор, штатив, рейки и др.). В этой связи, для установки приборов и оперативности измерительных операций, нами разработан постоянный репер, устанавливаемый в опорном пункте при ведении геомеханического мониторинга, схема которого приведена на рис.3,а, где верхняя часть центра оборудована столиком принудительного центрирования. Устройство относится к геодезическим центрам для установки приборов и сигналов. Цель изобретения – повысить точность центрирования, оперативность измерения при отсутствии штативов в пунктах стояния и наблюдения [2]. Появление в последнее время маркшейдерско-геодезической практике 3D сканеров, позволяет достаточно подробно изучить элементы залегания трещин и разрывных нарушений (рис.3,б).

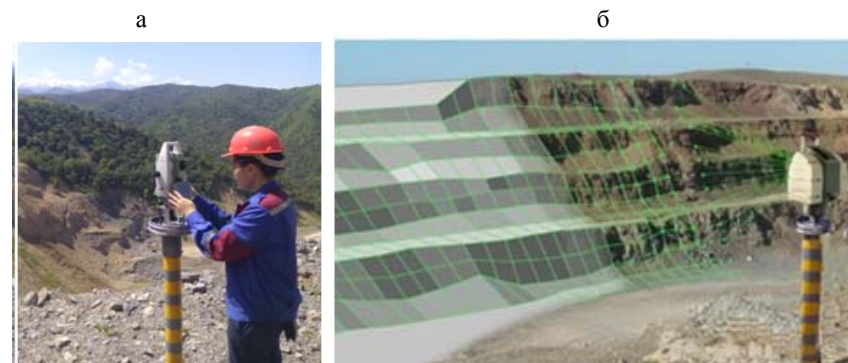


**Рис. 3. Постоянный репер и съемка структуры массива борта карьера лазерным сканером, установленного на постоянном грунтовом репере**

Использование результатов съемки лазерным сканером для получения элементов залегания трещин и размеров структурных блоков возможно при нахождении прибора от прибортового массива до 800 метров. При этом появляется уникальная возможность получения информации о положении прибортового массива без непосредственного контакта исполнителя [3].

В поскольку конечной целью для всех геомеханических исследований является обеспечение промышленной безопасности, то для предотвращения дальнейшей деформации бортов карьера разработан *раствор для упрочнения* трещиноватых горных массивов. Раствор содержит цемент, наполнитель и воду. В качестве наполнителя использованы хвосты обогатительных фабрик ГМК. Технические новизны созданных инновационных методов и способов подтверждены патентами РК на изобретение[4].

### Список литературы

1. Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Г.М. Маркшейдерский мониторинг прибортовых массивов. – Алматы: КазНТУ, 2014.-280 с.
2. Инновационный патент РК №10-2963 «Постоянный грунтовый репер, используемый при геомониторинге земной поверхности./ Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Д.М., Бек А.А. Оpubл. от 16.03.2016г.
3. Nurpeisova M.B., Kirgizbayeva D., Kopzhasaruly K. Innovative ways to capture of solid violations and processing of result / Днепрпетровск: Вестник ДГУ, №2, 2016. – С.5-18.
4. Полезная модель РК№10-20781. Композиция для укрепления трещиноватых горных пород/ Нурпеисова М.Б., Копжасарулы К., Бек А.А. Оpubл. от 02.01.2016 г.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Орманбекова А.Е.<sup>1</sup>, Охотин А.Л.<sup>2</sup>, Нурпеисова М.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Satbayev University, Алматы, Республика Казахстан,*

<sup>2</sup>*Иркутский технический университет*

Деформация зданий и сооружений – сложный процесс, зависящий от множества факторов. Сюда, помимо конструктивных особенностей, относят влияние природных условий (прочность и состав грунтов, интенсивность солнца, ветра и т.п.) и деятельности человека. В общем случае под термином *деформация* понимают изменение формы объекта наблюдений. Сооружения в целом и их отдельные элементы испытывают различного вида деформации вследствие разных причин. В геодезической же практике принято рассматривать деформацию как изменение положения объекта относительно какого-либо первоначального положения. Нормативный документ определяет следующие виды деформаций: вертикальные перемещения (осадки, просадки, подъемы); горизонтальные перемещения (сдвиги); крены.

Для определения деформаций сначала фиксируют точки в характерных местах сооружения. Далее определяют изменение пространственного положения зафиксированных точек за выбранный промежуток времени относительно начального положения объекта. Наблюдения за деформациями оснований и фундаментов проводятся в соответствии с требованиями специальных инструкций. Однако, в некоторых инструкциях не полностью охвачены вопросы геодезических измерений, выполненных на уникальных объектах особого назначения, крупных гидротехнических сооружениях, а также на объектах, построенных на подрабатываемых горными выработками (туннели, метрополитены и т.д.) территориях.

Решение задач геодезического мониторинга высотных объектов осуществляется различными методами и в то же время основным нормативным документом, регламентирующим работы по выявлению деформационных процессов зданий и сооружений, с 2013 г. является обновлённый ГОСТ [1].

Из анализа проведенных геодезических наблюдений при строительстве инженерных сооружений на всей территории СНГ установлено, что объекты такого же рода в южном регионе имеют свои отличия от Центральных и Северных регионов. Это связано с тем, что некоторые города Средней Азии и Казахстана находятся в сейсмической зоне, в

горных районах и на тектонических активных участках земной коры, особенно г.Алматы. Учитывая, условия в сейсмически опасных зонах при строительстве и эксплуатации крупных зданий и сооружений требуется особый подход к методам геодезических наблюдений за деформациями оснований и фундаментов таких важных объектов.

На контролируемых объектах закрепляли контрольные марки, мониторинговые призмы и осадочные марки, для производства дальнейших наблюдений за деформациями зданий и сооружений, обеспечивая необходимую точность согласно требованиям (рис.1,а).

Массовое распространение в настоящее время получили роботизированные тахеометры с сервоприводами, обеспечивающими автоматическое вращение вокруг оси инструмента и вращение зрительной трубы (Рис.1,б). В таких приборах реализована возможность бесперебойного слежения за отражателями на огромных расстояниях [2]. При этом специальное ПО автоматически считывает данные приемов отдельных сеансов и результирует возможные перемещения целей на конкретный временной период. Факторами широкого использования аппаратуры пользователей глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) являются: непрерывность определения координат, всепогодность, оперативность определения координат, высокая точность получаемых результатов, малые габариты и вес приемников, малая энергоемкость, простота эксплуатации и сравнительно невысокая стоимость [3]. В этой связи, GPS-системы могут быть эффективным инструментом при определении динамических показателей колебаний высотных зданий от ветровых воздействий (рис. 1,в).



Рис. 1. Расположение контрольных марок на объекте (а); мониторинг здания с применением роботизированного электронного тахеометра(б); общая схема GPS-мониторинг ветрового воздействия на высотное здание (в)

В настоящее время на рынке имеется богатый выбор оборудования, реализующего технологии спутникового позиционирования, имеющего разное назначение и отличающиеся своими характеристиками. Важно отметить, что при всем многообразии метода использования ГНСС он не лишен недостатков, среди которых основным является невозможность прохождения сигнала до приемника, его значительное искажение или задержка (листвой деревьев, большой облачностью, помехами от наземных радиостанций, а также от магнитных бурь).

Таким образом, в настоящее время для решения задач геодезического мониторинга высотных сооружений, направленного на обеспечение их нормального и безаварийного функционирования, имеются соответствующие методики и технологии. При этом наблюдается тенденция их усовершенствования, переориентации с применения традиционной приборной базы (теодолиты, нивелиры и т.д.) на качественно новый уровень, связанный прежде всего с автоматизацией геодезических работ.

Для проведения мониторинга и комплексной оценки состояния сооружений нами использовались современные высокоточные электронные приборы фирмы Leica Geosystems (Швейцария), такие как: высокоточный тахеометр серии TCR 1201 и цифровой высокоточный нивелир DNA03, лазерный сканер Scanstation и специализированное программное обеспечение, позволяющее непосредственно производить компьютерную обработку данных[4].

**Выводы.** Современные методы, рассмотренные нами позволяют комплексно решать основные задачи геодезического мониторинга. Главное значение должно отдаваться взаимному расположению отдельных строительных элементов, что особенно важно для выявления и прогнозирования деформационных процессов. Какие именно элементы объекта оказались отклонены от проектного положения, или взаимное положение которых меняется между циклами наблюдений – заранее неизвестно. Поэтому полнота и непрерывность данных должны являться важными условиями.

#### Список литературы

1. СН РК 1.04.04-2002 Обследование и оценка технического состояния зданий и сооружений. / Астана, 2003.
2. Пискунов М.Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений. – М.: Недра, 1980.
3. Nurpeissova M., Ormanbekova A., Bek A. The Geodetic Monitoring of the Engineering Structures Stability Conditions. – Journal of Engineering and Applied Sciences, 2017. P. 9151-9163.
4. Нурпеисова М.Б., Орманбекова А.Е., Бек А.А. Оценка технического состояния инженерных сооружений (монография). LAR LAMBERT Academic Publishing. – Германия, 2015.-117 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ GPS МОНИТОРИНГА В ОЦЕНКЕ СОВРЕМЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА АЛМАТИНСКОМ ГДП

Картбаева К.<sup>1</sup>, Нурпеисова М.<sup>1</sup>, Дай Хуань<sup>2</sup>, Омиржанова Ж.

<sup>1</sup>Satbayev University, Алматы, Республика Казахстан,

<sup>2</sup>Китайский горно-технологический университет, г.Пекин, КНР

<sup>3</sup>Международная образовательная корпорация, г.Алматы, РК.

Регион Центральная Азия (Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Туркменистан и Узбекистан) имеет сложный контрастный рельеф и очень интересен для изучения внутриконтинентальной геодинамики. Активные современные геодинамические процессы, связанные с продолжающимся горообразованием на значительной части территории Азии, обуславливают высокую сейсмичность этого региона. Вероятность возникновения деформаций земной поверхности для крупных мегаполисов, каковым является Алматы, достаточно велика. Территория горного обрамления г.Алматы, представляет собой наиболее густонаселенную область в Казахстана, подверженную многочисленным рискам природных катастроф (землетрясения, оползни, паводки и сели). Оползневые процессы на территории г.Алматы и соседних Центрально-Азиатских стран имеют широкое распространение из-за преобладания горного рельефа. Оползневые явления представляют собой значительную часть зарегистрированных природных катастроф на территории Республики Казахстан.

Для изучения современных движений земной поверхности (СДЗП), предвестников крупных землетрясений и усовершенствования методики наблюдений СДЗП на территории Республики Казахстан создан ряд прогностических геодинамических полигонов [1].

В современных работах по прогнозу землетрясений широко используются методы высокоточного нивелирования I и II классов, высокоточные системы глобального позиционирования GPS и ГЛОНАСС, а также появившаяся чуть позже спутниковая радарная интерферометрия (InSAR — Interferometric Synthetic Aperture Radar).

Надежную информацию о деформациях массива пород можно получить прямыми геодезическими наблюдениями на геодинамических полигонах. Высокоточные геодезические измерения дают возможности выявить подвижность блоков вблизи разлома, что существенно для оценки геодинамической ситуации изучаемого района. Но геодезические измерения являются дискретными, они не позволяют получить полную картину деформационных процессов во времени. Это можно осуществить только с использованием методики комплексного мониторинга.

Главной целью мониторинга геодинамики является создание системы быстрого реагирования и раннего оповещения при возникновении любых типов опасности, таких, как землетрясения, оползни, гидрометеорологические опасности, или вызванные антропогенным воздействием на окружающую среду. Важным моментом в проведении данных работ будет использование при мониторинге современных приборов и разработка методик математического моделирования геодинамических процессов для прогноза природных и техногенных катастроф [2].

На полигоне г.Алматы геодинамический мониторинг ведется КазНУ имени Сатпаева совместно с Институтом сейсмологии за различными движениями земной поверхности (рис.1):

Всего приборами современных движений земной поверхности в год производится около 12 000 000 измерений.



**Рис.1. Схема размещения станций, оснащенных деформографами, светодальномерами и GPS приемниками**

На Алматинском ГДП нивелирование производилось цифровым лазерным нивелиром фирмы Trimble DiNi с штрих – кодовой рейкой. Преимуществом такой системы является простота измерения, отсутствие погрешности считывания и записи, автоматическое вычисление высот во время измерения и регистрации данных .

По результатам данных повторного нивелирования установлены устойчивые закономерности временного хода изменения превышений. Например, для сильных землетрясений с магнитудой более 5, удаленных от нивелирных профилей не более чем на 200 км, за несколько лет до землетрясения происходит наклон поверхности в северном направ-

лении; за 1-2 года до землетрясения наклон прекращается и меняет знак на обратный. В период нескольких лет перед землетрясением картины изменения превышений по разным профилям согласованы.

Исследование горизонтальных деформаций показало, что они носят блоковый характер и до землетрясений обнаруживают (даже для удаленных землетрясений) горизонтальные сжатия, а после – растяжения. Главные оси сжатия ориентированы вкrest разломам (рис.2), где происходили землетрясения с магнитудами от 6,1 до 7,3[3].

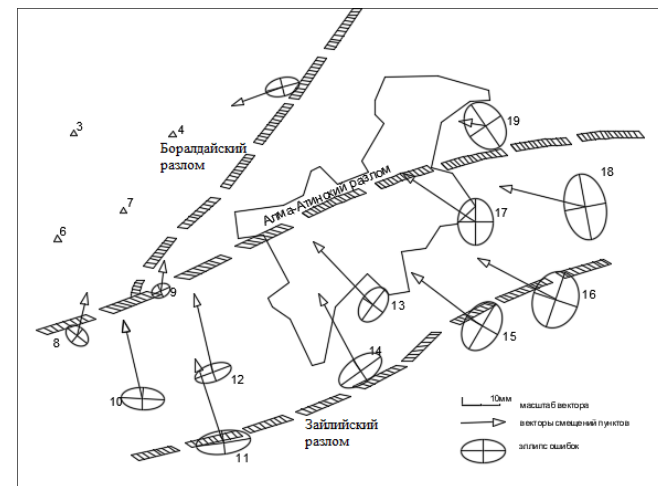


**Рис.2. Схема векторов смещений пунктов на Алматинском ГДП**

Вертикальные деформации носят колебательный характер, но при этом за несколько лет перед сильными землетрясениями наблюдаются наклоны земной поверхности в меридиональном направлении. Южные окраины республики Казахстана принадлежат высокосейсмичным районам. Согласно современным тектонофизическим представлениям складчатость зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня сформировалась в условиях субмеридионального сжатия за счет сближения Индостано-Памирской и Евразийской плит. Главными густо заселенным городом, расположенным в этих сейсмоопасных областях, является Алма-Ата – Зайлийского Алатау.

### Список литературы

1. Картбаева К.Т., Нурпеисова М.Б., Омиржанов Ж.Т Геодетические наблюдения на Алматинском геодинамическом полигоне. – Ташкент: ТашГУ, 2018. – С. С.63-74.

2. Серябрякова Л.И. Геодинамические исследования. – М.: ЦНИИГАиК, 2011. – 150 с.

3. Kartbayeva K.T., Nurpeisova M.B. Geodesic support of geodynamic prolongons. – Алматы: Горный журнал Казахстана, №4, 2018. С.14-18

## **ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

**Бек А.А., Сартаев Д.Т.**

*Международная образовательная корпорация,  
Алматы, Республика Казахстан,*

Известны следующие растворы для укрепления трещиноватых горных пород: 1) содержащий цемент, воду и хлористый кальций в количестве 1-2,2 % от массы цемента; 2) раствор, изобретённый Донецким научно-исследовательским угольным институтом, содержащий фосфогипсовое вяжущее, быстроотверждающаяся формальдегидная смола КФБ, щавелевая кислота, вода.

Эти растворы имеют высокую стоимость, а второй раствор необходимо ещё готовить непосредственно у скважины.

В качестве ближайшего аналога мы взяли раствор, содержащий цемент, песок и воду. Для того, чтобы снизить стоимость раствора мы предлагаем вести в цементный раствор для заполнения трещин отходы обогатительных фабрик (хвосты). Хвосты являются многотоннажным отходом производства и для их складирования выделяются большие площади. Хранение хвостов наносит большой вред окружающей среде. Негативное явление хвостов на окружающую среду проявляется в загрязнении атмосферного воздуха, подземных и поверхностных вод, почвенно-растительного покрова вредными веществами [1].

Нами исследован состав для укрепления арматуры в скважинах при упрочении горного массива с применением отходов обогатительной фабрики. Нами получен новый состав для укрепления арматуры в скважинах при упрочении горного массива, позволяющего утилизировать отходы горного производства – хвосты обогатительных фабрик и повысить прочность и морозостойкость полученного материала.

Для достижения технического результата в состав, содержащий цемент, воду мы в качестве наполнителя ввели хвосты обогатительной фабрики и дополнительно хлористый кальций, дисперсионные полимерные порошки мовилит и тилозу при следующем соотношении компонентов, масса, в %: Цемент 20-25; хвосты обогатительных фабрик 65-70; хлористый кальций 1,0-1,5; мовилит 0,2-0,4; тилоза 0,1-0,2 и остальное – вода.

Соотношение компонентов получено экспериментально и является оптимальным для повышения прочности и морозостойкости. Содержание хвостов обогатительных фабрик в количестве больше 70% не позволяет получить материал повышенной прочности, а в количестве меньше 65% не позволяет снизить значительно себестоимость состава.

Увеличение количества хвостов обогащения более 40% снижает текучесть раствора и его адгезию с частицами пылящей поверхности при небольшом повышении прочности. А уменьшение их количества менее 35% повышает себестоимость покрытия.

Увеличение количества цемента более 25% увеличивает себестоимость покрытия и снижает его агрономические свойства, а уменьшение менее 20% ведет к снижению адгезии состава с пылящей поверхностью и снижению прочности материала покрытия. Увеличение количества латекса более 6 % увеличивает себестоимость покрытия, а уменьшение менее 5 % ведет к снижению адгезии состава с пылящей поверхностью и снижению прочности материала покрытия [2].

Для получения композиции используют следующие сырьевые материалы: портландцемент М 400 Карагандинского цементного завода; хвосты обогащения Балхашского горно-металлургического комбината (далее БГМК). Применение хлористого кальция, мовилита и тилозы в меньшем количестве, чем указано выше, не позволяет достичь необходимой прочности и морозостойкости, а в большем ведет к повышению себестоимости состава.

Для получения состава в экспериментальных условиях использовали следующие сырьевые материалы (табл. 1):

1. Портландцемент М 400 Карагандинского цементного завода со следующими характеристиками: сроки схватывания – начало 2ч50мин.; конец: 3ч40мин.; нормальная густота – 25,5%.
2. Хвосты – отходы обогатительной фабрики Балхашского горно-металлургического комбината (БГМК)
3. Хлористый кальций ( $\text{CaCl}_2$ ), являющийся ускорителем твердения.
4. Дисперсионный полимерный порошок мовилит АМ 2572 и тилоза МВ 15009 – продукция фирмы «Клариант» (Германия). Составы приведены в таблице 1.

Указанное соотношение компонентов получено экспериментально и является оптимальным. С одной стороны, необходимой текучести раствора и адгезии, а с другой стороны, для получения материала необходимой прочности после схватывания его с горными породами.

**Таблица 1 – Составы раствора**

| Состав            | Количество, масс.% |          |          |          |
|-------------------|--------------------|----------|----------|----------|
|                   | Пример 1           | Пример 2 | Пример 3 | Прототип |
| Цемент            | 20                 | 22,5     | 25       | 28       |
| Щебень            | -                  | -        | -        | 64       |
| Хвосты ОФ         | 70                 | 67,5     | 65       | -        |
| Хлористый кальций | 1,5                | 1,25     | 1,0      | -        |
| Мовилит АМ 2572   | 0,4                | 0,3      | 0,2      | -        |
| Тилоза МВ 15009   | 0,1                | 0,15     | 0,2      | -        |
| Вода              | 8,0                | 8,3      | 8,6      | 8,0      |

Таким образом, задача состоит в том, чтобы создать раствор для укрепления горных пород, обладающего низкой стоимостью, достаточной текучестью для заполнения мелких трещин и адгезией к горным породам, высокой прочностью.

Использование хвостов обогатительных фабрик позволяет снизить себестоимость состава и повысить прочность материала. Физико-механические испытания, результаты которых представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Физико-механические свойства раствора**

| Примеры | Состав раствора, мас.% |           |         |      | Показатели                 |                             |                  |
|---------|------------------------|-----------|---------|------|----------------------------|-----------------------------|------------------|
|         | Цемент                 | Хвосты ОФ | Мовилит | Вода | Предел прочн. на сжат. МПа | Предел прочн. на изгиб, МПа | Осадка конуса мм |
| 1       | 30                     | 50        | 4       | 16   | 32,5                       | 4,7                         | 150              |
| 2       | 32,5                   | 47,5      | 3,5     | 16,5 | 32,6                       | 5,2                         | 145              |
| 3       | 35                     | 45        | 3       | 17   | 37,2                       | 5,8                         | 143              |

Данные наших исследований подтверждают, что предлагаемый состав раствора для укрепления трещиноватого массива должен быть в следующем соотношении, мас. %: цемент 30-35, хвосты обогатительных фабрик 45-50, мовилит 3-4, остальное – вода

Таким образом, *сущность получения раствора* является изготовление импортозамещающего раствора отечественного производства, отвечающих требованиям мирового уровня. В качестве базы сравнения принят наиболее распространенный в СНГ вид раствора – набрызгбетон, применяемый в строительстве и в горном деле.

Техническая новизна созданного раствора подтвержден патентами РК на изобретение [3]. Полученный раствор прошел испытание в центрально лаборатории сертификации строительных материалов (ЦелСИМ) и получен акт испытания.

## Список литературы

1. Экологическая и промышленная безопасность освоения недр (коллективная монография). Под общей редакцией М.Б. Нурпеисовой Алматы: КазННТУ, 2017. – 436 с..
2. Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Г.М., Бек А.А. Мониторинг техногенных горных систем (монография). LAR LAMBERT Academic Publshing. – Германия, 2016. –117 с.
3. Патент РК №1573. Состав для упрочнения трещиноватых пород и цементиров /Нурпеисова М.Б., Бек А.А., Кыргызбаева Г.М. – Астана: Бюллетень №8 от 29.07.2016г.

## GPS МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЕВОДОРОДОВ

**Кенесбаева А.<sup>1</sup>, Нурпеисова М.<sup>1</sup>, Левин Е.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Satbayev University, Алматы, Республика Казахстан,*

<sup>2</sup>*Мичиганский технологический университет, гМичиган, США*

Интенсивная добыча нефтегазовых месторождений в Западном Казахстане нарушает природную среду, создаются условия возникновения ряда экологических проблем, существенно влияющих на развитие природы и качество жизни населения в регионе. В результате в крупных нефтегазоносных районах развиваются опасные техно-природные процессы в верхней части земной коры, повышается ее геодинамическая и сейсмическая активность. В связи с этим необходимо проведение геодизического мониторинга геодинамических процессов и сейсмической активности разрабатываемых месторождений газа и нефти и прилегающих территорий. Существует ряд методов контроля состояния движений земной поверхности при разработке месторождений полезных ископаемых. [1].

Однако в связи с большой площадью территории месторождений УВ применение данных методов дорогостоящее, занимает весьма продолжительное время и имеет свойство накопления ошибки при увеличении числа ходов. Поэтому для определения горизонтальных и вертикальных сдвижений точек земной поверхности целесообразно использовать спутниковые наблюдения с применением глобальных навигационных спутниковых систем [2].

Интерес к этой проблеме во всем мире из года в год постоянно растет. Это подтверждается различными докладами и сообщениями, которые регулярно публикуются в международных научно-технических журналах и обсуждаются на ежегодных научных конференциях, посвященных разработке методов и принципов ведения геодинамического мониторинга на территориях месторождений углеводородов, что убедительно подтвер-

ждается результатами экспериментальных исследований, проводимых «Программой проведения комплексного геодинамического мониторинга природно-техногенных процессов на месторождении углеводорода в период 2012-2016 гг» КазНИТУ имени К.И.Сатпаева» [3].

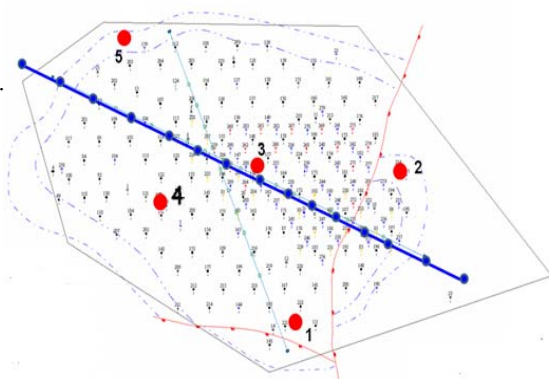
Целям и задачам контроля за геодинамическим состоянием недр и решения проблемы обеспечения геодинамической безопасности освоения углеводородного потенциала недр территории газонефтяного месторождения Бузачи, расположенного в Мангистауской области РК. Основные требования к конструкции нивелирных пунктов и технологии их закладке были взяты из Инструкции по нивелированию I, II III и IV классов, которые действовали на тот период времени. В таблице 1 приведены основные характеристики существующей изученности повторного нивелирования II класса повышенной точности на территории месторождения по результатам работ 2009 года. На рис. 1 приведена схема фактического положения линии повторного нивелирования II класса повышенной точности и нивелирных пунктов расположенных вдоль этой линии. Профиль 1-1 проходит по простиранию структуры месторождения. Вдоль профиля в 2009 году было заложено 15 нивелирных пунктов. Кроме этого в нивелирование был включен GPS-пункт №3. Всего вдоль профиля 1-1 в нивелирование 1-го цикла (2009 год) было включено 16 пунктов (табл).

**Таблица 1**

| №№ профиля | Длина Профиля (км) | Кол-во пунктов | Количество циклов нивелирования | Среднее расстояние между пунктами, м |
|------------|--------------------|----------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| 1-1        | 11,1               | 16             | 1                               | 690                                  |

Синие кружки – нивелирные пункты, совмещенные с гравиметрическими пунктами.  
Красные кружки – GPS-пункты

**Рис. 1. Схема проектного расположения нивелирных пунктов, совмещенных с гравиметрическими пунктами и GPS-пунктов на территории месторождения**



### *Повторное нивелирование II класса повышенной точности.*

В соответствии с Программой работ по проведению геодинамического мониторинга на территории месторождения был выполнен очередной цикл нивелирования II класса повышенной точности в августе 2017 года и была проведена очередная полевая рекогносцировка на территории.

Полученные в 2017 году координаты GPS-пунктов позволили рассчитать векторы горизонтальной и вертикальной составляющих движений GPS-пунктов на месторождении. В свою очередь это позволило составить схемы площадного распределения вертикальной и горизонтальной компоненты движений GPS-пунктов за годовой интервал времени. Площадное распределение горизонтальной компоненты движений GPS-пунктов характеризуется в основном их направленным движением в юго-восточную часть месторождения (рис. 2).

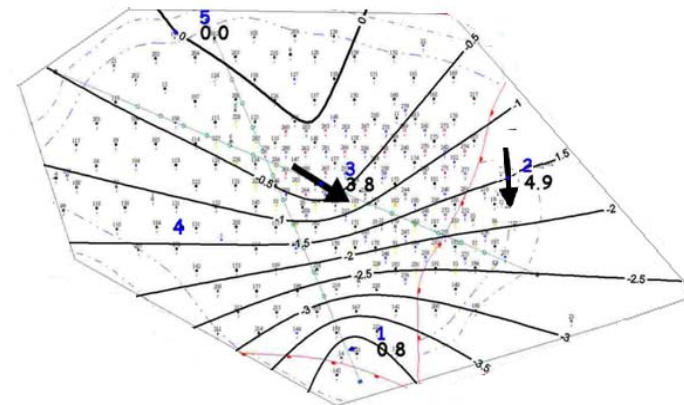


**Рис. 2. Схема сопоставления площадного распределения вертикальной и горизонтальной компонент движений GPS-пунктов на территории месторождения**

Таким образом, результаты второго цикла GPS-измерений на территории месторождения и их сопоставление с результатами измерений в первом цикле позволили наметить некоторые тенденции в площадном распределении вертикальной и горизонтальной компонент движений. Еще раз следует подчеркнуть, что полученные результаты являются первым опытом проведения повторных GPS-измерений на территории месторождения, которые должны конкретизироваться и уточняться последующими измерениями.

## Список литературы

1. Экологическая и промышленная безопасность освоения недр//под общей редакцией М. Нурпеисовой. – Алматы.: КазННТУ – 2016. – С. 435.
2. Казаков В.М. Некоторые аспекты теории охраны недр при разработке месторождений нефти и газа. // Газовая промышленность, М. – 2012. – № 1. – С. 16-19.
3. Нурпеисова М.Б., Кенесбаева А. Прогноз техногенной опасности земной поверхности//Горный журнал Казахстана, – 2018. №11. – С.24-29.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ГНСС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТ КВАЗИГЕОИДА

**Туреханова В.Б., Касымканова Х.М., Джангулова Г.К.,  
Абильжанова М. А.**

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби,  
г. Алматы, Казахстан*

В структуре современной системы геодезического обеспечения Казахстан модели высот квазигеоида занимают особое место. В настоящее время востребованы приращивании результатов наземных геодезических измерений на поверхность относимости, что более важно, сегодня моделям высот квазигеоида отводится ключевая роль в преодолении традиционного разделения геодезических измерений на плановые и высотные и внедрения в геодезическую практику элементов, так называемой, трехмерной геодезии.

Когда по одним и тем же геодезическим измерениям получают плановые координаты, геодезические высоты и нормальные высоты [1].

В мире функционируют две глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) второго поколения: GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия). На различных этапах развертывания находятся еще две системы глобального позиционирования – европейская Galileo и китайская BeiDou-2 (международное название Compass), а также две региональных системы спутниковой навигации Индийская IRNSS и Японская QZSS. Полностью введена в строй GPS: по состоянию на февраль 2016г на орбите работают 31 спутник GPS. Созвездие спутников ГЛОНАСС насчитывает в настоящее время 27 спутников. Система Galileo разрабатывается Европейским агентством ГНСС. Ожидается, что первые виды услуг системы Galileo в демонстрационных целях будут предоставлены в течение ближайших лет. Для тестовых испытаний в 2011-2012 г на орбиту выведено 4 опытных спутника системы Galileo. Полное развертывание китайской ГНСС BeiDou/Compass планируется к 2020г. Спутниковая

группировка этой системы будет насчитывать 35 навигационных спутников (5 геостационарных и 30 негеостационарных). Индийская система IRNSS обеспечит региональную навигацию при помощи 7 спутников, выведенных на геосинхронные орбиты. Японская региональная спутниковая система QZSS будет включать группировку из 3 спутников, расширяющих возможности GPS для мобильных устройств, обеспечивая более точное позиционирование и передачу данных в Азиатско-тихоокеанском регионе [2-3].

Глобальные навигационные спутниковые системы занимают особое место в космической инфраструктуре, обеспечивая непрерывный доступ к навигационным услугам потребителям на поверхности Земли, в воздушном и околоземном пространстве. Наиболее широкое распространение в мире получила американская и российская спутниковые радио навигационные системы GPS (NAVSTAR) и ГЛОНАСС (Глобальная Навигационная Спутниковая Система). GPS – Global Positioning System (Глобальная система позиционирования). Другое название системы GPS – NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging – Определение времени и расстояний по навигационным спутникам) [6,7].

В таблице 1 приведены список станций ГНСС, которые используются в открытом доступе.

**Таблица 1**

| № | код  | Населённый пункт | Расположение                                                                     | Спутн. группиров.                        | Статус   |
|---|------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------|
| 1 | 2    | 3                | 4                                                                                | 5                                        | 6        |
| 1 | ASTN | Астана           | Широта: 51° 09' 09,46359" N<br>Долгота: 71° 32' 55,82708" E<br>Высота: 323,814 м | GPS/ГЛОНАСС/<br>COMPASS/<br>GALILEO/QZSS | Работает |
| 2 | ALM3 | Алматы           | Широта: 43° 14' 15,17850" N<br>Долгота: 76° 53' 05,11209" E<br>Высота: 835,088 м | GPS/ГЛОНАСС/<br>COMPASS/<br>GALILEO/QZSS | Работает |
| 3 | TLDK | Талдыкорган      | Широта: 45° 01' 15,39073" N<br>Долгота: 78° 23' 20,03287" E<br>Высота: 555,2 м   | GPS/ГЛОНАСС                              | Работает |
| 4 | TARZ | Тараз            | Широта: 42° 54' 25,82496" N<br>Долгота: 71° 22' 27,87429" E<br>Высота: 583,9 м   | GPS/ГЛОНАСС                              | Работает |
| 5 | SHMK | Шымкент          | Широта: 42° 19' 06,31780" N<br>Долгота: 69° 36' 04,16680" E<br>Высота: 483,421 м | GPS/ГЛОНАСС                              | Работает |

Продолжение табл. 1

| 1  | 2     | 3           | 4                                                                                | 5                                        | 6                    |
|----|-------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------|
| 6  | KZLR  | Кызыл-лорда | Широта: 44° 48' 56,94865" N<br>Долгота: 65° 32' 52,03476" E<br>Высота: 100,564 м | GPS/ГЛОНАСС                              | Работает             |
| 7  | AKTA  | Актау       | Широта: 43° 39' 03,33972" N<br>Долгота: 51° 10' 16,47160" E<br>Высота: -12,090 м | GPS/ГЛОНАСС/<br>COMPASS/<br>GALILEO/QZSS | Работает             |
| 8  | ATRU2 | Атырау      | Широта: 47° 05' 14,65744" N<br>Долгота: 51° 54' 41,77845E<br>Высота: -17,855 м   | GPS/ГЛОНАСС                              | Работает             |
| 9  | URLS  | Уральск     | Широта: 51° 12' 55,11656" N<br>Долгота: 51° 21' 53,60423" E<br>Высота: 41,461 м  | GPS/ГЛОНАСС                              | Работает             |
| 10 | AKSA  | Аксай       | Широта: 51° 10' 03,93590" N<br>Долгота: 53° 01' 01,61270" E<br>Высота: 64,498 м  | GPS/ГЛОНАСС                              | Работает             |
| 11 | AKTB  | Актобе      | Широта: 50° 17' 11,35790" N<br>Долгота: 57° 12' 10,50263" E<br>Высота: 203,616 м | GPS/ГЛОНАСС                              | Работает             |
| 12 | KKSH  | Кокшетау    | Широта: 53° 16' 55,21732" N<br>Долгота: 69° 22' 58,25710" E<br>Высота: 218,310 м | GPS/ГЛОНАСС                              | Работает             |
| 13 | KSTN  | Костанай    | Широта: 53° 13' 11,64296" N<br>Долгота: 63° 37' 21,06674" E<br>Высота: 165,071 м | GPS/ГЛОНАСС                              | Работает             |
| 14 | KRGD  | Караганды   | Широта: 49° 48' 05,68260" N<br>Долгота: 73° 05' 25,46637" E<br>Высота: 525,528 м | GPS/ГЛОНАСС                              | Работает             |
| 15 | PVLD  | Павлодар    | Широта: 52° 17' 04,60152" N<br>Долгота: 76° 56' 42,33345" E<br>Высота: 113,260 м | GPS/ГЛОНАСС                              | Работает             |
| 16 | EKBS  | Екибастуз   | Широта: 51° 42' 42,97447" N<br>Долгота: 75° 19' 59,59637" E<br>Высота: 186,831 м | GPS/ГЛОНАСС                              | Временно не работает |
| 17 | KRCH  | Курчатов    | Широта: 50° 43' 30,38924" N<br>Долгота: 78° 35' 49,95628" E<br>Высота: 130,149 м | GPS/ГЛОНАСС                              | Работает             |
| 18 | SMSK  | Семей       | Широта: 50° 24' 10,22716" N<br>Долгота: 80° 13' 36,72725" E<br>Высота: 158,855 м | GPS/ГЛОНАСС                              | Работает             |

Продолжение табл. 1

| 1  | 2    | 3                | 4                                                                                | 5                                        | 6        |
|----|------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------|
| 19 | USTK | Усть-Каменогорск | Широта: 49° 58' 26,17766" N<br>Долгота: 82° 34' 12,52766" E<br>Высота: 244,847 м | GPS/ГЛОНАСС/<br>COMPASS/<br>GALILEO/QZSS | Работает |
| 20 | PTRP | Петропавловск    | Широта: 54° 51' 28,73754" N<br>Долгота: 69° 10' 00,05604" E<br>Высота: 123,88 м  | GPS/ГЛОНАСС                              | Работает |

На рисунке 1 приведена схема сети станции ГНСС Алматинской области

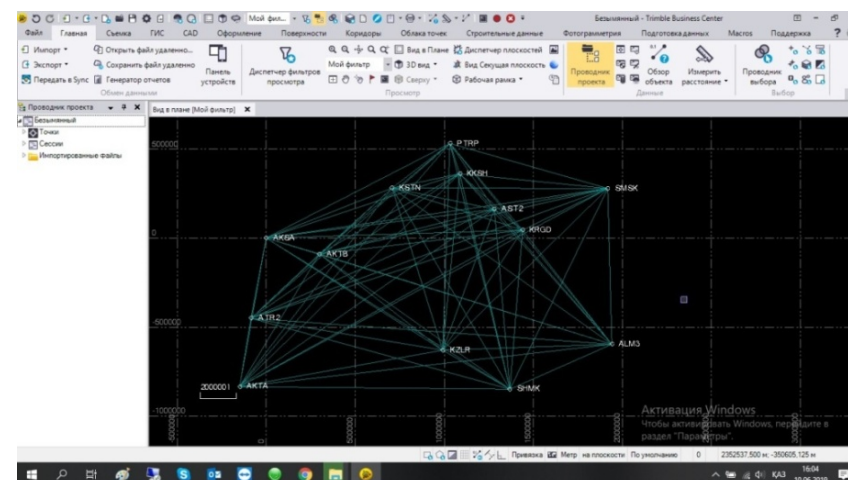


Рис.1

Основным видом исходной информации для вычисления высот остаются данные площадных гравиметрических съемок. Для точного определения высот геоида необходимо знать внутреннее строение Земли. Как следствие, подход к определению фигуры Земли через высоту геоида представляется недостаточно строгим, поскольку распределение плотности масс внутри Земли с необходимой точностью неизвестно.

Советский геофизик и геодезист М.С. Молоденский предложил для определения фигуры Земли использовать вместо геоида близкую к нему поверхность, математически строго определяемую значениями геопотенциала на земной поверхности квазигеоид.

В настоящее время для определения высот квазигеоида (ВКГ) могут использоваться различные геодезические методы, в число которых наряду с методами наземной геодезии (методами астрономо-геодезического и астрономо-гравиметрического нивелирования, гравиметрическим и гравиинерциальными методами) входят методы космической геодезии.

### Список литературы

1. Modern global Earth's gravity field models and their errors / V.N. Koneshov, V.B. Nepoklonov, R.A. Sermyagin, E.A. Lidovskaya // Gyroscopy and Navigation. – 2013. – Vol. 4, No. 3. – P. 147–155.
2. Сравнение спутниковых моделей проекта GOCE с различными наборами независимых наземных гравиметрических данных / В.Ф. Канушин, И.Г. Ганагина, Д.Н. Голдобин и др. // Вестник СГГА – 2014. – Вып. 3 (27). – С. 21–35.
3. Evaluation of recent Earth's global gravity field models with terrestrial gravity data / A.P. Karpik, V.F. Kanushin, I.G. Ganagina et al. // Contributions to Geophysics and Geodesy. – 2016. – Vol. 46, No. 1. – P. 1–11.
4. Исследование современных глобальных моделей гравитационного поля Земли / В.Ф. Канушин, А.П. Карпик, И.Г. Ганагина, Д.Н. Голдобин, Н.С. Косарев, А.М. Косарева : монография. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 270 с.
5. Исследование спектральных характеристик глобальных моделей гравитационного поля Земли, полученных по космическим миссиям CHAMP, GRACE и GOCE / А.П. Карпик, В.Ф. Канушин, И.Г. Ганагина и др. // Гироскопия и навигация. – 2014. – № 4 (87). – С. 34–44.
6. Mayer-Guerr T. ITG-Grace03s: the latest GRACE gravity field solution [Electronic resource]. – Режим доступа: [http://www.massentransporte.de/fileadmin/20071015-17-Potsdam/mo\\_1050\\_06\\_mayer.pdf](http://www.massentransporte.de/fileadmin/20071015-17-Potsdam/mo_1050_06_mayer.pdf).
7. Туреханова В.Б. Современный подход к определению квазигеоида. Материалы международной конференции студентов и молодых ученых «Фарабиэлемі», С185-186, Алматы – 2018.

## ОСОБЕННОСТИ ВНЕЗАПНОГО ОБРУШЕНИЯ (ВЫСЫПАНИЯ) УГЛЯ НА ЗАЩИТНЫХ ПЛАСТАХ

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

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

Внезапные обрушения (высыпания) угля являются одной из разновидностей газодинамических явлений, которые происходят при разработке крутых и крутонаклонных пластов в результате потери устойчи-

вости и разрушения газонасыщенного угольного массива под действием горного давления и гравитационных сил. Как правило, внезапные обрушения (высыпания) угля приурочены к зонам тектонических нарушений с резко изменяющимися структурными и механическими характеристиками угля. Этим процессам предшествуют, как правило, предупредительные признаки, к которым относятся: «шелушение» забоя, осыпание мелких частиц угля, звуковые и прочие эффекты, сопровождающие технологическое воздействие на напряженный угольно-породный массив («постреливание» забоя, зажатие буровых штанг при бурении шпуров). Продолжительность этих газодинамических явлений изменяется от нескольких секунд до нескольких десятков секунд, а процесс их протекания может состоять из одной или нескольких стадий, разделенных различными по продолжительности паузами.

В практике разработки крутых и крутонаклонных пластов имеют место близкие по внешним признакам, но отличающиеся по механизму и характеру протекания технологические обрушения угля, которые происходят из краевых частей угольного пласта, разрушенных горным давлением и удерживаемых от падения специальной крепью. Они характеризуются высоким содержанием крупных фракций, кратковременностью протекания и сопровождаются незначительным выделением метана (ниже природной газоносности). Механизм защитного действия опережающей разработки защитных пластов для предотвращения внезапных обрушений (высыпаний) угля заключается в повышении прочности и устойчивости краевых частей опасных и угрожаемых по обрушению (высыпанию) пластов в результате их дегазации и разгрузки от горного давления.

Выбор исходных данных, расчет параметров защиты и построение границ защищенных зон при опережающей разработке смежных пластов для предотвращения внезапных обрушения (высыпаний) угля производится практически по той же методике и в том же порядке, как и для внезапных выбросов угля и газа. Корректировка параметров при расчете дальности защитного действия смежных пластов применительно к внезапным обрушениям (высыпаниям) угля осуществляется путем введения в соответствующие формулы коэффициента  $K_1$ :

$$S_1^a = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot S_1' \cdot K_1 \quad (1)$$

$$S_2^a = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot S_2' \cdot K_1 \quad (2)$$

где  $S_1^a$  и  $S_2^a$  – размеры защищенных зон по внезапным обрушениям (высыпаниям) угля соответственно в кровлю и почву;  $S_1'$  и  $S_2'$  – размеры

защищенных зон по внезапным выбросам угля и газа, выбираемые по таблицам 1 и 2 раздела 3 «Правил ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям» [1];  $\beta_1$  – коэффициент, учитывающий значение эффективной мощности на защитном пласте:

$$\beta_1 = \frac{m_{эф}}{m_0}, \text{ но не более } 1,0;$$

где  $m_0$  – критическое значение мощности защитного пласта;  $m_{эф}$  – эффективная мощность защитного пласта:

$$m_{эф} = K \cdot m, \quad (3)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий компрессионные свойства закладочного материала: при гидравлической закладке –  $K = 0,35$ ; при других видах закладки –  $K = 0,45$ ; при управлении кровлей удержанием на деревянных кострах –  $K = 0,7$ ; при управлении кровлей полным обрушением –  $K = 1,0$ .

В тех случаях, когда коэффициент усадки закладочного материала ( $K_y$ ) известен, коэффициент  $K$  определяется из выражения:

$$K = 0,1 + K_y,$$

где  $\beta_2$  – коэффициент, учитывающий влияние литологического состава пород междупластья на размеры зоны дегазации в надработанном или подработанном массиве: при наработке коэффициент  $\beta_2 = 0,55$ ; при подработке  $\beta_2 = 0,68$ .

$K_1$  – коэффициент, учитывающий изменение прочностных характеристик угля при его газонасыщении, определяется в зависимости от критической газоносности угля по номограмме на рисунке 1. В качестве критической газоносности ( $x_{крит}$ , м<sup>3</sup>/т) принимается величина остаточной газоносности угля при давлении 0,5 МПа, которая имеет место в зонах эффективной защиты угольных пластов по внезапным выбросам угля и газа.

При наличии эффективной защиты пласты, опасные по внезапным обрушениям (высыпаниям) угля, разрабатываются как склонные к обрушениям. При этом, не исключается применение на защищаемом пласте общих мер безопасности при оформлении нависающего массива угля (производство выемки угля в верхних «кутках» малыми заходками с установкой промежуточных стоек под нависающим массивом. Учиты-

вая, что построение защищенных зон для предотвращения внезапных обрушений (высыпаний) угля совпадает с зонами для предотвращения внезапных выбросов угля и газа (за исключением дальности защитного действия) на планы горных работ и на рабочие эскизы эксплуатационных участков границы защищенных зон, зон ПГД и прогнозируемые геологические нарушения наносятся в соответствии с требованиями раздела 3 «Правил ведения горных работ...» [1].

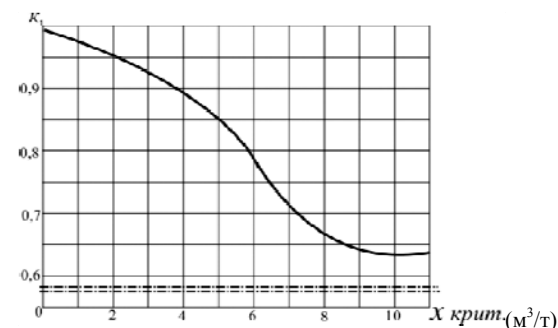


Рис. 1. Номограмма для определения коэффициента  $K_1$

Размеры защищенных зон  $S_1^B$  и  $S_2^B$ , рассчитанные по формулам (1) и (2), по заключению РАНИМИ могут быть расширены на основании анализа опыта разработки пласта и экспериментальной оценки эффективности защитного действия.

Оценка эффективности защитного действия для предотвращения внезапных обрушений (высыпаний) угля выполняется с целью установления наличия защиты и определения границ защищенных зон в следующих условиях:

- 1) когда  $S_1^B < h_1 < S_1$  и  $S_2^B < h_2 < S_2$ , где  $S_1$  и  $S_2$  – размеры защищенных зон по внезапным выбросам угля и газа;
- 2) в зонах ПГД, подработанных или надработанных очистными работами третьего пласта, расположенного выше защищаемого на расстоянии  $0,4S_2^B$  или ниже на расстоянии  $0,6S_1^B$ ;
- 3) при наработке защитными пластами с эффективной мощностью менее 0,5 м (при закладке выработанного пространства или оставлении в нем специальной крепи, за исключением случаев, когда  $h_2 < 0,7S_2^B$ ;
- 4) при использовании в качестве защитных пластов с вынимаемой мощностью менее 0,5 м;
- 5) при дегазации надрабатываемых пластов.

На участках пластов, на которых в результате выполненной оценки установлено отсутствие эффективной защиты, горные работы ведутся как на одиночном пласте, так и на смежных пластах.

На участках пластов, на которых установлено наличие эффективной защиты, горные работы в дальнейшем ведутся с периодическим контролем эффективности защитного действия.

#### Список литературы

1. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям [Текст]: СОУ 10.1.00174088.011-2005: утв. Приказом Минуглепрома Украины от 30 декабря 2005 г. № 145. – Киев, 2005. – 225 с.

### ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАЗВИТИЯ МИКРОТРЕЩИН В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Панфилов Г.П.<sup>1</sup>, Зайцев Д.В.<sup>1,2</sup>, Панфилов П.Е.<sup>1</sup>, Кочанов А.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Уральский федеральный университет, Екатеринбург;*

<sup>2</sup> *Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН,  
Екатеринбург;*

<sup>3</sup> *Институт проблем комплексного освоения недр  
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

В материаловедении горные породы рассматриваются как природные неорганические материалы с иерархической структурой, чье деформационное поведение может отличаться от поведения синтетических материалов. В докладе обсуждаются механизмы релаксации напряжений в горных породах. Изучили метаболитические (гранит, кварцит, серпентинит), осадочные (песчаник, каменный уголь) и метаморфические (яшма, мрамор) горные породы. Механические испытания проводили по схеме диаметрального сжатия при комнатной температуре на воздухе и в воде, используя малогабаритные образцы диаметром 6 мм и толщиной 3 мм. Развитие трещин изучали на оптическом микроскопе, а морфологию изломов – на сканирующем электронном микроскопе. На макроскопическом уровне все материалы демонстрировали хрупкое поведение, независимо от типа породы и среды испытания. Под действием воды в магматических и осадочных породах происходило незначительное снижение предела прочности и деформации до распада на части, что не отражалось на морфологии поверхности изломов образцов – это хрупкое внутризеренное разрушение. Охрупчивание за счет снижения когезионной прочности границ зерен под действием воды можно исключить, поскольку участков хрупкого межзеренного разрушения на изломах не было. Это может быть объяснено эффектом

Ребиндера, когда под влиянием воды активируется процесс пластической деформации. В метаморфических породах вода также не меняла моды разрушения (она была аттестована как хрупкое межзеренное разрушение). Траектория движения трещины определялась геометрией приложения нагрузки и не зависела от среды. При испытании магматических и осадочных горных пород на воздухе, длина магистральной трещины была сравнима с диаметром образца, а при испытаниях в воде она снижалась до 60-70% от диаметра образца. Ширина трещины в образцах, испытанных на воздухе, была в 2-3 раза больше, чем в образцах, деформированных в воде. Магистральная трещина состояла из порообразных микротрещин, которые имеют тенденцию к слиянию друг с другом. Подобным образом развиваются трещины в шейке на металлах. Длина микротрещин, в отличие от их ширины, не зависела от среды испытания. На микроскопическом уровне магматические и осадочные породы, в отличие от метаморфических, демонстрируют вязко-упругое поведение. Это можно объяснить тем, что на микроуровне в них действует дополнительный механизм релаксации напряжений, конкурирующий с ростом трещины, – необратимая деформация или микропластичность.

### ПРИМЕНЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НАПОРОВ В ПРИБОРТОВОМ МАССИВЕ И ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ

Лескова П.Г., Колпаков В.Б. Жданов С.В.

*АО «Полиметалл Инжиниринг», г. Санкт-Петербург*

Угол наклона борта карьера определяет прибыль горнодобывающих компаний и безопасность ведения горных работ. Крутые углы бортов и уступов карьера уменьшают вскрышные работы, но вместе с тем снижают устойчивость прибортового массива. Таким образом, конфигурация бортов и уступов должна быть оптимальной – обеспечивающей максимум прибыли при соблюдении условия безопасной отработки.

Подземные воды негативно влияют на устойчивость прибортового массива. Их негативное влияние обуславливается гидростатическим взвешиванием массива горных пород, а также гидродинамическими силами. При взвешивании массива уменьшается нормальная составляющая веса горных пород, что приводит к уменьшению сил трения и снижению устойчивости массива. Проявление гидродинамических сил характерно для высоконапорных водоносных горизонтов, а также при

формировании избыточного порового давления, возникающего при уплотнении глинистых пород.

Внедрение водопонижающих систем увеличивает устойчивость борта и снижает риски деформаций массива. На рисунке 1 приводится диаграмма влияния водопонижения на прибыль компании, которая может быть получена в связи с увеличением углов бортов и отсутствием необходимости выполнения дополнительных вскрышных работ. Так, в среднем при внедрении водопонижающих систем на 10 млн. долларов США, удается сэкономить 120 млн. долларов США.

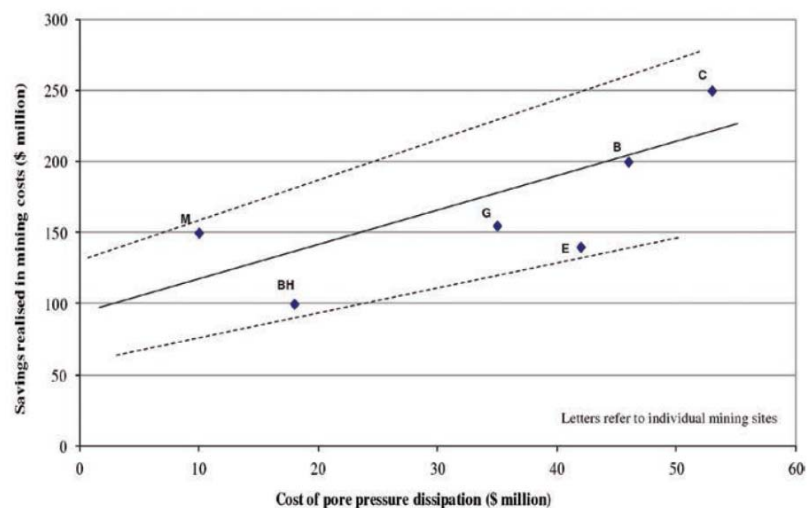


**Рисунок 1. Диаграмма влияния стоимости систем водопонижения на прибыль компании (Beale, Read, 2013)**

С проблемой снижения устойчивости прибортового массива вследствие высоких напоров подземных вод в прибортовом массиве столкнулись на карьере Анфисинский золоторудного месторождения Албазино в Хабаровском крае.

В геологическом строении месторождения принимают участие:

1. Кремнисто-глинистые отложения (Т), представленные кремнисто-глинистыми и углисто-глинистыми сланцами с прослоями и линзами черных углистых алевролитов, аргиллитов. Мощность толщи составляет не менее 1000 м. На территории месторождения данные отложения имеют только отдельные выходы на дневную поверхность.

2. Песчаниковая толща (J), представленная мелкозернистыми песчаниками с прослоями алевролитов мощностью до 1 м. Мощность тол-

щи составляет 450-500 м. С данной песчаниковой толщей связано промышленное оруденение.

3. Дайки дацитов и риодацитов мощностью от 1 до 80 м. Являются секущими по отношению к осадочным отложениям триаса и юры

Участки высоких напоров и высачивания связаны с зонами разломных нарушений, а также с зонами контактов даек и осадочной толщи. Ввиду низкой проницаемости массива (средний коэффициент фильтрации по данным опытных опробований составляет 0,005 м/сут), законтурный дренаж вертикальными скважинами показал малую эффективность по снижению напоров.

Решить данную проблему представляется возможным с помощью дренажа прибортового массива горизонтальными скважинами. Вопрос применения горизонтальных скважин широко изучался на карьерах Курской магнитной аномалии (Писанец, Мироненко, 1968). Эффективность работы горизонтальных скважин показана на угольном разрезе «Бородинский» (Шорохов, Радченко, 2013), а также на золоторудном карьере Batu Hijau в Индонезии (Leech, McGann, 2008).

Расчет эффективности, конструкции и конфигурации дренажных узлов горизонтальных скважин, применимо к объекту исследования, оценивается на численных и аналитических гидрогеологических моделях.

Подобную проблему стоит ожидать на расположенном рядом проектируемом карьере участка Фарида месторождения Албазино, который является объектом настоящего исследования. Сочетание разломов, даек и низкопроницаемых осадочных пород создает условия для обводнения бортов будущего карьера, что влияет на снижение устойчивости прибортового массива. Поэтому опыт, полученный на карьере Анфисинский, необходимо использовать при планировании дренажных мероприятий на карьере участка Фарида.

### Список литературы

1. Beale G., Read J. Guidelines for Evaluating water in pit slope stability. CRC Press, 2013.
2. Писанец Е. П., Мироненко В. А. Водопонижение на карьерах КМА. М.: Недра, 1968.
3. Шорохов В.П., Радченко А. Т. Система осушения карьерного поля разреза «Бородинский» горизонтальными дренажными скважинами как альтернатива подземному способу // Уголь. – 2013. – №6.
4. Leech S., McGann M., Open pit slope depressurization using horizontal drains – a case study // IMWA, 2008.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

## ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Носова К.С.

*ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный  
университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ)*

Эффективность технологии освоения месторождений полезных ископаемых гидромеханизированным способом во многом определяется оперативным контролем режимов работы гидротранспортирования горной массы на обогатительную фабрику или вскрышных пород в отвал.

Спецификой работы трубопроводной системы является жесткая взаимосвязь добычного гидрокомплекса с процессами обогащения, что предъявляет к технологии и техническим средствам гидротранспортирования повышенные требования к эксплуатации и стабильности подачи гидросмеси определенной концентрации.

Как показывает практика гидромеханизации, одной из основных причин снижения извлечения ценного компонента и непроизводительной работы оборудования является нестабильность режимов эксплуатации транспортно-обогатительного комплекса, которая обосновывается, во многих случаях, отсутствием технических средств оперативного учета технологических параметров гидротранспортирования, в первую очередь, объемной плотности (концентрации) и расхода гидросмеси.

К настоящему времени для измерения технологических параметров гидротранспортирования твердых материалов создано большое количество разнообразных приборов-датчиков, эксплуатационные качества которых весьма неоднозначны.

К приборам, основанным на измерении электропроводности гидросмеси, значения которой меняется в зависимости от количества в потоке твердых частиц, относятся магнитометрические, кондуктометрические, диэлькометрические устройства. Опыт их испытаний и эксплуатации показал, что они могут быть использованы только для отдельных разновидностей гидросмесей. Магнитометрический – применим для изме-

рения консистенции гидросмеси с ферромагнитными включениями; кондуктометрический – для различных суспензий и угольных пульп. Диэлькометрический основан на зависимости абсолютной диэлькометрической проницаемости (АДП) от степени ее насыщения твердой фазой.

Основными достоинствами индукционных расходомеров являются: использование датчика в виде отрезка трубы с фланцами, на котором размещается электромагнит, того же диаметра, что и транспортный трубопровод; равномерность шкалы прибора во всем диапазоне измерений; высокая чувствительность, широкий диапазон расходов и диаметров трубопроводов

Недостатки расходомера – это невозможность использования для измерения расходов неэлектропроводных жидкостей, сложность настройки, зависимость показаний от внешних магнитных полей, возникновение помех в результате механического взаимодействия с поверхностью электродов в зоне двойного электрического слоя «электрод-жидкость», что приводит к дополнительным погрешностям измерения.

Измерение расхода гидросмеси ультразвуковым доплеровским методом базируется на смещении частоты звукового сигнала, отраженного от дискретных, неоднородных твердых фракций в движущемся потоке пульпы. Однако, при транспортировании неоднородной смеси, с включениями твердых частиц размером до 25-50 мм создаются дополнительные помехи, что существенно затрудняет контроль расхода гидросмеси.

Дискретно-непрерывный вероятностный метод измерения скорости движения твердой фазы пульпы базируется на применении статистического компьютерного аппарата распознавания локальных объемов твердых фракций (флуктуаций) для определения времени их движения в двух сечениях измерительного участка пульпопровода. Он обладает сложной конструктивной и структурной базой, а также многоступенчатой функциональной схемой измерительных устройств и не вышел до настоящего времени из области испытаний.

Приведенный выше краткий анализ различной контрольно-измерительной аппаратуры (плотномеров, консисометров, расходомеров гидросмеси) показывает, сложность и трудность, а нередко и невозможность использования большинства из них при гидромеханизированной разработке месторождений, особенно россыпей, расположенных в географически удаленных районах, где нет развитой инфраструктуры. До настоящего времени они не применяются из-за сложности конструкций электронных схем, необходимости периодической корректировки «нуля» и последующей тарировки приборов из-за колебаний электрофизических свойств перекачиваемых гидросмесей, различных по своим

физико-механическим свойствам. Сложности применения такой аппаратуры дополняются трудностями их монтажа в условиях работы передвижных гидрокомплексов, продвигающихся вместе с фронтом горных работ, а также необходимостью обслуживания указанной контрольно-измерительной аппаратуры высококвалифицированным персоналом.

В итоге, все перечисленные факторы, включая их высокую заводскую стоимость, определяют значительные эксплуатационные затраты на их монтаж и обслуживание, что в условиях открытой разработки является препятствием для создания системы оперативного контроля режимов работы гидрокомплексов.

В связи с этим для осуществления оперативного контроля режимов работы гидротранспортных комплексов, по нашему мнению, целесообразно использовать контрольно-измерительную аппаратуру, работающую на принципе измерения переменного перепада давления создаваемого в трубопроводе нестандартными устройствами: расходомером – труба Антивентури и гидростатическим плотномером конструкции К.В. Диминского. Целесообразность их применения, в первую очередь, обосновывается простотой, надежностью эксплуатации, возможностью изготовления нестандартного оборудования в условиях даже отдаленных приисков, достаточной для горных предприятий точностью измерений, не превышающей погрешностей маркшейдерских замеров.

Система оперативного контроля режимов работы гидрокомплекса на базе расходомеров и плотномеров гидросмеси переменного перепада давления была апробирована сотрудниками МГРИ – РГГРУ в различных горнотехнических условиях: при гидротранспортировании редкометальных песков Иршинского ГОКа и Верхне-Днепровского ГМК, золотосодержащих галечно-песчаных пород на прииске «Экспериментальный» Магаданской области. Так, при проведении испытаний комплекса контрольно-измерительной аппаратуры этого принципа действия, в рамках системы управления гидродобычей («СУГД – карьер») на ИГОКе достигнутые результаты позволили:

- стабилизировать технологический процесс и поддерживать его в заданных (оптимальных) режимах;
- повысить уровень основных технологических показателей, в т.ч. стабильность подачи полезного ископаемого на обогащение;
- создать нормальные условия работы оборудования, увеличить продолжительность межремонтных периодов и повысить коэффициенты его использования;
- снизить некоторые виды энергетических затрат;
- повысить производительность труда и полноту извлечения полезного компонента при обогащении.

## Список литературы

1. Технические средства контроля в системах управления технологическими процессами: учебное пособие / сост. А.Р. Герке [и др.]; Казан. гос. технол. ун-т. – Казань. 2007. – 80с.
2. Санников С.П., Бондюгова М.С. Исследование расходомеров и счетчиков количества жидкости. УГЛТУ, Екатеринбург, 2013.
3. Дробаденко В.П., Бутов И.И., Буянов М.И., Луконина О.А. Обоснование выбора системы оперативного контроля технологических параметров при гидромеханизированной разработке месторождений. «Маркшейдерия и Недропользование» № 5 (73), сентябрь-октябрь 2014 г. с. 17-21.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СТОХАСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА В ЕСТЕСТВЕННОМ ЗАЛЕГАНИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МАРКОВСКИХ СВОЙСТВ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Черников А.Г., Чурсин И.Н.

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

В настоящее время для моделирования пространственно-распределенных свойств изучаемого объекта или явления используются два основных подхода: детерминистические методы и геостатистические, среди которых можно выделить стохастические. Детерминистический подход предполагает жесткую формульную зависимость, на основе информации об исследуемом объекте или явлении [1]. При этом следует заметить, что детерминистические методы дают одну конкретную оценку в заданной точке пространства, и не могут охарактеризовать вариацию этой оценки, на что в свою очередь способны стохастические методы.

Вторая проблема, с которой можно столкнуться при детерминистическом подходе – это полнота измерений. Из этого вытекает еще одна сложность, заключающаяся в обеспечении необходимой плотности и равномерном пространственном распределении представительных проб. Так, например, при исследовании газоносности угольного пласта методом прямого отбора проб с использованием керногазозаборников очень возможно отбраковывание непредставительных проб, в результате чего, не будет обеспечиваться необходимая плотность и равномерность пространственного распределения точек отбора, что в дальней-

шем сказывается на точности и объективности модели исследуемого массива.

Другая проблема – это сложность исследуемой системы, что в свою очередь ведет к усложнению математического аппарата, описывающего поведение этой системы. Так, например, на газоносность угольного пласта может влиять достаточно большое количество факторов, которые являются частью общей системы, которую весьма сложно формализовать (Рис.1).

В отличие от детерминистических методов, стохастическое моделирование дает возможность оценить вероятности множества реализаций значений в данной точке, а также дает возможность анализа многофакторных систем различного происхождения без использования сложного математического аппарата. В настоящий момент авторы доклада работают над разработкой системы многофакторного нелинейного моделирования строения и свойств породного массива на основе марковской нелинейной статистики. Реализация и эффективность такого подхода описана в работах [2, 3].

Идея использования теории марковских цепей для создания прогнозных моделей основывается на том, что многие природные процессы, которые рассматриваются как случайные, характеризуются тем, что в них наблюдается некоторое влияние предшествующих событий на последующие. В частности, такие процессы можно описать с помощью марковской цепи – последовательности дискретных состояний во времени или пространстве, для которых вероятность перехода из одного состояния в другое, за последующий шаг, зависит от одного или нескольких предшествующих состояний. Входными данными для разрабатываемой системы служат данные измерений геолого-геофизических полей. При этом в предполагаемой модели обрабатываются не значения координат точек n-мерного пространства и соответствующих им геолого-геофизических показателей, а вероятностный образ пространства и свойств моделируемых объектов. Создание вероятностного образа осуществляется на совокупности данных, в которой координаты точек рассматриваются как координаты фазового пространства, кодировка числовых значений которых представлена в виде марковской последовательности со строго определенными количеством и последовательностью шагов. Преобразованные описанным образом переменные и параметры создают математический образ системы, дальнейшее исследование которой выполняются с марковской последовательностью целочисленных значений. На выходе получается вероятностная оценка распределения геолого-геофизических характеристик элементов объекта в объеме моделируемого массива [2].

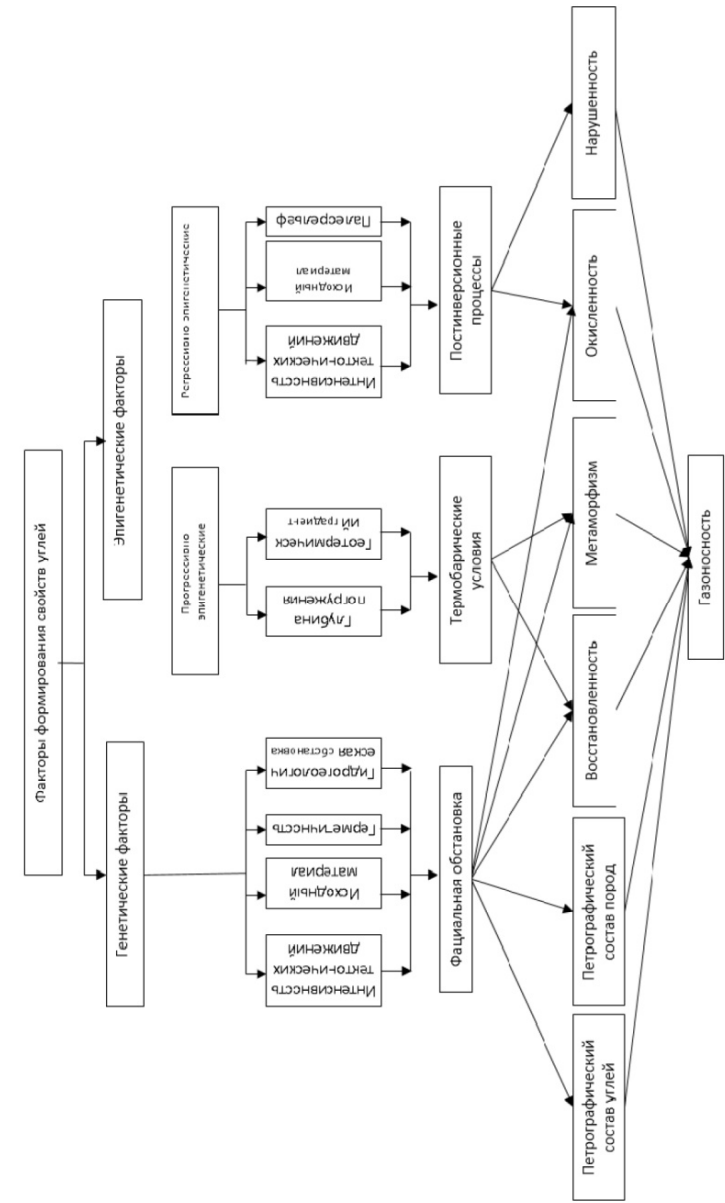


Рис. 1. Факторы формирования газоносности углей

### Список литературы

1. Геостатистика: теория и практика / В. В. Демьянов, Е. А. Савельева ; под ред. Р. В. Арутюняна; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. — М.: Наука, 2010. — 327 с. — ISBN 978-5-02-037478-2 (в пер.).
2. Черников А.Г. Оценка газоносности угольных пластов по комплексу геологогеофизических исследований разведочных скважин// Горный информационно-аналитический бюллетень, 2006, с 142-149.
3. Черников А.Г., Чурсин И.Н. Приведение фрагментарных данных КГН-опробования рабочих угольных пластов к естественным геодинамическим условиям углепородного массива// Доклад конференции: 3-я конференция международной научной школы академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр», С.169-172.

### КОМПЛЕКС МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ УГЛЕЙ ПЕЧОРСКОГО БАССЕЙНА

Иванов П.Н.

*Национальный Исследовательский Технологический  
Университет «МИСиС» Горный институт*

В настоящее время, методы мониторинга возможных геодинамических явлений учитывают факторы, характеризующие угольный пласт. К ним относятся горное давление в призабойной части массива, кинематические параметры содержащегося в пласте газа, и физико-механические свойства слагающих пород [1]. Отмечено, что большинство горных ударов происходит в зонах ослабленных контактов, образующих пласт угля в целом. Это обусловлено экстремальной гетерогенностью угольного массива, связанной с наличием трещин различного масштаба и раскрытия, пор, и иных дефектов [2]. Очевидно, что необходимо регистрировать причины возникновения удароопасных зон, исходя из учета внутренней структуры угля [3]. В решении данной проблемы, особой интерес приобретают интроскопические методы получения информации, такие как электронная микроскопия [4], ультразвуковая спектроскопия [5] и др.

В настоящей работе с помощью комплекса интроскопических методов исследуется внутренняя структура углей.

Для проведения исследований, был осуществлен отбор проб угля с поля шахты «Комсомольская» Воркутинского месторождения с глубинной отметки 830 метров. Из отобранных проб были изготовлены образцы в виде пластин угля с плоскопараллельными поверхностями толщиной 4-6 мм и площадью поперечного сечения 10-25 см<sup>2</sup>. Осо-

бенности поверхностной структуры и элементный состав образцов изучались с использованием сканирующего электронного микроскопа «PhenomProX».

Состав образцов угля был представлен такими компонентами как: алюминий (0.2-1.1 %), кальций (0.3-0.7 %), титан (0.6-0.7 %), кремний (0.1-1.9 %), железо (0.2-5.6 %), фосфор (0.8-1.7 %).

В поверхностной структуре обнаружены протяженные трещины на микроуровне. Размеры раскрытия поверхностных трещин на образцах лежали в диапазоне 10-20 мкм. Трещины четко направленные, их протяженность достигала 1 мм и более, что свидетельствует о высокой фильтрационной способности газовых смесей при изменении естественного состояния массива. По всей поверхности встречаются единичные макропоры круглой и вытянутой формы на границе контакта отдельных, слагающих структуру угля в целом. Средние размеры пор составляют 10-15 мкм.

Следует отметить, что метод электронной микроскопии предполагает за собой изготовление шлифов и аншлифов, что в свою очередь приводит к нарушению естественного состояния геоматериала. В данной работе в качестве дополнительного метода контроля внутренней структуры применялась лазерно-ультразвуковая спектроскопия.

Принцип действия основан на генерации в исследуемый образец ультразвукового сигнала длительностью 70 нс и амплитудой давления 0,1 МПа посредством его возбуждения с помощью короткого наносекундного лазерного импульса. Системой обработки регистрировались сигналы частично отраженные от границы раздела «генератор-поверхность образца», и сигналы, зафиксированные в следствие прохождение части энергии импульса в образец, и отраженные от различных в нем неоднородностей, по которым после обработки строились изображения внутренней структуры.

Сканирование проводилось по поверхности образца с шагом 1 мм в 20 его точках. По известной толщине образца  $H$  и времени задержки сигналов, относительно опорного сигнала  $\Delta T$  были рассчитаны скорости продольных волн в каждой точке сканирования по формуле:

$$V_l = \frac{2H}{\Delta T} \quad (1)$$

За счет возникновения дополнительного импульса поперечной волны между первым и двойным пробегом продольной волны можно рассчитать скорость поперечной волны  $V_t$ . При этом, скорости упругих волн связаны через плотность с модулями упругости. Их взаимосвязь описывается следующей формулой [6]:

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

где  $E$  – модуль Юнга,  $\rho$  – плотность образца,  $V_t, V_l$  – значения скоростей поперечных и продольных волн, соответственно, м/с;  $x = V_l / V_t$ .

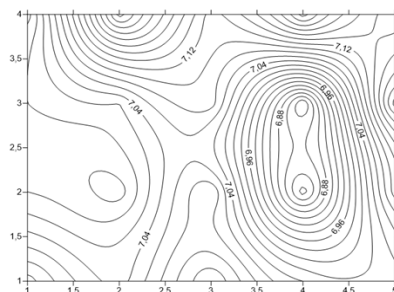
При сканировании образца в каждой из 20 точек были измерены локальные значения скоростей продольных  $V_l$  и поперечных  $V_t$  волн. Их значения лежали в диапазоне  $V_l = (2313 - 2394)$  м/с  $V_t = (1345 - 1390)$  м/с. В соответствии с выражением (2), были рассчитаны локальные значения модуля Юнга, по которым построена карта его распределения по объему образца (рис.1).

Пониженные показатели модуля Юнга в некоторых областях свидетельствуют о высокой концентрации трещин.

Также, по записанным в цифровой форме акустическим трекам была выполнена визуализация внутренней структуры образцов. Одно из построенных сечений приведено на рисунке 2.

На изображении четко видны микротрещины (1) которые залегают на глубине от 0,5 до 3 мм. Их протяженность составляет 1-2 мм, величина раскрытия лежит в диапазоне от 80 до 200 мкм.

Таким образом, применение электронной микроскопии и лазерно-ультразвуковой спектроскопии в объединенном комплексе интроскопических методов является перспективным направлением для исследования поверхностной и внутренней структуры, а также определения локальных упругих характеристик гетерогенных сред, что является одним из основополагающих факторов в области контроля геодинамических явлений.



Вышеуказанный тезис требует более детального разбора, так как применению резинотросовых канатов на подъемных установках в качестве головного органа было уделено достаточно мало внимания.

В исследовании [6] были установлены зависимости грузоподъемности от высоты подъема при применении резинотросовых лент ведущих мировых производителей лент. Было установлено, что резинотросовые ленты могут применяться для высот подъема до 500 м. скипами грузоподъемностью 20-25 т. В исследовании [7] автор в программе SolidWorks, разработал цифровую модель резинотросового каната при его взаимодействии со шкивом трения. Автором доказано, что наиболее нагруженной является часть ленты под крайними тросами, и при определенных значениях натяжения трос основы ленты продавливают материал обкладок.

Для определения рабочей области применения резинотросовых канатов, в качестве головных, проведено сравнение уравнивающих канатов: канаты SAG и канаты РТК Промканат.

На рис. 1 показаны зависимости грузоподъемности резинотросовых канатов от высоты подъема груза. На графиках отмечены возможные области эксплуатации скипов различной грузоподъемности, что позволяет оценить возможности резинотросовых канатов. Анализ графиков показывает, что использование резинотросовых канатов возможно до 20-25 т., при высоте подъема 400-500 м. Но в отдельных случаях, возможен подъем скипов, грузоподъемностью 10 т. на высоты до 1000 м и более.

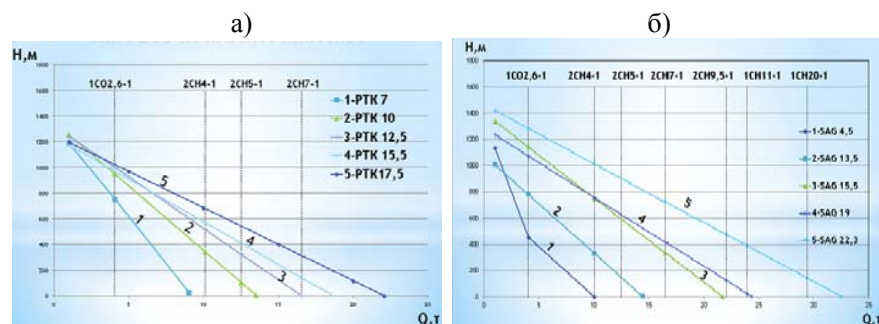


Рис.1. Зависимости высоты подъема от грузоподъемности для а) канатов РТК; б) канатов SAG

### Заключение

Выполненный анализ показал, что резинотросовые канаты могут быть применены в качестве головных канатов подъемных установок. Они обладают подходящими характеристиками и могут реализовывать значительные грузоподъемности при высотах подъема до 1000 м и вы-

ше. Дальнейшее обоснование применения резинотросовых канатов в качестве головных канатов требует решения вопросов устойчивости движения тягового органа на приводном шкиве, распределения нагрузок между тросиками основы резинотросовых канатов, обеспечения регулирования длины резинотросовых канатов при эксплуатации и др.

### Список литературы

1. Картавый Н.Г., Зотов В.В. Повышение технического уровня подъемных установок при замене канатов резинотросовыми лентами // Горное оборудование и электромеханика, 2008. – Вып. 11. – 6-10 с.
2. Трифанов Г.Д. Повышение эффективности эксплуатации стальных канатов в горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2006. – Вып. 2, с. 269-271.
3. Зотов В.В. Сравнительная оценка канатного и резинотросового тяговых органов подъемных установок // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2006. – Вып. 10, с. 289-293.
4. Трифанов Г.Д. Повышение эффективности шахтных подъемных установок, оборудованных системами непрерывного контроля их параметров // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромышленного оборудования, 2014. – Вып. 1, том 1, с. 15-18.
5. Зотов В.В. Обоснование основных параметров вертикальных подъемных установок с резинотросовыми тяговыми органами // автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 // Зотов Василий Владимирович. Москва, 2007.
6. Зотов В.В. Определение области использования подъемных установок с ленточным тяговым органом // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2005. – Вып. 8, с. 276-280.
7. Колосов Д.Л. Развитие теории шахтных подъемных установок с головными гумотросовыми канатами // автореф. дис. ... док. техн. наук: 05.05.06 // Днепропетровск, 2015.

## СОВМЕСТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА МЕТОДАМИ СТАЦИОНАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ И ЯМР – РЕЛАКСОМЕТРИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ОЦЕНКИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ УГЛЯ

Рыбалкин Л.А.

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

Своевременные и репрезентативные данные о проницаемости угля, полученные, как на этапе проектировки горного предприятия, так и в процессе выемки глубокозалегающих пластов, являются необходимым

условием к дальнейшей безопасной и экономически выгодной работе горного предприятия. Возможность оценки будущей способности к газоотдаче месторождения угля позволяют более выгодно подобрать систему разработки. Своевременный мониторинг газомобильности и проницаемости угольных пластов на стадии очистных или выемочных работ позволяет не только более точно составить план дегазационных, но и рассчитать экономически выгодный объем работ по интенсификации дегазации углепородного массива гидроразрывом [1, 3] в интервалах дегазационных скважин на различной глубине с закреплением полученных трещин расклинивающими материалами [4].

Исследования углепородного массива [2], проводимые как из шахтного поля, позволяют получить наиболее репрезентативные данные о проницаемости пласта. Однако проведение такого рода исследований осложнено необходимостью остановки работ в заданном интервале горной выработки, трудоемкостью большинства традиционных методов исследования, сложностью отбора кернового материала [5]. Проведение лабораторных исследований позволяет нам задавать и контролировать условия и, таким образом, является полезным инструментом для получения информации.

В данной работе приведены результаты лабораторных исследований угольных кернов диаметром 45 мм и длиной 45 мм. Для более полного понимания механизмов фильтрации в данных образцах исследования проводили в два этапа. На первом этапе методом установившейся фильтрации были измерены значения проницаемости кернов при одноосной фильтрации сжатого газа с приложением контролируемых всестороннего и осевого сжатий. Вторым этапом исследования было проведение серий измерений пористости образцов, наличия жидкой фазы в порах на ЯМР – релаксометре. Совместный анализ полученных данных в течении всего исследования позволил сформировать более полное представление о фильтрационных характеристиках изученных образцов угля.

Для измерения газопроницаемости из проб угля были подготовлены 3 керна диаметром 45 мм и длиной 90 мм. Исследования проводились на специальной установке в режиме осевой фильтрации газа азота в условиях равномерного сжатия образца. В первой серии исследований давление сжатия составляло 10 бар, во второй 15 бар, в третьей – 20 бар. Для всех образцов было проведено по 4 измерения времени вытеснения фильтрующимся газом фиксированного объема жидкости между двумя оптическими датчиками в мерном сосуде. Далее определялось среднее значение времени фильтрации газа, которое впоследствии использовалось для расчета коэффициента абсолютной газопроницаемости угля в

условиях стационарной фильтрации при линейном направлении потока газа. Результаты серий измерения газопроницаемости образца №2 представлены на рисунке.

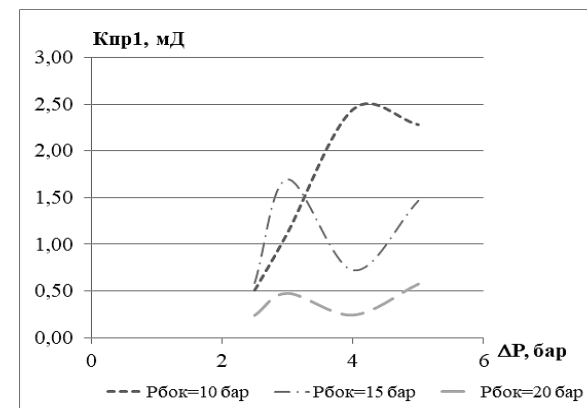


**Рис. Зависимость проницаемости образца при различных значениях перепада давления фильтрации и всестороннего сжатия**

Как видно из серий с давлениями сжатия 15 бар и 20 бар проницаемость образца меняется периодически с увеличением давления фильтрации. Такой эффект может быть вызван наличием подвижной жидкости, которая находится в порах или в виде пленок на поверхностях микротрещин. При приложении внешнего давления с последующей фильтрацией часть жидкости начинает смещаться по направлению потока фильтрации и в определенный момент происходит водная блокада капилляров и открытых пор. Последующее увеличение градиента давления фильтрации позволяет кратковременно преодолеть блокирующее действие воды, однако со временем данный эффект ослабевает. Для более полного понимания характера распространенности жидкости в поровом пространстве образцов были проведены исследования на ЯМР – релаксометре «МСТ-05».

Метод ЯМР основан на реакции магнитных моментов ядер водорода на воздействие внешнего магнитного поля, в результате чего возникает макроскопическая намагниченность. Магнитная система релаксометра «МСТ-05» Измерительный холдер позволяет проводить измерения цилиндрического керна (максимальный размер 45×50 мм), керна произвольной формы, бурового шлама, флюидов. Измерения проводятся в два этапа. На первом этапе определяются ЯМР-характеристики сухих образцов, на втором – полностью водонасыщенных.

Всего для экспериментов были использованы три образца, для которых выполнено два измерения: сухого и водонасыщенного. Основные характеристики образцов приведены в таблице:  $K_p$  – коэффициент пористости по упрощенной модели сферических пор,  $K_{пр2}$  – коэффициент проницаемости по методу ЯМР, FFI – доля свободного флюида, BVI – доля капиллярно-связанного флюида, CBW – доля глинисто-связанного флюида.

**Таблица 1 – Полученные характеристики проницаемости исследуемых образцов**

|                  | $K_p$ , % | $T_{2cp}$ , мс | $K_{пр}$ , мД | FFI, % | BVI, % | CBW, % |
|------------------|-----------|----------------|---------------|--------|--------|--------|
| Образец №1 сухой | 12,67     | 0,3            | 0,00          | 0,0    | 4,0    | 96,0   |
| Образец №1 в/н   | 15,24     | 0,6            | 0,05          | 5,7    | 7,0    | 87,3   |
| Образец №2 сухой | 11,96     | 0,4            | 0,00          | 1,3    | 8,3    | 90,4   |
| Образец №2 в/н   | 10,21     | 1,0            | 0,02          | 8,3    | 11,4   | 80,3   |
| Образец №3 сухой | 20,43     | 0,3            | 0,00          | 0,0    | 6,0    | 94,0   |
| Образец №3 в/н   | 21,91     | 0,3            | 0,04          | 2,5    | 5,1    | 92,4   |

Проведенные исследования на ЯМР-релаксometре подтверждают результаты, полученные при исследовании газопроницаемости образцов. Расчетные значения пористости по упрощенной модели сферических пор лежат в диапазоне от 12 до 20%, при этом времена релаксации очень короткие, т. е. поры мелкие, проницаемость близка к нулю. Наличие большого количества связанного флюида, более 80% у всех образцов, свидетельствует о том, что характер распределения жидкости в образце преимущественно в виде тонких пленок в системе естественных микротрещин и поровом пространстве.

#### Список литературы

1. Курленя М.В., Сердюков С.В., Патутин А.В., Шилова Т.В. Интенсификация подземной дегазации угольных пластов методом гидроразрыва // ФТПРПИ. – 2017. – № 6. – С. 3–9.
2. Патутин Д.В., Тимонин В.В., Кондратенко А.С., Рыбалкин Л.А. Комплексные исследования угольных пластов в глубоких скважинах // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2014. Т. 2. № 1. С. 23–26.

3. Сердюков С.В., Дегтярева Н.В., Патутин А.В., Шилова Т.В. Технический комплекс для множественного локального гидроразрыва породного массива в необсаженных скважинах // ФТПРПИ. – 2016. – № 6. – С. 180–186.

4. Шилова Т.А., Рыбалкин Л.А. Экспериментальное исследование влияния легкого проппанта на проницаемость угля // Интерэкспо Гео Сибирь. — 2018. — Т. 2. — №6. — С. 338–365.

5. Усольцева О.М., Семенов В.Н., Сердюков С.В., Рыбалкин Л.А. Лабораторные исследования угольных образцов. Проблемы отбора керна // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № S48. – С. 234 – 242.

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПЕРЕСЧЕТА РАСХОДНО-НАПОРНЫХ И МОЩНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСОВ С ВОДЫ НА ГИДРОСМЕСЬ

**Салахов И.Н.**

*Российский государственный геологоразведочный университет  
имени Серго Орджоникидзе*

В насосах для воды и гидросмеси вследствие разного числа лопаток при движении жидкости в проточных каналах агрегата возникает циркуляция, что приводит к потерям энергии и уменьшает величину теоретически возможного напора. Поэтому расходно-напорные, кавитационные и мощностные характеристики центробежных насосов по воде и гидросмеси существенно различаются. Они обычно приводятся в каталогах для случая работы грунтового насоса на воде. Однако, для его эксплуатации необходимо уметь пересчитывать их при работе грунтового насоса на гидросмеси. По данному вопросу в литературе приводятся различные расчетные уравнения, учитывая, что характеристика пульпы изменяется в широком диапазоне как по крупности твердых частиц, так и по их плотности и концентрации гидросмеси.

Существует большое количество методов для пересчета рабочих характеристик насосов, которые можно разделить на две группы: в первой – уравнения, которые учитывают только концентрацию гидросмеси, включая плотность входящих компонентов (Спиваковский, Покровская и другие); во второй -включающие больше параметров, таких как, диаметр рабочего колеса и другие характеристики насоса, диаметр фракций частиц. Остановимся на некоторых из них подробнее.

Так, напор, создаваемый грунтовым насосом при работе на пульпе, рекомендуется рассчитывать по уравнению из инструкции по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта грунтов [1]:

$$H_{\text{см}} = K_0 \cdot H_0 \cdot \left(1 + \frac{C_0^{-1.2}}{\sqrt{\varphi}}\right) \quad (1)$$

где  $K_0$  – безразмерный коэффициент;  $H_0$  – напор, развиваемый при работе на воде, м.вод.ст.;  $C_0$  – действительная объемная концентрация;  $\varphi$  – средневзвешенное значение коэффициента транспортабельности потока по крупности:

Мощностная характеристика:

$$N_{\Gamma} = N_0 \frac{H_{\Gamma} \eta_{\Gamma}}{H_0 \eta_0} \quad (2)$$

где  $N_0$  – мощность землесоса на воде.

Другое уравнение, предлагаемое в «Нормах технологического проектирования предприятий промышленности нерудных строительных материалов» [2]:

$$H_{\Gamma} = \frac{H_0 \cdot \rho_{\Gamma}}{\rho_0} \cdot \left[1 - 0,05 \cdot \frac{\rho_{\Gamma} - \rho_0}{\rho_{\Gamma}} \cdot \left(\frac{n \cdot D_k^3}{Q_0 \cdot C_{\varphi}^{0,75}}\right)\right] \quad (3)$$

где  $\rho_{\Gamma}$  и  $\rho_0$  – плотности пульпы и воды, кг/м<sup>3</sup>;  $Q_0$  – расход землесоса по воде, м<sup>3</sup>/сек;  $N$  – число оборотов вала, об/сек;  $D_k$  – наружный диаметр колеса, м;  $C_{\varphi}$  – коэффициент лобового сопротивления грунта.

ВНИИ Гидромаш рекомендует для пересчета следующее уравнение [3]:

$$H_{\Gamma} = H_0 \cdot \left[1 - K_p \cdot K_z \cdot K_{2\beta_{\text{л}}} \cdot \frac{\rho_{\Gamma} - \rho_0}{\rho_{\Gamma}} \cdot \sum K_H^i \cdot \frac{q_i}{100}\right] \quad (4)$$

где  $K_p$  – коэффициент, учитывающий режим работы насоса;  $K_z$  – коэффициент числа лопаток рабочего колеса;  $K_{2\beta_{\text{л}}}$  – коэффициент угла выхода лопатки:

Мощностная характеристика:

$$N_{\Gamma} = N_0 \frac{\rho_{\Gamma}}{\rho_0} \quad (5)$$

Результаты расчетов приведены и опытные данные приведены на рис. 1.

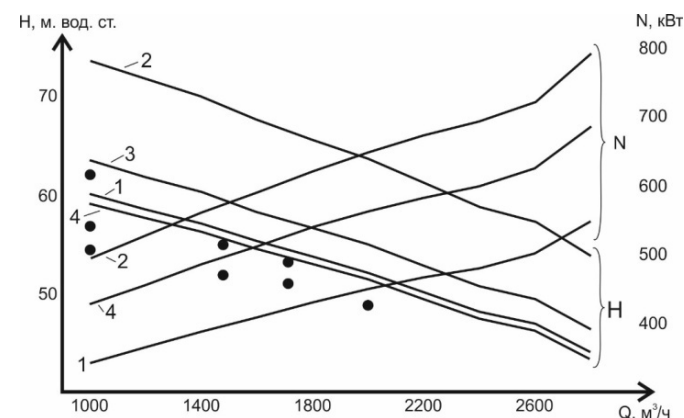


**Рис. 1. Расходно-напорные и мощностные характеристики землесоса ЗГМ-2М по различным методикам и опытным данным.**

1 – напор и мощность на воде; 2 – результаты по уравнению 1; 3 – результаты по уравнению 2; 4 – результаты по уравнению 3; ● – опытные данные

В таблице 1 приведены значения разницы между экспериментальными данными и расчетными уравнениями.

**Таблица 1**

| Расход, м³/ч | Погрешность, % |                                 |                                       |
|--------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------------|
|              | ВНИИ Гидромаш  | ВНИИ Гидротехники им. Веденеева | Нормы технологического проектирования |
| 1000         | 2,0            | 21,5                            | 10,5                                  |
| 1500         | 5,0            | 21,0                            | 9,1                                   |
| 2000         | 1,8            | 21,1                            | 12,02                                 |

Анализ результатов расчетов показывает, что наиболее близкими к фактическим данным, полученным при тестировании этого землесоса на предприятии, является методика ВНИИ Гидромаш.

В отличие от других уравнений (1), (3) она охватывает большее количество факторов, таких как режим работы насоса, количество лопаток в нем, а также угол выхода этих лопаток из рабочего колеса.

### Список литературы

1. Инструкция по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта грунтов. «Энергия», Ленинградское отделение, 1972г.

2. Нормы проектирования предприятий промышленности нерудных строительных материалов, Л. 1968, 361 с.

3. Центробежные насосы для абразивных гидросмесей. Каталог. ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, М. 1989 г.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПОСРЕДСТВОМ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА ПАО МИХАЙЛОВСКИЙ ГОК**

**Семенова Л. А., Семенова Е. И.**

*ФБГОУ ВО Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ)*

С развитием информационных технологий появляются так называемые геоинформационные системы, с помощью которых специалисты в области горного дела получили возможность проводить оценку, обработку и обобщение пространственной информации, что собственно и определяет понятие геоинформационного обеспечения горных работ.

На геоинформационном портале ГИС-Ассоциации находим следующее определение географических информационных систем (ГИС): «ГИС – это информационная система, позволяющая обеспечить новые знания и новую информацию о пространственных данных на основе их координат, а также производящую сбор, распространение, хранение, обработку и отображение этих данных. [1]

История развития геоинформационного обеспечения горных работ берет свое начало с 60-х годов XX столетия. При этом понимание ГИС-системы несколько отличалось от современного ее определения. Так, в горной энциклопедии 1984 г. под ГИС системой понимается аппаратно-программный человеко-машинный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных, интеграцию данных, информации и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества. [2]

Анализ научных публикаций по данной проблеме позволяет нам сделать выводы об использовании в современном горном производстве отдельных программных модулей, обеспечивающих геологическое, маркшейдерское проектирование горных работ, календарное планирование горных работ. И, хотя более 80% горных предприятий уже ис-

пользуют ГИС системы, многие предприятия горно-добывающей промышленности используют их в зависимости от необходимости, т.е. отсутствует четкая система и продуманность в использовании подобных продуктов.

Развитие информационных продуктов для обеспечения горных работ изначально более активно происходило за пределами бывшего Советского союза. Традиционными лидерами в этой области являются фирмы таких стран, как США, Канада, Австралия, Великобритания, ЮАР и др. Среди наиболее востребованных программных продуктов. Обеспечивающих горные работы, можно назвать Mintec Ink. Systemes GeoStat. Micromain LTD, Modular Mining Systems, Wenco, Tritronics и Aquila и др.

ГИС системы, предлагаемые на Российском рынке программных продуктов для обеспечения горных работ собственного производства во-первых, представлены ограниченным количеством подобных продуктов, во-вторых, в качественном исполнении далеки от зарубежных аналогов.

Специалисты Михайловского горно-обогатительного комбината начали задумываться о решении задачи информационного обеспечения горных работ еще в 70-е годы 20 века. К концу 1977 года были разработаны методы создания цифровой модели месторождения по данным эксплуатационной разведки и ее поддержки на базе вычислительных машин советского производства.

Конечно, при этом приходилось констатировать огромные неудобства в проведении данной работы. Так, результаты работ были представлены только на бумажных носителях, значительная часть данных не вносилась в базу данных.

К концу 80-х годов встала острая необходимость в разработке системы геолого-маркшейдерского обеспечения и оперативного планирования горных работ на базе ПЭВМ. Система представлялась тогда как ряд автоматизированных рабочих мест геологов и маркшейдеров рудоправления. Основное назначение системы – ускорение и облегчение инженерного труда, обеспечивающих документацией производственные участки. Процесс разработки технического задания превратился фактически в постановку задач с описанием алгоритмов в соответствии с требованиями ГОСТ и инструкций.

Уже к 1990-му году специалистами комбината были разработаны «технические требования» к системе автоматизированного планирования горных работ (САП ГР) . этот документ отобразил новое представление о САП ГР как о комплексе взаимосвязанных задач, объединяющих сбор и интерпретацию первичных данных, работу всех производст-

венно-технических служб и проектировщиков в единый комплекс. Одновременно с этим специалистами комбината заключаются договора с фирмой «Геомар», специализирующейся на создании математической модели месторождения карьера, а также разработке методов оптимизации горных работ на уровне долгосрочного планирования. Ими была предложена программа, позволявшая отображать на экране ПЭВМ основные элементы карьера, полученные в результате тахеометрической съемки и стереосъемки. Совместно была разработана структура базы данных маркшейдерской модели, которая позволила оцифровать, как минимум, все элементы, отображающиеся на плане горных работ.

Для получения исходных данных и построения цифровой модели поверхности карьера, отвалов и находящихся там объектов комбинат внедрил технологию использования электронных тахеометров. Спутниковых систем позиционирования. Совместно с фирмой «Геокосмос» была выверена опорная геодезическая сеть комбината, разработан механизм перерасчета географических координат в условную систему координат предприятия. [3]

Одновременно выполнялись работы по актуализации работы базы геолого-разведочных данных. В СУБД «Paradox» создана более совершенная база данных для хранения и сетевого использования с помощью персональных компьютеров. Данные, хранящиеся на ЕС были отформатированы и экспортированы в базу данных, созданную на сервере для последующего использования на рабочих местах геологов и маркшейдеров. Дополнительно здесь же были введены данные опробования более 800 глубоких разведочных скважин и 10 тыс. скважин взрывного бурения. Произведена выверка баз данных методом повторного независимого ввода, сравнения и устранения разночтений.

Кроме основных атрибутов, введенных ранее в базу данных по скважинам, в нее были добавлены атрибуты, характеризующие минеральный состав, литографическую принадлежность, содержание второстепенных химических веществ (серы, фосфора, глинозема и т.п.).

Одновременно с этим коллектив маркшейдеров таким же образом создал первичную компьютерную модель поверхности карьера. Большая часть данных были введены с помощью дигитайзеров. Результаты вновь проводимых съемок вводились непосредственно с электронных полевых приборов (тахеометров и спутниковых систем).

Таким образом, с использованием автоматизированных технологий проектирования горных и геолого-маркшейдерских работ выполнена главная задача: разработка и корректировка проекта увеличения производственной мощности карьера по добыче руды повышенного качества. Разработаны и внедрены в производство основные технические реше-

ния по модернизации контуров карьера, реконструкции транспортной схемы. Планированию конструкции бортов карьера, строительству вскрышных и рабочих рудных горизонтов, формированию схем внутри-карьерных железнодорожных путей и станций, параметрам и расположению усреднительных складов, конструкции отвалов, размещению пород вскрыши и обеспечению заданной устойчивости уступов и бортов карьера и отвалов. Создана основа для внедрения современной информационно-управляющей системы горнотранспортным комплексом.

#### Список литературы

1. Геоинформационный портал ГИС-Ассоциации [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gisa.ru/> (дата обращения: 25.03.2019).
2. Горная энциклопедия. Том 1. Глава – Геосистема. Под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1984. – 560 с.
3. Варичев А.В., Кретов С.И., Кузин В.Ф. Крупномасштабное производство железорудной продукции в Российской Федерации / под науч.ред. В.Ф. Кузина. – М.: Изд-во «Горная книга», 2010. – 395с.

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАВИТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ЗОЛОТА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТСАДОЧНЫХ МАШИН МОД-2М, МОД-3 М

Семенова Л.А., Семенова Е.И., Шалдыбин Д.А.

*ФБГОУ ВО Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ)*

Золото, относясь к благородным металлам, с давних пор сопровождает жизнь человека. Отличие благородных металлов в том, что такие металлы имеют более устойчивую химическую активность в первую очередь в соединении с кислородом. Кроме того, они менее активны при химическом воздействии, именно поэтому они имеют важное хозяйственное значение. Таким образом, проблема обогащения золота была и остается одной из актуальных проблем обогащательного производства.

В рамках данной работы мы остановимся на практике обогащения золота месторождения «Каральвеем», в частности на повышение эффективности гравитационного обогащения золота за счет использования отсадочных машин МОД-2М, МОД -3 М.

Минеральный состав проб руды месторождения «Каральвеем» на 90,0-99,0% представлен породообразующими минералами. Основным из них является кварц, количество которого в пробах колеблется в интервале 35,0-72,0%. Массовая доля слюды, хлоритов и полевых шпатов

в сумме составляет 8,0-38,5%. Карбонаты представлены доломитом, кальцитом, анкеритом в количестве 8,0-17,0%. Рудная минерализация представлена сульфидными и окисленными минералами. Их суммарное количество колеблется от 0,5 до 8,5%. Количество сульфидов составляет 0,4-8,2%. Представлены они, главным образом, пиритом и арсенопиритом. Пирротин, халькопирит, галенит, сфалерит отмечаются в количестве единичных зерен. По количеству сульфидов исследованные пробы соответствуют убого сульфидному типу руд. Окисленные минералы представлены гидроксидами железа и находятся в количестве от единичных зерен до 5,8%.

**Таблица 1 – Гранулометрический состав и содержание золота в руде месторождения «Каральвеем»**

| Класс<br>крупности, мм     | -1,6<br>+0,5 | -0,5<br>+0,25 | -0,25<br>+0,15 | -0,15<br>+0,10 | -0,10<br>+0,074 | -0,074<br>+0,05 | -0,05<br>+0 | Итого: |
|----------------------------|--------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------|--------|
| Массовая доля<br>золота, % | 31,7         | 7,0           | 11,9           | 9,5            | 2,1             | 1,1             | 36,7        | 100,0  |

Из данных, приведенных в таблице 1, следует, что основная масса золота (62,2%) представлена частицами гравитационной крупности (+0,074мм). Из них наибольшая часть сконцентрирована в крупном классе +0,5 мм – 31,7%. Максимальный размер частицы, обнаруженной в концентрате гравитации, составляет 1,75х1,6 мм. В шихте в значительном количестве присутствует тонкое золото крупностью – 0,05 мм. Его доля составляет 36,7% от общей массы золота, извлеченного в концентрат. В целом, золото в руде месторождения «Каральвеем» по крупности характеризуется как мелкое, пылевидное и золото средней крупности (по классификации Петровской).

Гравитационное обогащение в цикле измельчения, обогащение осуществляется в центробежных концентраторах «Knelson» KC-CD30 с периодической разгрузкой концентрата (разгрузка 2-3 раза в час). Нагрузка концентратора по питанию на I стадии – 34,0 т/ч на V – 34,8 т/ч. Производительность данного аппарата до 50-100 т/ч. и концентраторах «Knelson» KC-XD48 с периодической разгрузкой концентрата (разгрузка 2 раза в час). Нагрузка концентратора по питанию на II стадии 59,8 т/ч, на III – 67,7 т/ч. Производительность данного аппарата по паспорту до 200-400 т/ч.

Основная цель модернизации – повышение извлечения золота на 4 и 5 стадии гравитационного обогащения за счет установки оборудования с непрерывным режимом работы и высоким процентом выхода концентрата. Мы предполагаем, что с этой проблемой справятся отсадочные машины МОД-3М и МОД-2М.

Частые аварийные остановки и снижение (полное отсутствие) выхода концентрата с концентратора Knelson CVD42 связано с техническими возможностями форсунок концентратора, которые блокируются частицами крупностью более 0,5 мм.

В ноябре 2016 года был остановлен концентратор Knelson CD30 и заменен на отсадочную машину МОД-2М, это позволило увеличить выпуск товарного концентрата в 2 раза или + 40 г/сут., т.е. от среднего показателя выпуска готовой продукции 4 кг/сут. – это +1% извлечения.

В мае 2017 года был остановлен концентратор Knelson CVD42 и заменен на отсадочную машину МОД-3М, ниже результаты опробования.

**Таблица 2 – Результаты опробования до модернизации**

| Класс, мм      | Масса, г | Выход, % | Распределение<br>Au в классе, % | с/сод в<br>классе, г/т |
|----------------|----------|----------|---------------------------------|------------------------|
| -1.0 + 0,5     | 6        | 1.1      | 4.49                            | 9.14                   |
| -0,5 + 0,2     | 25       | 4.8      | 20.20                           | 9.87                   |
| -0,2 + 0,1     | 20       | 3.8      | 5.53                            | 3.38                   |
| -0,1 + 0,071   | 15       | 2.9      | 1.64                            | 1.34                   |
| -0,071 + 0,045 | 25       | 4.8      | 2.63                            | 1.29                   |
| -0,045         | 435      | 82.7     | 65.50                           | 1.84                   |
| Итого:         | 526.00   | 100.0    | 100.00                          | 2.32                   |

*Примечание:* выход класса – 0,071мм составляет – 87,5%; Потери золота в классе – 1,0мм+0,2мм более 9 г/т., Содержание в классе -0,071 – составляет 1,81г/т., Содержание в классе +0,071 – составляет 5,9 г/т **Общие хвосты составляют – 2,32 г/т**

**Таблица 3 – Результаты опробования после модернизации**

| Класс, мм           | Масса,<br>г | Выход,<br>% | Распределение<br>Au в классе, % | с/сод в<br>классе, г/т |
|---------------------|-------------|-------------|---------------------------------|------------------------|
| хвосты МОД 2 +0.071 | 115         | 19,66       | 11,79                           | 0.88                   |
| хвосты МОД 2 +0.045 | 60          | 10,26       | 12,72                           | 1.82                   |
| хвосты МОД 2 -0.045 | 410         | 70,09       | 75,48                           | 1.58                   |
| хвосты МОД 3 +0.071 | 65          | 11,61       | 4,49                            | 0.56                   |
| хвосты МОД 3 +0.045 | 80          | 14,29       | 6,91                            | 1.7                    |
| хвосты МОД 3 -0.045 | 415         | 74,11       | 88,6                            | 1.73                   |

*Примечание:* выход класса -0,071мм составляет – 84,27%; Содержание в классе -0,071 – составляет 1,67г/т Содержание в классе +0,071мм – составляет 0,76г/т. **Общие хвосты составляют – 1,52 г/т**

Как можно видеть из таблицы, гранулометрический состав в обоих случаях одинаковый, но в случае работы отсадочных машин МОД-3М и МОД-2М, нижний слив:

- прирост по извлечению класса  $-0,071\text{мм}$  составляет  $+7,73\%$
- прирост по извлечению класса  $+0,071\text{мм}$  составляет  $+87,11\%$
- общий прирост по золоту при схожих условиях  $34\text{ т/ч}$  составляет  $-27,2\text{ г/час}$  или  $652,8\text{ г/сутки}$ , в месяц  $19584\text{ г/месяц} = 19,584\text{ кг}$ .

Приведенные расчеты, анализ наблюдений позволяет сделать выводы об эффективности гравитационного обогащения золота за счет использования отсадочных машин МОД-2М, МОД -3 М по сравнению с обогащением концентраторами Knelson, что дает возможность рекомендовать использование отсадочных машин типа МОД -2 М и МОД – 3 М при гравитационном обогащении золота.

#### Список литературы

1. Бочаров В.А., Абрютин Д.В. Технология золотосодержащих руд. Изд. Дом МИСиС, 2011.
2. 2. Каральвеемское (Au) месторождение, Билибинский район, Чукотский АО, Северо-Восточный регион, Россия [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://webmineral.ru/deposits/item.php?id=1793> (дата обращения: 13.02.2019).

### ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ УДАРНОГО МЕХАНИЗМА С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ВЗВОДОМ

Плохих В.В., Чещин Д.О.

*Институт горного дела им. Н.А. Чинакала  
Сибирского отделения РАН*

Важнейшей составляющей технологий разведки и разработки месторождений полезных ископаемых, их добычи, как подземным, так и открытым способами является использование всевозможных ударных машин. Они находят применение, как при непосредственной разработке массива, так и при укреплении откосов, образовании скважин различного назначения и т.д. В качестве ударных машин наиболее широкое распространены пневмо- и гидромолоты [1,2].

В Институте горного дела СО РАН (ИГД СО РАН) многие годы ведутся работы по созданию пневмоударных машин для образования в грунте скважин и забиванию в грунт защитных труб-кожухов. Институт является одним из мировых лидеров в этом техническом направлении [2,3].

В последние четыре десятилетия в мировой практике идет интенсивный переход с пневматических ударных машин на гидравлические. Гидроударные машины, по сравнению с пневматическими, более сложны в технологическом отношении и требуют более высокой точности изготовления деталей и условно сравнению с пневматическими. Кроме того, процесс их эксплуатации также связан с более высокими требованиями к условиям ремонта, уровню технического обслуживания и т.д. [4,5]. Тем не менее, преимущества гидропривода по сравнению с пневмоприводом значительны. К ним следует отнести заметное повышение мощности, подводимой к породоразрушающему инструменту, увеличение КПД машины. Также расширяются возможности для автоматизации режима работы в плане адаптации параметров энергетического воздействия к свойствам породного массива.

Как было отмечено, гидравлические машины требуют более высокой точности изготовления деталей и узлов, что приводит к высоким затратам. Анализ процесса изготовления деталей (рис.1) показывает, что при повышении допуска изготовления изделия  $TS$ , снижаются затраты на изготовление продукции  $C_{изг}$  [6]. С увеличением допуска увеличиваются затраты на сборку, так как неточные детали нужно собирать с пригонкой. Оптимальное значение допуска  $TS_{опт}$  соответствует минимуму общих затрат  $C_0$ .

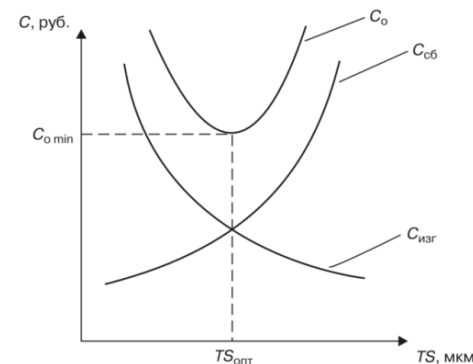


Рис.1. Зависимости затрат от допуска зазора в соединении деталей

Идея предлагаемой схемы ударной машины основывается на увеличении допуска зазора в соединении деталей «корпус-ударник» за счет использования уплотнительных элементов. Движение ударника в прямом направлении осуществляется посредством воздушной массы в камере прямого хода (ударная камера) сжатой с помощью гидравлического энергоносителя поступающего в камеру обратного хода (камера

взвода). В качестве командозадающих элементов для управления энергоносителя могут выступать всевозможные датчики физических величин: перемещения, расстояния, давления, удара, уровня и т.д.

На рис.2 представлен вариант исполнения ударного механизма с управлением по датчику давления.

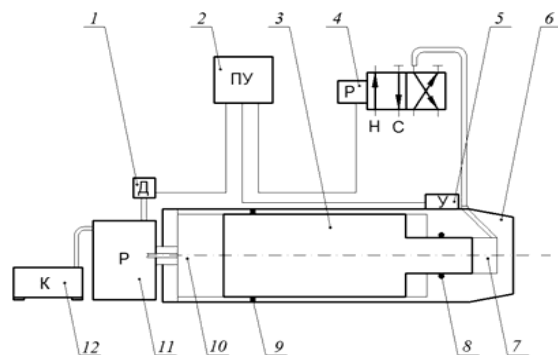


**Рис.2** Схема ударного механизма с управлением по датчику давления

Принцип действия механизма следующий. Компрессором 12 создается необходимое давление в ресивере 11 сообщенном с камерой 10. Компрессор отключают, при этом давление в камере прямого хода приводит в движение ударник 3. Его удар о наковальню 6 регистрирует датчик удара 5, который посылает сигнал на центральный процессор 2. После чего распределитель 4 подключает камеру обратного хода 7 к напорной линии гидросистемы и происходит взвод ударника в заднее положение. При этом воздух в камере прямого хода 10 сжимается с помощью гидравлической жидкости через ударник 3. В процессе сжатия в камере 10 повышается давление, которое отслеживает датчик давления 1. По достижении заданного давления центральный процессор 2 переводит распределитель 4 в исходное положение, подключая камеру обратного хода 7 к сливной магистрали. Происходит движение ударника 3 на удар и цикл повторяется.

Герметичность камер 7 и 10 обеспечивается уплотнениями 8 и 9, что позволяет снизить точность сопрягаемых деталей «корпус-ударник», тем самым снизив как трудоемкость изготовления и ремонта машины, так и ее себестоимость.

К преимуществам предлагаемой конструкции также стоит отнести малый объем гидрокамеры, что позволяет снизить расход энергоносителя. Также возникает потенциал к регулированию энергии/частоты удара. Для этого, регулируя пороговое давление в камере прямого хода, изменяют ход ударника и добиваются требуемой частоты и энергии удара.

Дальнейшее математическое моделирование процесса работы предлагаемой машины и усовершенствование схемы её управления позволят установить наиболее эффективные эксплуатационные характеристики и создать новую разновидность ударных машин.

### Список литературы

1. Галдин Н.С., Бедрина Е.А. Ковши активного действия для экскаваторов: Учеб. пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2003. – 53 с.
2. Данилов Б.Б. Анализ тенденций развития современных технологий сооружения скважин в породном массиве / Б.Б. Данилов, Б.Н. Смоляницкий // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук (научный журнал), – Новосибирск: ИГД им. Н.А. Чинакала СО РАН, – 2014. – Т. 2. – №2. – С. 104-113.
3. Добросельский П. В. Оборудование для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций на базе пневмопробойников и перспективы его развития / П. В. Добросельский // РОБТ. М.: ООО «ТИМР», – 1996. – № 2. – 48 с.
4. Ушаков, Л. С, Котылев Ю. Е., Кравченко В. А. Гидравлические машины ударного действия. – М.: Машиностроение, 2000. – 415 с.
5. Горбунов В. Ф, Лазуткин А. Г., Ушаков Л. С. Импульсный гидропривод горных машин. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1986. – 195 с.
6. Аристов А.И., Приходько В.М., Сергеев И.Д., Фатюхин Д.С. Метрология, стандартизация, сертификация: Учебное пособие / кол. Авторы. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 256 с.

## НОВОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ РАБОЧЕГО ОРГАНА ВЫЕМОЧНО-ПОГРУЗОЧНОГО ДРАГЛАЙНА

**Клементьева И.Н.**

*Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»*

В настоящее время лидирующее положение по объему добываемого угля в стране занимает открытый способ его добычи, удельный вес которого уже превысил 70% [1] в силу его (в сравнении с подземным) значительных преимуществ экономического, технологического и социального характера.

Одним из действенных способов увеличения угла откоса карьера (разреза) и сокращения объемов горно-транспортных работ следует считать увеличение до 30-35 м и более высоты уступов карьера. Оработку подобных уступов целесообразно производить, в частности, выемочно-погрузочными драглайнами с непосредственной погрузкой горной массы в транспортное средство [2].

Идея сохранить технологические преимущества экскаватора-драглайна и придать ему функции выемочно-погрузочной машины существует давно. В РФ НИР и ОКР по созданию отечественных выемочно-погрузочных драглайнов длительное время выполнялись в ННЦ ГП ИГД им. А.А. Скочинского и ИПКОН РАН им. Н.В. Мельникова. Запатентован ряд технических решений по изменению конструкции драглайна, системы подвески ковша и самого ковша (патенты РФ 2039160 E02F 3/48, 1995; 2186178 E02F 3/60, 2002; 24321719 E02F 3/48, 2011 и другие). Анализ известных до настоящего времени конструкций выемочно-погрузочного драглайна показал, что они структурно избыточны, так как содержат дополнительные силовые приводы и системы управления ими, включая процессорные (Universal Dragline System, США), не участвующие в отделении породы от массива, следовательно, увеличивающие энергоемкость процесса экскавации в целом [3].

Предлагаемое новое техническое решение конструкции рабочего органа выемочно-погрузочного драглайна позволяет осуществлять погрузку горной массы в кузов автосамосвала (в бункер конвейера или дробилки) опрокидным ковшом практически в любой точке сектора, ограниченного в плане разгрузочной площадки радиусом вращения хвостовой части кузова машинного отделения драглайна и наибольшим радиусом выгрузки, как на уровне, так и выше его стояния (рис. 1).

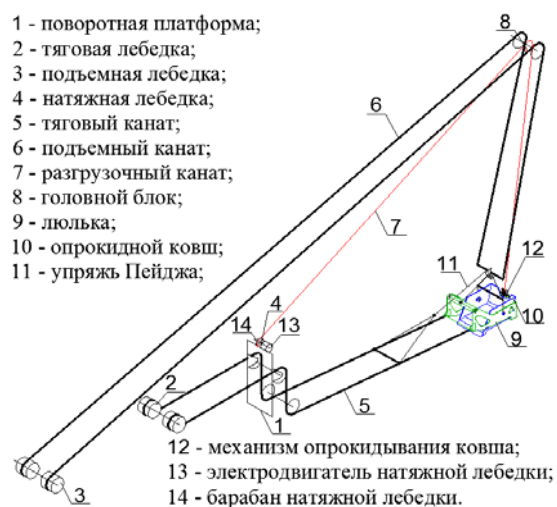


Рис. 1. Выемочно-погрузочный драглайн с инновационным рабочим органом

В отличие от известных технических решений рабочий орган (рис. 2) выполнен в виде люльки с упряжью Пейджа с размещенным в ней на цапфах опрокидным ковшом, снабженной механизмом опрокидывания ковша, содержащим натяжную лебедку, которая размещена на стойке поворотной платформы, и рычажно-торсионный механизм стопорения ковша (рис. 3), который включает две проушины, закрепленные на задней стенке люльки симметрично относительно продольной оси ковша, в квадратных отверстиях которых своими концами размещен торсион.

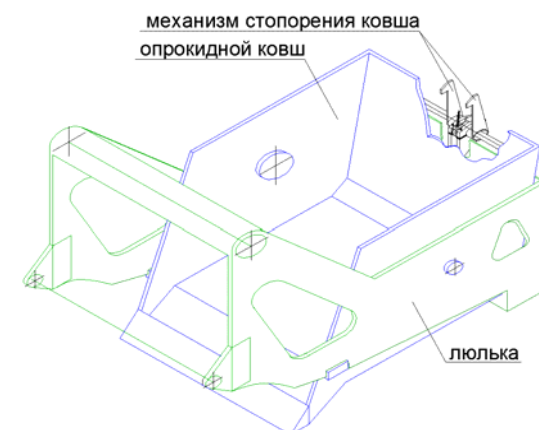


Рис. 2. Инновационный рабочий орган выемочно-погрузочного драглайна

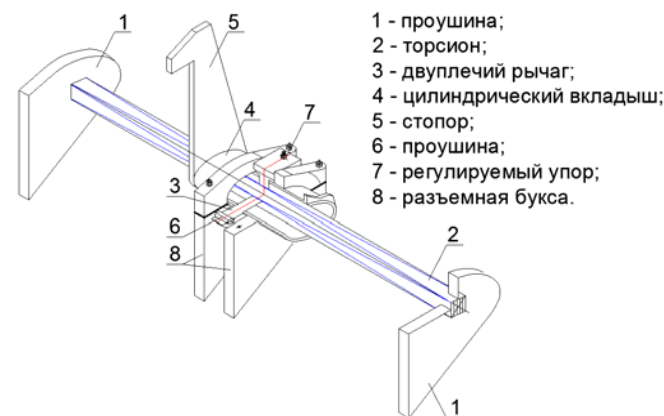


Рис. 3. Рычажно-торсионный механизм стопорения ковша

В центре торсиона по продольной оси установлен двуплечий рычаг со сквозным квадратным охватывающим отверстием и двумя глухими цилиндрическими углублениями с каждой стороны, в которых жёстко коаксиально закреплены цилиндрические вкладыши со стопорами ковша на концах. Одно плечо рычага посредством проушины канатом через головной блок стрелы связано с барабаном натяжной лебёдки, другое плечо упирается в регулируемый упор. Вкладыши размещены в разъёмных буксах, закреплённых симметрично на задней стенке люльки.

К люльке шарнирно крепятся подъёмный, тяговый и разгрузочный канаты. Натянутые подъёмные и тяговые канаты используются для подвода и фиксации люльки с ковшом над транспортным средством в зоне подстрелового пространства выемочно-погрузочного драглайна.

Натянутые подъёмные и тяговые канаты, используемые для подвода и фиксации люльки с ковшом над транспортным средством в зоне подстрелового пространства драглайна, практически устраняют раскачивание ковша в процессе торможения в конце поворота на выгрузку, что способствует эффективной разгрузке ковша в кузов транспортного средства.

При не активируемом механизме опрокидывания ковша выемочно-погрузочный драглайн, оснащённый люлькой с упряжью Пейджа, может осуществлять разгрузку горной массы и в отвал традиционным способом путем ослабления тяговых канатов при вертикальном положении подъёмного каната в конце поворота стрелы на выгрузку.

Сегодня на горнодобывающих предприятиях РФ находятся в эксплуатации более 350 единиц драглайнов ЭШ-10.70А и более 70 единиц драглайнов ЭШ-11.70 производства НКМЗ. Оснащение этих экскаваторов-драглайнов рабочим органом предложенной инновационной конструкции без изменения установленной мощности силовых приводов подъёмных и тяговых канатов позволит эффективно использовать их для погрузки горной массы в думпкары, бункеры дробилок и в автосамосвалы, что существенно расширит их технологические возможности.

### Список литературы

1. Таразанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2018 года. Уголь. – 2019, №3 (1104), С. 64-79.
2. Трубецкой К.Н., Домбровский А.Н., Сидоренко И.А. Кранлайны – высокоэффективное конкурентоспособное выемочно-погрузочное оборудование для транспортной системы открытой разработки месторождений. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) – Выпуск S8. – М.: Изд-во «Горная книга», 2008 – С. 29-38.
3. Клементьева И.Н., Кузиев Д.А. Отработка уступа выемочно-погрузочным драглайном с инновационным ковшом. Сборник материалов 3 конференции Международной научной школы академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр», М.: ИПКОН РАН, 2018 – С. 219-221.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА КОЛЬЦЕВОГО УПРУГОГО КЛАПАНА В РЕВЕРСИВНОМ ГИДРОПРИВОДЕ

Плохих В.В., Чешин Д.О

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН (ИГД СО РАН)

Применение гидравлических ударных машин объемного типа на дорожно-строительных машинах с активными рабочими органами повышает эффективность их работы при разрушении скальных пород, дорожных одежд, уплотнении грунта, бестраншейной прокладке подземных коммуникаций и других видах строительных работ. При анализе различных распределительных устройств особый интерес представляют механизмы, в которых применяется кольцевой упругий клапан. Это является эффективным решением, которое улучшает эксплуатационные показатели, обеспечивает создание наиболее простых в конструктивном отношении гидромолотов и повышает технологичность изготовления.

Конструкция гидроударника определяется его распределительной системой. Классификация распределительных узлов беззолотниковых гидроударников представлена на рисунке 1 [1].



Рис. 1. Классификация распределительных узлов беззолотниковых гидроударников

Специалистами СибАДИ разработана конструктивная схема беззлотникового гидроударника. В этой схеме применено распределительное устройство на основе эластичного клапана в виде мембранного запорно-регулирующего элемента. Такой клапан позволяет создавать наиболее простые в конструктивном отношении гидроударники [1]. Несмотря на простоту конструкции эта схема не позволяет увеличить зазоры в трущихся парах гидроударного механизма с целью повышения надежности работы и упрощения технологии изготовления. Решить эту проблему позволяет конструкция, примененная в пневматическом молоте «Тайфун» с кольцевым упругим клапаном [2].

Для оценки возможности применения кольцевого упругого клапана в гидроударных машинах объемного типа были проведены экспериментальные исследования процесса работы упругого клапана на его физической модели. Целью исследований являлось определение начальных условий срабатывания кольцевого упругого клапана в системах распределения гидравлического потока жидкости в гидроударных машинах. Результаты исследований приведены в [3-4].

Для обеспечения возможности использования результатов исследований [3-4] величины  $\Delta$  перемещения клапана при закрытии (предварительное поджатие), приведена методика расчета. Данная методика позволяет определить необходимое давление для поджатия клапана на заданную величину. Расчетная схема для камеры конусного типа представлена на рисунке 2.

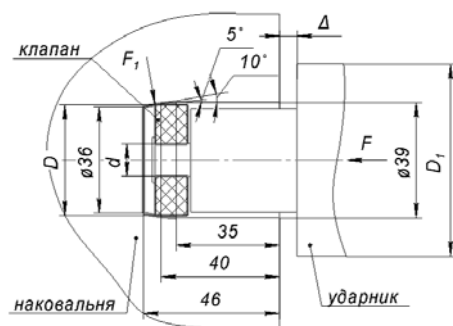


**Рис. 2** Расчетная схема для определения необходимого давления в пневмокамере

Исходными данными для расчета являются: параметры резинового клапана, у которого малый диаметр  $d=12$  мм, большой диаметр  $D=37,4$  мм, величина поджатия  $\Delta=1,9$  мм; параметры полиуретанового клапана:  $d=13$  мм,  $D=37$  мм,  $\Delta=2$  мм. Клапан в обоих случаях в исходном поло-

жении касается наковальни на конусе с углом  $\alpha=10^\circ$ . Диаметр ударника составляет  $D_1=65$  мм.

Давление, действующее на рабочую площадь ударника:

$$p = F/A, \quad (1)$$

где  $F$  – сила давления, Н;  $A=\pi \cdot D_1^2/4$  – рабочая площадь ударника,  $\text{м}^2$ .

Механическое напряжение, возникающее в клапане при его деформации:

$$\sigma = F_1/S, \quad (2)$$

где  $F_1=F \cdot \sin \alpha$  – модуль силы упругости клапана, Н;  $S=\pi \cdot D \cdot \Delta$  – рабочая площадь клапана,  $\text{м}^2$ .

Закон Гука при растяжении и сжатии упругого клапана:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (3)$$

где  $E$  – модуль упругости, Па (для резины  $E=5,1 \cdot 10^6$  Па [5]; для полиуретана  $E=12 \cdot 10^6$  Па [6]);  $\varepsilon=\Delta l/l_0$  – относительная деформация ( $\Delta l=\Delta \cdot \tan \alpha$  – изменение радиального размера клапана при поджатии;  $l_0=D-d$  – размер клапан до деформации).

Приравняв выражения (2) и (3), с учетом (1) найдем давление  $p$ , необходимое для поджатия упругого клапана на величину  $\Delta$ :

$$p = \frac{4 \cdot D \cdot \Delta^2 \cdot E}{(D-d) \cdot D_1^2 \cdot \cos \alpha}. \quad (4)$$

При подстановке этих значений в (4) можно определить минимально необходимое давление  $p$  для резинового клапана:

$$p = \frac{4 \cdot 0,0374 \cdot 0,0019^2 \cdot 5,1 \cdot 10^6}{(0,0374 - 0,012) \cdot 0,065^2 \cdot \cos 10^\circ} = 26060 \text{ Па}.$$

Давление  $p$  для полиуретанового клапана равно:

$$p = \frac{4 \cdot 0,037 \cdot 0,002^2 \cdot 12 \cdot 10^6}{(0,037 - 0,013) \cdot 0,065^2 \cdot \cos 10^\circ} = 71140 \text{ Па}.$$

Таким образом, данная методика позволяет определить минимальное значение давления в задней камере, которое обеспечивает требуемое предварительное поджатие для закрытия кольцевого упругого клапана, необходимое для его последующего срабатывания.

## Список литературы

1. Галдин Н.С., Бедрина Е.А. Ковши активного действия на основе гидроударников для экскаваторов: Учеб. пособие / М-во образования Рос. Федерации. Сиб. гос. автомоб.-дорож. акад. Омск: Изд-во СибАДИ, 2003. – 55 с.
2. Смоляницкий Б.Н., Червов В.В. Повышение эффективности использования энергоносителя в пневмомолотах для подземного строительства // ФТПРПИ. № 5. 2014. – С. 143–157.
3. Плохих В.В. Результаты экспериментального исследования процесса механического замыкания упругого клапана в гидроударной машине // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых: сборник материалов III Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Омск, СибАДИ, 2019. – С. 27–31.
4. Данилов Б.Б., Смоляницкий Б.Н., Плохих В.В. Обоснование применения кольцевого упругого клапана с кинематическим замыканием в гидроударных механизмах объемного типа // Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2018 XIV Междунар. научн. конгр., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология»: сб. материалов в 6 т. Т. 6. – Новосибирск: СГУГ и Т, 2018. – С. 21–28.
5. Ропай В.А., Заиченко В.А. Оценка погрешностей в определении модуля упругости резины при сжатии, связанных с неучетом изменений размеров образца в процессе испытаний // Сборник научных трудов НГУ. – 2012. – № 39. – С. 51–60.
6. Барвинок В.А., Федотов Ю.В., Шумков А.П. Повышение эффективности технологии разделительной штамповки листовых деталей полиуретаном за счет использования различных схем открытого воздействия эластомера на заготовку // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т.12. – 2010. – №4(2) – С. 362-369.

## СПОСОБ ЗАРЯЖАНИЯ ВОССТАЮЩЕЙ ВЗРЫВНОЙ СКВАЖИНЫ

Добрынин А.А.

*Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования*

*«Современная научно-технологическая академия» АНО ДПО «СНТА»*

Получен патент РФ на изобретение способа формирования заряда взрывчатого вещества (ВВ) в восстающих скважинах или шпурах, независимо от степени их обводненности, на подземных горных работах [1].

В большинстве известных способов заряжания восстающие взрывные скважины, при отбойке полезных ископаемых (железные, медные, апатит-нефелиновые и др. руды), обычно располагаются веерами [2].

При использовании неэлектрической системы инициирования, согласно «Правилам безопасности при взрывных работах» (Правила) [3], допускается обратное инициирование зарядов ВВ, которое является более эффективным по сравнению с прямым инициированием. При обратном инициировании способ заряжания восстающих скважин включает следующие операции: размещение боевика в верхней части скважины; нагнетание гранулированного ВВ, в случае пневмозаряжания, или компонентов, необходимых для последующего образования в скважине эмульсионного ВВ (после завершения процесса газогенерации); затем, ниже ВВ, располагают, или нет, забойку.

Недостатком подобных способов является то, что в случае большого водопритока (фильтрации воды в скважину) объемом, примерно, от 1 л в минуту и более, достаточно часто наблюдается разрушение колонки заряда, вынос ВВ или составляющих его компонентов из скважин, в т.ч. на заряжающих скважину взрывников, а также растворение отдельных компонентов ВВ, в основном, аммиачной селитры, раствор которой попадает в окружающую среду, в т.ч. в водоносные горизонты.

Задачей предлагаемого изобретения в отношении способа заряжания восстающих скважин является: обеспечение устойчивости колонки заряда ВВ в условиях большого водопритока, повышение безопасности операции заряжания, а также снижение экологической нагрузки на окружающую среду.

Технический результат достигается тем, что в способе заряжания восстающих взрывных скважин, включающем расположение боевика в верхней части скважины с последующим заполнением скважины ВВ и формированием, или нет, забойки ниже ВВ, в верхней части скважины над боевиком создается дренажная полость, путем расположения в скважине заглушки с дренажной трубкой, при этом нижний конец трубки, после формирования заряда, располагается ниже заряда.

Конструкция заглушки может иметь любую форму, лишь бы ею обеспечивалось перекрытие всего сечения скважины и удержание ее на заданной высоте, т.е. там, куда заглушку устанавливают. В качестве материала может быть использован тонкостенный пластик, например вторичный, или другой недорогой и не тяжелый материал, или бывшие в употреблении пластиковые, резиновые и другие изделия, например использованные пластиковые бутылки или их части.

Дренажные трубки могут крепиться к заглушке любым известным способом (прикручивание, крепление скобами или другим крепежом, приваривание, приклеивание и др.) в произвольном (удобном) месте. Однако лучше трубки располагать не по краям заглушки, чтобы во время движения и установки заглушки в скважину они не повреждались.

Для гарантированного обеспечения дренажа, а вдруг зажметесь или засорится трубка, рекомендуется использовать не менее двух дренажных трубок. Тоже следует делать, если водоприток большой и одной трубки может оказаться недостаточно.

Трубки свисают от заглушки вниз по скважине произвольно, аналогично тому, как свисают волноводы неэлектрической системы инициирования, что, как показывает практика, не препятствует формированию зарядов ВВ в восстающих скважинах.

Доставка заглушки в верхнюю часть скважины осуществляется, как и боевика, с помощью зарядной трубы (шланга), на которую заглушка надевается, для чего у нее в нижней части должно быть специальное приспособление, например, в виде штыря или гильзы, надеваемых на зарядную трубу. Впрочем, данная операция с доставкой боевиков уже давно отработана на практике, в связи с чем обратный способ инициирования допускается Правилами.

Верхняя часть заглушки может быть выполнена в виде диска из любого гибкого материала (пластика, резины и т.п.), диаметр которого, в зависимости от гибкости материала, превышает диаметр скважины на 5-15%, что позволяет обеспечить перекрытие всего сечения заряжаемой скважины и направить поступающую в дренажную полость воду в дренажную трубку (трубки).

На верхней поверхности заглушки может быть установлен стержень заданной длины для обеспечения необходимой высоты (длины, объема) дренажной полости. Во время установки заглушки им можно упереться в дно (забой) скважины.

На боковой поверхности заглушки располагается распорное устройство (устройства, приспособления), препятствующее падению (соскальзыванию) заглушки вниз. В качестве такого может быть использовано лепестковое устройство, или устройство с усами (пружинами), или в виде ершика, или другие распорные устройства, которые взрывники обычно называют «парашютами». Технология работы с ними тоже уже давно отработана при установке в скважинах боевиков при обратном инициировании. Однако, в отличие от работы с боевиками установка заглушек более простая и безопасная операция, т.к. здесь имеем дело с гораздо меньшей массой, при этом не приходится толкать в скважину зарядной трубой (шлангом) изделие с ВВ, в котором находится средство инициирования.

В качестве трубки для обеспечения дренажа можно использовать полую трубку из пластика, резины или других подобных гибких материалов, обладающих необходимой жесткостью, чтобы не зажалось при зарядании, что уточняется опытным путем.

Верхний конец (торец) дренажной трубки совпадает или соединяется каким-либо известным приемом с поверхностью заглушки, или поднимается над ней на небольшую высоту – не более 5 см. Нижний конец (торец) дренажной трубки должен располагаться ниже заряда ВВ, в т.ч. забойки, если она применяется. Дренажная трубка, для контроля водотока, может выходить из устья скважины – это создает определенные удобства (контроль), но это не всегда необходимо. Т.к. взрывные скважины обычно заряжаются не на всю длину, то можно использовать более короткие трубки, что снизит себестоимость взрывных работ.

Между заглушкой и дном (забоем) скважины рекомендуется оставлять пространство не менее объема водотока за одну минуту, при этом минимальная высота (длина) полости составляет не менее 1 см, независимо от ее диаметра. В процессе выполнения опытных работ размеры дренажной полости уточняются для конкретных условий.

Нахождение полостей в верхней части восстающих скважин, например, входящих в единый веер [2], создает условия для осушения (по трещинам и капиллярам) прилегающего обводненного массива горных пород, в котором образуется депрессионная кривая поверхность между верхними частями (дренажными полостями) скважин, что снижает поступление влаги в колонку заряда ВВ через боковую поверхность скважины, в связи с чем конструкция заряда становится более устойчивой.

#### Список литературы

1. Патент РФ № 2607483 Способ зарядания восстающей взрывной скважины / Добрынин А.А. – Бюллетень ФИПС. – 2017. – № 1.
2. Мангуш С.К., Фисун А.П. Справочник по буровзрывным работам на подземных горных разработках. Ростов-на-Дону: ЗАО «Книга», 2003, 344 с.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах» (утверждены приказом Ростехнадзора от 16.12.2013 № 605).

### ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ РЕСУРСОВ В ЭНЕРГОДЕФИЦИТНЫХ РЕГИОНАХ

Ельцов Н.А.

*«Санкт-Петербургский горный университет»*

Актуальность данной темы обусловлена экономическими издержками, связанными с недостаточным развитием энергетической инфраструктуры в регионах, обладающих крупными сырьевыми запасами [1].

Как следствие, данные запасы считаются низкорентабельными и «запертыми». Реализация коммерчески и энергетически выгодных энерго-снабжающих самобалансирующих энергосистем (ЭССО) позволит высвободить потенциал восточных месторождений и получить миллиарды рублей в экономику страны.

При построении таких систем важно практиковать внедрение инновационных оборудования, технологий и методов, которые позволят энергетикам точнее ориентироваться в современных трендах и быть более мобильными и открытыми как к мировой энергетике, так и к конечным потребителям.

Основные задачи, поставленные в исследовании:

1. Реализация самобалансирующих энергосистем интеллектуальной распределенной энергетики в удаленных энергодефицитных регионах.
2. Высвобождение потенциала некондиционных ресурсов.
3. Организация базового энергообеспечения для промышленного развития удаленных регионов с высоким ресурсным потенциалом.

На текущий момент в РФ вводятся новые генерирующие мощности, которые отстают от наращивания спроса потребления, а также ситуация осложняется износом эксплуатируемой генерирующей базы [2]. С целью решить сложности касательно надежной и безопасной поставки электроэнергии, устойчивости режимов энергосистемы и оптимизационных корректив по тарифам электрической энергии потребителю возможно предложить выходы следующего типа:

- временное сокращение энергопотребления в периоды пиковой загрузки сети и перемещение загрузки в полупиковый промежуток (регуляция загрузки сети);
- согласование взаимных контрактов долгосрочного типа по покупке электрической энергии и мощностей;
- расположение на стороне потребителей маломощностных генераторов (распределенная генерация);
- включение технологических решений по энергосбережению в производственные, сервисные и дистрибьюторские процессы.

В нашей стране существует большое количество регионов, в которых угольные бассейны расположены в непосредственной близости от объектов топливно-энергетического комплекса. Этот фактор необходимо учитывать при установке первичной инфраструктуры, геологических работ, а также при выходе на проектные мощности.

В проекте предлагается использовать преимущества взаимовыгодного расположения для энергообеспечения и повышения энергоэффективности, схема которого представлена на рисунке 1.

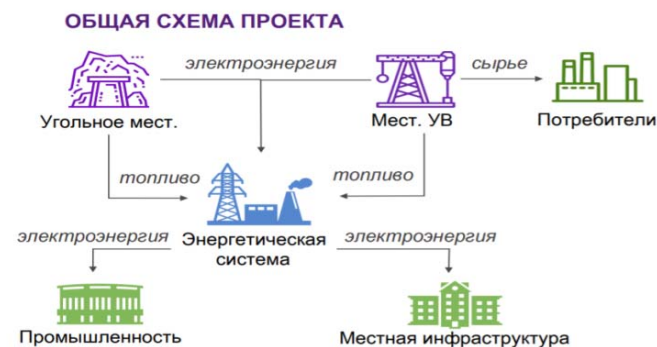


Рис. 1. Предлагаемая схема реализации проекта

Данный проект направлен на повышение генерирующей способности автономных предприятий, поэтому, помимо традиционной энергетики необходимо в обязательном порядке рассматривать вопросы альтернативной генерации и энергоэффективности и энергосбережения [3]. Важным элементом являются автономные гибридные электроустановки на основе возобновляемых источников энергии (инсоляция, ветроэнергетика, биотопливо) с интеграцией комплексов накопителей э/э.

Подобный метод комбинирования локальной инфраструктуры позволяет сократить число генерирующего оборудования, необходимого для покрытия пиковой нагрузки, за счет включения аккумулирующего оборудования, если наблюдается достаточное для подобной процедуры количество мощности и генераторов.

Распределенная генерация создается на базе альтернативной, модель которой представлена на рисунке 2.

В работе описан механизм построения системы распределенной энергетики на базе некондиционных ресурсов, предложены инструменты и предварительный поэтапный план с оценкой рисков всего проекта.

Не менее важным элементом исследования является обзор экономических и социальных показателей, которые также являются мотивационными факторами для развития проекта на каждом этапе: от привлечения инвестиций до итоговой эксплуатации.

Особое внимание в работе уделено нефтегазовой и горнодобывающей отраслям, интеллектуальной цифровизации, системам распределенной энергетики и новым технологиям получения электроэнергии из биотоплива.

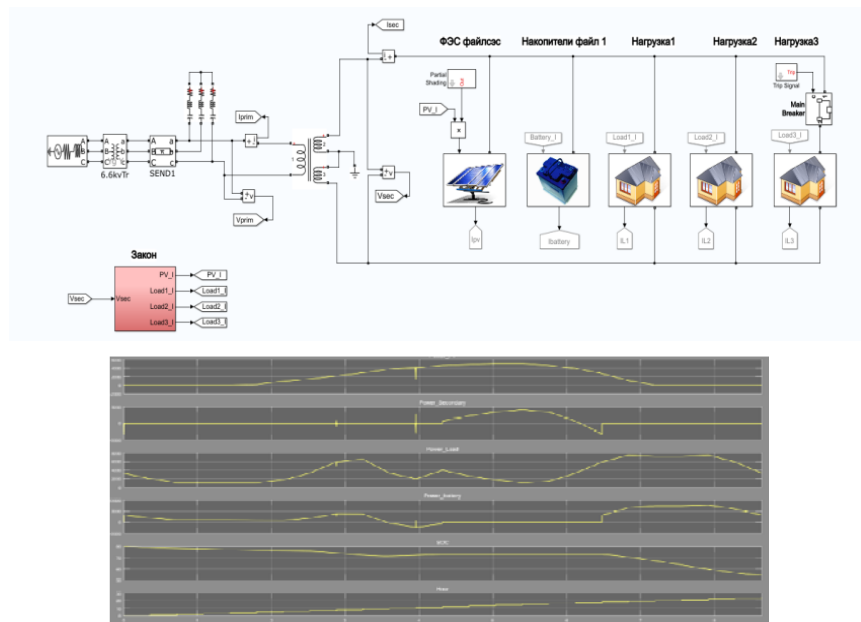


Рис. 2. Результаты моделирования энергоснабжаемых самобалансирующих энергосистем

#### Список литературы

1. Энергоэффективность и развитие энергетики: [Электронный ресурс]. URL: <https://programs.gov.ru/Portal/programs/passport/30> (дата обращения 19.03.2019).
2. Будовский В.П. Риск дефицита мощности энергосистемы // Электричество. 2009. № 8. С. 12-17.
3. Саликеева, С.Н. Обзор методов получения альтернативной энергии / С.Н. Саликеева, Ф.Т. Галеева // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – С.57.

### ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Аргимбаев К.Р., Миронова К.В.

Санкт-Петербургский горный университет

Развитие технологий открытой разработки в горнодобывающей промышленности берет свое начало с 1907 г, в период индустриализации народного хозяйства страны. Тогда, ввиду роста потребностей в

минеральном сырье, создаются крупные горнопромышленные районы с высокоразвитой инфраструктурой, строятся заводы, выпускается новейшее горнотранспортное оборудование. В этот период совершенствуются и появляются: карьерная добыча, технология дробления, шаровое измельчение, флотация, подэтажное обрушение, отражательная плавка, полусамомельчение.

Но уже к началу XX века известные крупные месторождения, имеющие простую структуру залегания и строения рудного тела, истощают свои запасы. Для обеспечения различных сфер жизнедеятельности населения нужно вводить в эксплуатацию новые месторождения, которые будут характеризоваться сложными горногеологическими и горнотехническими условиями, увеличением глубины существующих карьеров и необходимостью введения новых, эффективных и ресурсосберегающих технологий.

2005 г. характеризуется созданием предпосылок для появления плазменной фрагментации и первых супер МШЦ, изменяются схемы рудоподготовки (Рис. 1).

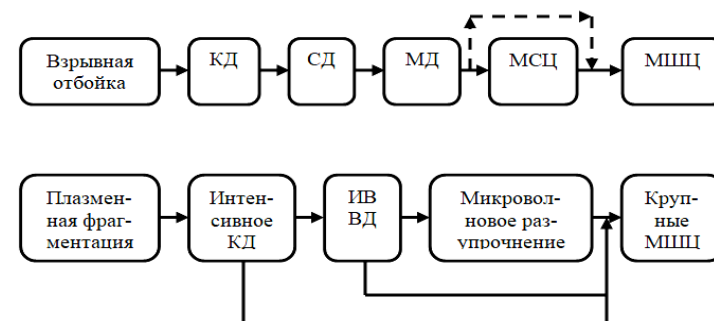


Рис. 1. Совершенствование схем рудоподготовки (верхняя – на 1970 г., нижняя – на 2040 г.)

Поэтому, в первую очередь, нужно остановиться на подготовке горных пород к выемке открытым способом. Уже в 2020 г. фрагментацию массива планируется осуществлять путем мгновенного перевода жидкого электролита в состояние плазмы за счет воздействия электрического тока напряжением 8 тыс. В/мс. Мгновенное увеличение температуры и объема индуцирует фрагментацию породы в массиве. Данный способ позволит

При транспортировании сырья в сложных климатических условиях будет применяться новый конвейер закрытого типа не имеющий аналогов в своем классе и наиболее производительный вид непрерывного

транспорта, характеризующийся централизованным автоматическим управлением, простотой обслуживания и малыми затратами на эксплуатацию (Рис. 2).

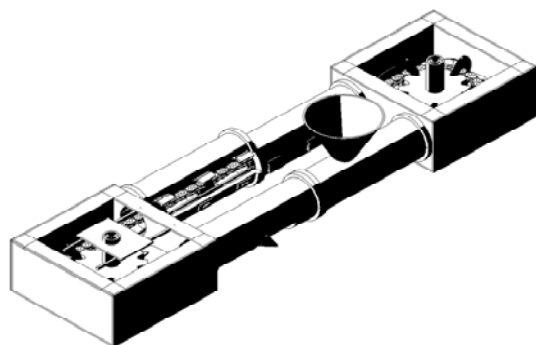


**Рис. 2. 3D-модель трубчатого совкового конвейера (патент РФ на полезную модель 170400, 2017 г.)**

Использование данного типа конвейера на открытых горных работах позволит защитить транспортируемое сырье от атмосферных осадков (снега, дождя), ветра, низких температур, что предотвратит утяжеление полезного ископаемого, пыление, смерзание, заснеживание. Не требуется установка дополнительного ограждения конвейерной магистрали, что позволяет ей проходить через открытую местность.

Благодаря возможности преодоления больших углов наклона (до 90°) и широкому температурному режиму использования (от плюс 50° до минус 60°), данный тип конвейера можно применять при разработке нагорных месторождений, вместо рудоспусков и в комплексе с мобильными дробильными оборудованьями.

Применение дробильных комплексов направлено на увеличение использования горнотранспортного оборудования, создав циклично-поточную технологию, что позволит повысить производительность предприятия, сократив при этом расстояние транспортирования и тем самым затраты на добычу.

Стационарное оборудование предполагает его размещение на подготовленной площадке. Главной целью при использовании такого оборудования является отказ от ограничений по массо-габаритным параметрам, но в свою очередь появляются строгие требования к надежности, ресурсу и ремонтпригодности, в итоге и металлоемкость оборудования растет вместе с ростом целевых показателей.

Мобильный дробильный комплекс может быть применен в связке с экскаватором: прямая лопата в забойном пространстве при проходке нового горизонта или расконсервации борта карьера. Основные их достоинства – это отсутствие привязки к площадке и возможность легкой смены места работы, быстрый ввод в эксплуатацию, низкие затраты и простота перемещения.

В любом случае, требуется провести технико-экономическое сравнение вариантов установки оборудования разного исполнения.

Применение вышеизложенных инновационных технологий в области открытой разработки полезных ископаемых позволит повысить безопасность ведения горных работ (уменьшить сейсмическое воздействие на прилегающие территории), снизить себестоимость добычи полезного ископаемого, а также повысить экологичность самого предприятия.

#### **Список литературы**

1. Kovalevskiy V.N., Argimbaev K.R. Experimental Research Of Explosive Jet Penetration In Rocks // *Gornyi Zhurnal (Mining Journal)*. – 2016. – №12. – P. 19-23.
2. Ligotsky D.N., Mironova K.V. Perspective Technology of Open-Pit Mining of Limestone and Dolomite // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2018. – №13. – P. 1613-1616.

### **О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ДОНБАССА**

**Колесник М. В., Хохлов Б. В.**

*РАНИМИ МОН ДНР*

В Донецком бассейне в разное время работало более 2500 шахт, и практически вся земная поверхность оказалась подработанной в разные периоды на глубинах 20-100 м. Наибольшую опасность в образовании провалов на земной поверхности представляют собой старые горные выработки имевшие выход на земную поверхность. Зачастую информация об этих выработках устарела, сведения о способах их ликвидации и расположении на местности в большинстве случаев утеряны.

Общее представление об объемах этой проблемы можно получить из публикаций РАНИМИ [1, 2] и из таблицы 1, в которой даны выборочные данные о количестве выработок, имеющих выход на земную поверхность по некоторым шахтам различных районов Донбасса. Так только на территории г. Донецка имеется около 900 вскрывающих выработок, и все они являются потенциальными источниками образования провалов. Всего же, по самым общим оценкам, в Донбассе более 10 тыс. таких опасных мест, которые необходимо достоверно определить на местности.

**Таблица 1 – Количество выработок, имеющих выход на поверхность**

| № | Шахта                       | Количество отработанных пластов | Угол падения пластов, градус | Число выработок выходящих на земную поверхность |
|---|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1 | им. В.И. Ленина г. Горловка | 20                              | 56-74                        | 335                                             |
| 2 | «Кочегарка»                 | 27                              | 52-71                        | 139                                             |
| 3 | им. Ю. А. Гагарина          | 29                              | 60-76                        | 644                                             |
| 4 | № 3 ш/у «Александровское»   | 18                              | 58-72                        | 793                                             |
| 5 | № 4 ш/у «Александровское»   | 5                               | 61-72                        | 558                                             |
| 6 | «Капитальная» г. Макеевка   | 6                               | 12-20                        | 184                                             |
|   | Итого:                      |                                 |                              | 2653                                            |

Решение данной проблемы можно предложить с помощью глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). На сегодняшний день такие технологии широко используются во множестве технических областей. Так с помощью спутниковых наблюдений можно проводить привязку локальных систем координат к глобальным, создание и реконструкцию маркшейдерских сетей [3, 4], проведение мониторинга геодинамических процессов [4, 5], наблюдение за выполнениями земляных работ и др.

Существуют различные методы спутниковых наблюдений: абсолютные и дифференциальные (кинематические и статические). Для получения наиболее точных координат используют дифференциальные методы в реальном времени (кинематические) и с помощью послеанальной обработки (статические), эти методы подразумевают использование комплекта как минимум из двух приемников.

Так, например, для определения геомеханического состояния горных сооружений и перемещения массива горных пород, применяются методы непосредственного измерения смещений традиционными геодезическими и маркшейдерскими методами. Но эти же работы можно проводить с использованием спутниковых наблюдений. Такие методы имеют ряд преимуществ: нет необходимости иметь прямую видимость между наблюдаемыми пунктами; снижено влияние человеческого фактора; повышается скорость выполнения работ; длина измеряемых линий может в значительной степени варьироваться до десятков километров.

Но существуют и недостатки, которые обусловлены в первую очередь дороговизной спутниковых приемников. А также могут возникать

проблемы с доступностью полной небесной полусферы для свободного прохождения электромагнитных сигналов. Такие проблемы могут быть частично минимизированы за счет применения перманентных спутниковых станций. Такие станции в непрерывном режиме накапливают данные, которые в последующем будут применены в дифференциальном методе измерений. Антенны этих пунктов устанавливаются на крышах зданий или на открытых местностях. То есть пользователю таких систем удастся сократить расходы на покупке второго приемника и обеспечить хорошие условия наблюдения на базовой станции.

На данный момент на территории Донецка нет сетей таких станций. В связи с этим ранее проведено исследование возможности использования данных из открытых интернет ресурсов перманентных станций при больших расстояниях применительно для Донецкого региона [6]. В работе установлено, что при соблюдении наиболее благоприятных условий можно добиться точности в 10-20 мм. Пункты в этой сети находились на территории Российской Федерации и Украины, а базовые линии имели длину до 300 км.

Следовательно, для обнаружения старых работ имевших выход на земную поверхность использование спутниковых технологий имеет потенциал для дальнейшего развития. Так как эти задачи невозможно или трудоемко выполнять традиционными измерительными методами. А применение даже абсолютных спутниковых методов позволяет получить требуемый результат. Помимо этого можно проводить и другие смежные работы с использованием таких систем. Приведем возможные работы с предполагаемыми для их реализации методами выполнения спутниковых наблюдений:

- обнаружение выработок имеющих выход на земную поверхность (абсолютный метод с точностью 5-15 м);
- вынос в натуру границ опасных зон (дифференциальный кинематический метод с точностью 0,1-0,30 м);
- наблюдение за состоянием карьеров (дифференциальные статические и кинематические метод с точностью 5-100 мм);
- наблюдения за сдвижением и деформациями на земной поверхности (дифференциальные статические и кинематические метод с точностью 1-15 мм);
- создание опорных маркшейдерских пунктов (дифференциальный статический метод с точностью 1-15 мм).

Для последующего развития использования ГНСС необходимо проведение экспериментальных измерительных процессов для возможности однозначного установления области применения и целесообразности для конкретных инженерно-технических работ.

## Список литературы

1. Дрибан, В. А. Мониторинг вертикальных горных выработок, имеющих выход на земную поверхность, при реструктуризации горных предприятий / В. А. Дрибан, Б. В. Хохлов // Материалы 3-й Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса» Том 1. «Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве». – Донецк, 2017. – С. 41-46.
2. Дрибан, В. А. Обеспечение устойчивости околоствольного массива и вертикальных шахтных стволов / В. А. Дрибан, Б. В. Хохлов // Экологическая ситуация в Донбассе: проблемы безопасности и рекультивации повреждённых территорий для их экономического возрождения: Доклады Международной научно-практической конференции. 12-13 февраля 2016 года. Научное издание. – Москва, Донецк: Изд-во МНЭПУ, 2016. – С. 392–397.
3. Панжин, А. А. Реконструкция опорного маркшейдерского обоснования на горных предприятиях с применением комплексов спутниковой геодезии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008–Вып. 3. – С. 108-114.
4. Панжин, А. А. Геодезическое обеспечение геодинамического мониторинга объектов недропользования / А.А. Панжин, А.Д. Сашурин, Н.А. Панжина, Б.Т. Мазуров // Вестник СГУГиТ. – 2016– Вып. 4(36). – С. 26-39.
5. Розанов, И. Ю. Опыт применения методов космической геодезии для геомеханического мониторинга массивов горных пород при открытых горных работах / И. Ю. Розанов, М. А. Кузнецов, Р. Н. Достовалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – Вып. №4. – С. 100-106.
6. Петрушин, А. Г. Аспекты применения перманентных спутниковых станций в условиях Донбасса / Петрушин А. Г., Колесник М. В. // Международная научно-техническая конференция «Горная геология, геомеханика и маркшейдерия». Сб. науч. докладов. – Донецк: РАНИМИ, 2019. – Вып 7(22).

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОГНОЗЕ СТРУКТУРЫ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Глухов А.А., Трофимов В.В., Кутепов Д.В., Ребенок Е.В.

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

Внезапные встречи горными работами геологических нарушений вызывают не только экономические потери, но и критические ситуации, угрожающие здоровью и жизни людей. Несмотря на высокую эффек-

тивность сейсмического метода в плане обнаружения аномалии и оконтуривания ее границ, основной проблемой шахтной пластовой сейсмической разведки является сложность и трудоемкость распознавания типа и параметров геологических нарушений [1]. Для решения данной проблемы целесообразно использовать программные средства, позволяющие автоматизировать большинство процессов обработки, а иногда и анализа результатов натурных исследований.

В статье кратко описано разработанное в РАНИМИ ДНР программное обеспечение, предназначенное для автоматизации обработки и анализа результатов сейсмических исследований при прогнозе структуры углепородного массива. Работа выполнена в ходе выполнения НИР «Разработка теории и методических основ сейсмического прогноза структуры углепородного массива из полевых выработок».

Основная решаемая программным обеспечением задача автоматизация выполнения последовательности этапов обработки и анализа данных шахтной сейсморазведки:

- ввода и предварительной обработки исходных данных;
- первичной обработки и анализа (расчет амплитудных спектров, спектров скоростей, фильтрация, расчет кинематических и динамических параметров в выделенных скоростных окнах; статистическая обработка, поляризационный анализ, дисперсионный анализ);
- обработка и анализ в рамках основных графов обработки по конкретным методикам (МОВ, МСП, МСЛ, МДВ);
- формирование результатов прогноза в виде карт и схем вероятного распределения аномалий на исследуемом участке.

Реализованные в программном обеспечении алгоритмы полных графов обработки по методу сейсмического просвечивания и по методу дифрагированных волн детально описаны в публикациях [2, 3]. По этой причине остановимся только на методе отраженных волн. При работе с сейсмограммами общего пункта приема (ОПП) и общего пункта возбуждения (ОПВ) в рамках МОВ предусмотрено использование метода эллипсов для построения отражающих границ. Причем данная процедура актуальна как при использовании сейсмической локации из отдельной выработки и впереди забоя, так и при использовании метода отраженных волн в его классическом виде.

Граф обработки по методу эллипсов представляет собой итерационный процесс выполнения следующих процедур:

- сортировка сейсмических записей по ОПВ или ОПП;
- при необходимости режекторная фильтрация записей для подавления промышленных электрических помех;

- полосовая фильтрация сейсмических записей;
- выделение на сейсмозаписях осей синфазности по первым вступлениям предполагаемой информативной волны;
- построения эллипсов с фокусами в местах расположения ПВ и СП. Значение удвоенной полуоси эллипса равно скорости распространения информативной волны на время ее первого вступления.

Наиболее трудоемким этапом при обработке «вручную» является построение и нанесение на схему наблюдений упомянутых выше эллипсов. Для каждого отмеченного маркера на оси синфазности предполагаемой информативной волны следует рассчитать и построить свой эллипс. Таких построений может быть выполнено несколько десятков или даже сотен. Как правило, такие операции выполняются вне программного обеспечения обработки данных. Например, в системе AutoCAD. В разработанном программном обеспечении данный подход автоматизирован. Системы эллипсов рассчитываются, отображаются и корректируются автоматически.

Критерием наличия отражающих границ является характерное сближение либо пересечение эллипсов в локальной зоне предполагаемой отражающей границы.

Часть осей синфазности не свидетельствуют о наличии аномалии. Они могут быть вызваны самыми разными причинами. Поэтому часть построений эллипсов не приносит результата.

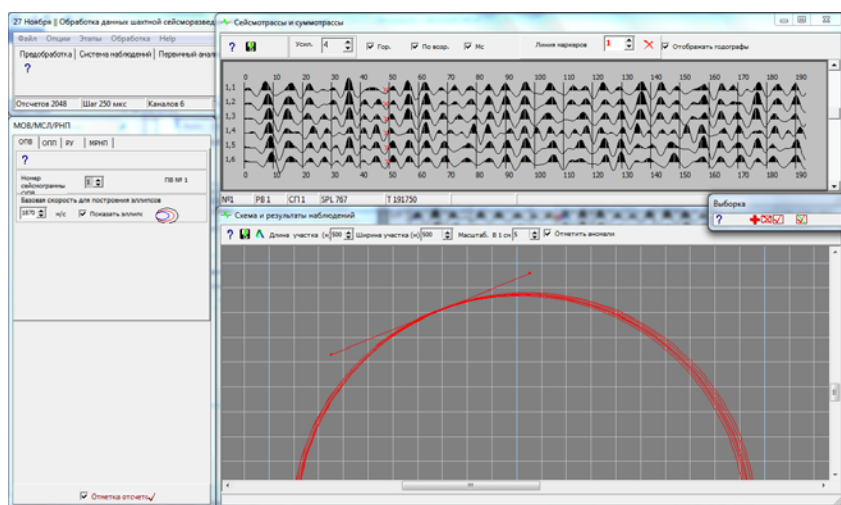


Рис. 1. Пример построения отражающей границы методом эллипсов

Возможен и следующий подход. По априори известному положению нарушения можно на сейсмограммах ОПВ и ОПП рассчитать годографы отраженных волн и проверить, располагаются ли вблизи рассчитанных позиций оси синфазности отраженных волн. Эта операция требует расчета позиции для каждой сейсмограммы во всем наборе исходных сейсмограмм, при этом их может быть несколько сотен. В программном обеспечении реализован и данный подход.

Расширяет функциональность алгоритма возможность сохранения и последующего чтения всех этапов обработки и анализа.

К настоящему времени рассмотренный алгоритм успешно апробирован на ряде объектов. В частности, на участке лавы 1086 по пласту  $c_{10}^B$ , ш. «Днепровская». Кроме этого, алгоритм был апробирован при обработке результатов экспериментальных работ различными методами на шахте «Казахстанская» и на других объектах Карагандинского угольного бассейна (Казахстан).

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

### Список литературы

1. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки [Текст] / А.В. Анциферов. – Донецк: ООО «Алан», 2002. – 312 с.
2. Глухов А.А. Об использовании миграции до суммирования при построении сейсмических изображений углепородных массивов методами пластовой сейсморазведки [Текст] / А.А. Глухов // Наукові праці УкрНДМІ НАН України: зб. наук. пр. – Донецьк, 2012. – № 14. – С. 209-216.
3. Глухов А.А. Алгоритм обработки данных сейсмического прогноза геологических нарушений угольных пластов [Текст] / Глухов А.А. // Труды РАНИМИ: сб. науч. тр. – Донецк, РАНИМИ МОН ДНР, 2017. – № 4 (19). – С. 54.

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИИ НА КИЗЕЛЬГУРСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (АЛЖИР)

Ламамра Абдессаттар, Негурица Д.Л.

*Российский университет дружбы народов*

Горнодобывающий комплекс является одним из приоритетных секторов экономики Алжира, а также базой его экономической независимости. От объемов добычи полезных ископаемых, стабильности технико-экономического развития горного производства зависят все отрасли реального сектора экономики. Однако на сегодняшний день

состояние горнодобывающей промышленности Алжира характеризуется ухудшением горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождений полезных ископаемых, истощением минерально-сырьевой базы и недостатком инвестиций в освоение месторождений.

Кизельгур – это кремнистая осадочная порода биогенного происхождения, образованная скоплением диатомовых скелетов (одноклеточных бурых водорослей) размером от 10 до 50 мкм, представленных аморфным гидратированным диоксидом кремния (опал). Диатомит также называют «кизельгур» или «диатомитовая земля» в англосаксонском мире; в Дании «моляр» относится к диатомовой глине, содержащей до 30% смектитов. В настоящее время определяется более 12000 видов диатомитов [1]. Кизельгур используется для фильтрации жидкостей, в качестве наполнителя (пластмасса, резина, бумага, керамика), в производстве строительных, изоляционных материалов, удобрений, разнообразных покрытий, в косметической отрасли и т.п. [2-4].

Возрастающий спрос на эти минеральные ресурсы ввиду их многопланового использования, вызывает необходимость совершенствования технологии его добычи.

Национальная компания по добыче цветных металлов ENOF заявила об увеличении добычи сырья на Кизельгурском месторождении (шахта Сиг) с 3 000 тонн/год до 130 000 тонн/год [5] для обеспечения возрастающего спроса на кизельгур. Актуальным является совершенствование технологии добычи, режима работы, логистических схем горного предприятия для обеспечения требуемого уровня производительности, стабильности и безопасности ведения работ.

Сложные горно-геологические условия в подземных шахтах Кизельгура в Сиге (Западный Алжир), где массив горных пород ввиду слабых прочностных свойств имеет низкую несущую способность, является самой серьезной проблемой на пути реализации планов увеличения добычи. Производительность шахты в последние годы не превышает 3000 т / год, и это связано с несколькими факторами: используемая технология отработки запасов полезных ископаемых не учитывает физико-механические свойства залежи; несущая способность пород очень низкая, вызывает обрушения кровли шахты, особенно при использовании инструментов, которые вызывают вибрации.

Применяемая в настоящее время камерно-столбовая система разработки не соответствует горно-геологическим условиям освоения месторождения, слагаемого мягкими, не имеющими достаточной прочности породами, где проходка горных выработок и добыча сопровождается обрушениями и вывалами пород. Единственным способом

обеспечения увеличения производства до 100 тыс. т./год является техническое перевооружение шахты с изменением способа добычи, внедрение комбайнов, работающих под защитой механизированных крепей, широко применяемых в угольной отрасли. Внедрение этой техники позволит значительно увеличить добычу полезного ископаемого и обеспечить безопасность работ при эксплуатации данного месторождения.

Для повышения производительности добычных работ рассмотрена возможность и условия применения камерно-столбовой системы разработки с длинными забоями, широко используемой на угольных шахтах. Выполнена оценка необходимого добычного оборудования, системы транспортировки с учетом изменения режима работы.

На руднике Кизельгур в Сигском районе уже несколько лет применяется подземная добыча, покрывающая толща при этом достигает 84 метров [5]. Открытая или комбинированная (открыто-подземная) система разработки не рассматриваются ввиду их экономической неэффективности.

Совершенствование технологии добычи основано на комбинации камерно-столбовой системы разработки, включая проходку и очистные работы: камерно-столбовая система разработки с проходкой (дрифтинг), остановкой и обрушением на остаточных киях. Метод проходки и остановки используется при отработке месторождений с линзовидной морфологией и толщиной менее 5 м [6].

Необходимо определить параметры очистных работ, обеспечивающие устойчивость выработок под нагрузкой пород вышележащей толщи. Однако полезное ископаемое и вмещающий его массив горных пород не обладают достаточной несущей способностью, наблюдаются обрушения и провалы.

Вскрывающие выработки обеспечивают доступ к залежи полезного ископаемого. На шахте Сиг эти выработки пройдены механическим способом, поскольку подстилающие породы представлены мергелистыми известняками, обладающими низкой устойчивостью.

Метод заключается в бурении параллельных штреков шириной 4 м, и расположенных на расстоянии 4 м друг от друга по ширине столба. Эти столбы затем частично извлекаются, только оставшиеся целики, расположенные в 2 м в стороне, не отрабатываются [6].

Камерно-столбовая система разработки длинными забоями предусматривает извлечение руды по всей длине панели (от 50 до 250 м) [7]. Руда отделяется от массива с помощью механизированного комбайна, движущегося вдоль залежи с конвейером у забоя, соединенным с транс-

портировочным ленточным конвейером. Пролет поддерживают открытым и позволяют породам кровли обрушаться позади забоя, на безопасном расстоянии для персонала и оборудования. Подготовительные работы включают в себя поддержание вскрывающих выработок и транспортировку руды до поверхности.

Поскольку эксплуатируемый слой имеет небольшую мощность значительную горизонтальную протяженность, его, как правило, можно отрабатывать с помощью довольно простой сети штреков. Откаточные штреки проходятся на одном и том же горизонте. Расстояние между двумя соседними поворотными участками определяет длину забоя.

Таким образом, предложенная система разработки для извлечения запасов месторождения Кизельгур обеспечивает значительное повышение производительности по сравнению с принятой ранее технологией, высокие показатели извлечения минерального сырья и подходит для неустойчивых покрывающих пород с низкой несущей способностью. При этом обеспечивается безопасность ведения добычных работ, поскольку горнорабочие находятся под надежной защитой механизированного оборудования.

#### Список литературы

1. R. Nakkad et al.; Contribution à l'étude morphologique et thermique des diatomites utilisées dans l'isolation; 12ème journée internationale de thermique, 15-17 nov. 2005, Tanger Maroc.
2. J. Gomez et al., Formation of siliceous sediments in brandy after diatomite filtration, Food Chemistry, 170, 2015, 84-89.
3. Bülent Yilmaz, The use of raw and calcined diatomite in cement production, Cement and Concrete Composites, Volume 30, Issue 3, March 2008, 202-211.
4. Hazem Merad, Characterization by thermal analysis of natural kieselguhr and sand for industrial application, Energy Procedia 74 (2015) 1282 – 1288.
5. ENOF Internal document of (National Company of Non-Ferrous Mining Products), 2004. Annual Report about Sig Mine, Algeria.
6. Khalfi A, Taleb C., Contribution à l'étude d'impact environnemental de l'exploitation minière souterraine et de rejets de traitement (Cas de la mine de Chaabet El-Hamra, Ain Azel, Wilaya de Sétif), Mémoire pour l'obtention du diplôme master académique (Option: Géoressources et Substances Utiles), Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen, 2014.
7. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / под ред. К.Н. Трубецкого. — М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. — 478 с.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗАЩИТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА

Пеленев Д.Н., Бабырь К.В.

«Санкт-Петербургский горный университет»

Своевременно неустраненный режим однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) впоследствии переходит в междуфазное короткое замыкание [1], что приводит к значительным экономическим ущербам по причине выхода из строя дорогостоящего оборудования.

Для минимизации ущерба в электрических сетях 6-10 кВ из-за однофазных замыканий на землю необходимо применять эффективные средства релейной защиты и автоматики, позволяющие селективно выявлять поврежденное присоединение и своевременно устранять возникшее ОЗЗ путем отключения поврежденного участка сети.

В ходе исследования были выявлены неселективные срабатывания защиты от однофазных замыканий на землю, при кратковременных однофазных замыканиях (КрОЗЗ), так называемых «клевках земли». Одинокные КрОЗЗ, сопровождающиеся значительными по продолжительности бестоковыми паузами, не представляют большую опасность для электрической сети, но цепочка из постоянно появляющихся и исчезающих ОЗЗ предшествует появлению большинства устойчивых и дуговых замыканий на землю.

На рис. 1 представлена осциллограмма действующего значения тока нулевой последовательности.

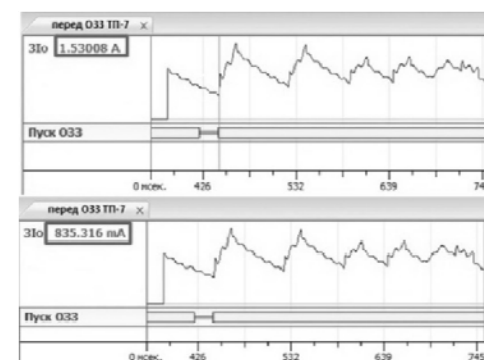


Рис. 1. Осциллограмма действующего значения тока нулевой последовательности поврежденной линии в режиме КрОЗЗ (несрабатывание защиты)

В ходе анализа было установлено, что повреждение носит характер кратковременного однофазного замыкания на землю, при превышении порогового значения уставки тока нулевой последовательности, значение которой составляет 1 А, происходит срабатывание алгоритма защиты от ОЗЗ, но вследствие того что сигнал носит прерывающийся характер, т.е. действующее значение то превышает уставку на срабатывание, то находится ниже зоны срабатывания, алгоритм защиты не способен селективно выявить и отключить данное повреждение. Спустя 11,53с защита от ОЗЗ срабатывает, т.к. сигнал на отключение превышает пороговое значение времени (рис. 2).

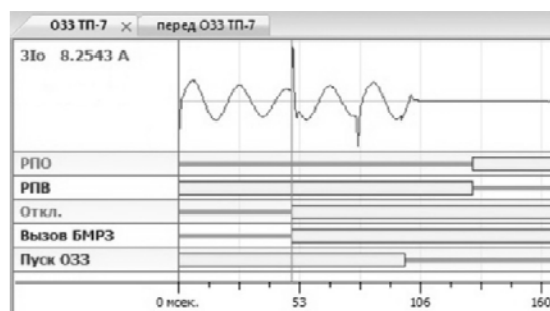


**Рис. 2. Осциллограмма действующего значения тока нулевой последовательности поврежденной линии в режиме КрОЗЗ (срабатывание защиты)**

В результате анализа работы существующих исполнений защит от однофазных замыканий на землю была выявлена их неспособность распознавать опасные и неопасные для сети КрОЗЗ, а также выявлена проблема выбора наиболее эффективного способа действия защиты (сигнал или отключение) [2]. В этой связи необходимо разработать алгоритм действия защиты, позволяющий фиксировать появления КрОЗЗ, сигнализировать о наличии неопасных КрОЗЗ и отключать опасные КрОЗЗ, а также селективно отключать металлические, дуговые и возникающие через переходное сопротивление замыкания с целью обеспечения эффективности функционирования защиты систем электроснабжения предприятий минерально-сырьевого комплекса.

#### Список литературы

1. Поликарпов Е.А. О совершенствовании токовой защиты от ОЗЗ в сетях 20 кВ. Промышленная энергетика. М.: Изд. «Научно-техническая фирма «Энергопрогресс», 2016, С 31.

2. Карташев А.С., Рукавицын А.А., Кучерявенков А.А. Задача поиска ОЗЗ в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью. Автоматизация и ИТ в энергетике. М.: Изд. «Издательский дом «ИД АВИТ-ТЭК», 2016, С 40.

## ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ И ПАРАМЕТРОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ ОСУШЕННОЙ ЧАСТИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА СИБАЙСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ\*

**Цупкина М.В.**

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

В настоящее время нет четких рекомендаций для оценки техногенных объектов, поэтому хвостохранилища обогатительных фабрик по классификации [1] относят к техногенным россыпям, применяя временные рекомендации [2]. По сложности геологического строения хвосты принадлежат ко второй группе, характеризующейся практически изометричной формой, неравномерным распределением и изменчивой мощностью. Эти особенности потребовали индивидуального подхода к проведению оценочных работ на осушенной части хвостохранилища Сибайской обогатительной фабрики.

Известно, что в процессе выбуривания керна из рыхлого массива хвостохранилища происходит перемешивание материала и выход керна составляет менее 60 %, что свидетельствует о низкой информативности бурового способа и подтверждает необходимость нестандартного решения при проведении ГРП [3].

В 2018 году на осушенной части старогоднего хвостохранилища Сибайской обогатительной фабрики проведены оценочные работы в соответствии с оригинальной методикой, в ходе которых выполнены исследования современного состояния, состава, строения и структуры техногенного массива. Результаты исследований позволили обосновать возможный вариант дальнейшей разработки техногенного объекта.

Методика геологической разведки осушенной части хвостохранилища предусматривала два этапа:

\* Исследования выполняются в рамках ПП РАН № 39 (раздел 2)

1. Предварительную оценку, предусматривающую проходку шурфов для определения целесообразности извлечения цветных и благородных металлов из хвостов.

2. Детальную разведку осушенных участков путем бурения разведочных скважин.

Проходка шурфов осуществлялась по разведочной сети, обоснованной геологическими особенностями объекта, и сопровождалась поинтервальным отбором проб для химических, физических и петрографо-минералогических испытаний [4].

Для прослеживания зон с высокими концентрациями металлов и блокировки запасов проектом ГРП было предусмотрено бурение скважин по дополнительным разведочным линиям (Рис. 1). Глубина каждой скважины составила около 20 м, что обусловлено предполагаемой мощностью массива хвостохранилища.

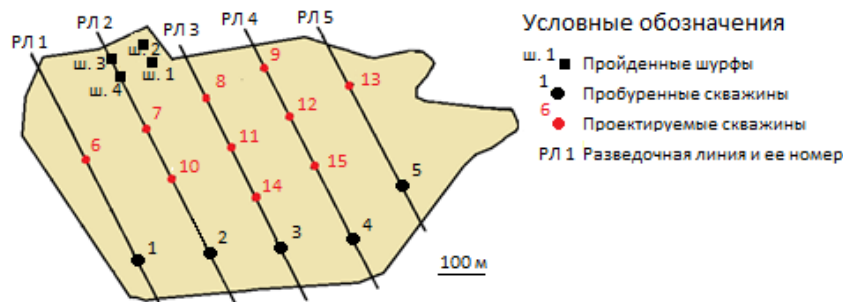


**Рис. 1. План хвостохранилища с выполненными разведочными горными выработками и скважинами (первый этап) и предполагаемыми разведочными скважинами (второй этап)**

Выполненные исследования позволили установить закономерности структуры массива, распределения главных и вторичных компонентов, рН и влажности по его глубине и площади.

Результаты ГРП способствуют наработке опыта оценки подобных объектов для определения энергоэффективных технологий отработки и формирования техногенных образований в целях обеспечения перерабатывающих производств минеральным сырьем заданного качества.

#### Список литературы

1. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Россыпные месторождения. МПР РФ. – 2007.

2. Оленин В.В., Ершов Л.Б., Белякова И.В., Николаева Е.В. и др. Временные отраслевые методические рекомендации по оценке техногенных

ресурсов предприятий цветной металлургии. М: Министерство металлургии СССР. – 1990.

3.Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Энергоэффективные и безопасные технологии разведки и разработки техногенных образований, принципы проектирования технологических схем // Горная промышленность. № 3 (139). М: Научно-производственная компания «Гемос Лимитед». – 2018. – С. 86.

4. Цупкина М.В. Методика исследования техногенных объектов с целью определения технологических решений по их вовлечению в промышленную эксплуатацию на примере Сибайского хвостохранилища // Материалы XVII Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов. Санкт-Петербург: СПбГУ. – 2019. – С. 83.

### ПРИМЕНЕНИЕ ФОТО- И ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СТАНЦИЙ ЭЛЕКТРОПРОГРЕВА НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

Бельский А.А., Добуш В.С., Старшая В.В.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

При добыче нефти серьезной проблемой, вызывающей осложнения в работе скважин, является образование парафиновых отложений (ПО) на стенках насосно-компрессорных труб (НКТ). Формирование ПО приводит к снижению пропускного диаметра НКТ, увеличению гидравлического сопротивления, снижению эффективности работы насосных установок и уменьшению дебита нефтяной скважины.

Одним из эффективных способов борьбы с ПО в НКТ являются тепловые методы воздействия на ствол скважины, основанные на способности ПО не образовывать твердой фазы или плавиться при температурах, превышающих температуру кристаллизации [1].

Решением задачи эффективного теплового воздействия на ствол скважины может стать использование стационарной станции электропрогрева скважины (СЭПС). Прогрев осуществляется с помощью греющего кабеля, размещаемого непосредственно во внутреннем пространстве НКТ в нефтяной скважине, что позволяет осуществлять прогрев любых типов скважин на необходимую глубину.

Большинство современных месторождений нефти в России расположены в местах, удаленных от централизованной системы электроснабжения. В качестве альтернативы постройки новых и реконструкции существующих электрических сетей (для подключения новых потребителей — СЭПС) может выступать применение автономных энергокомплексов на базе фото- (ФЭУ) и ветроэлектрических (ВЭУ) установок (см. рис. 1).

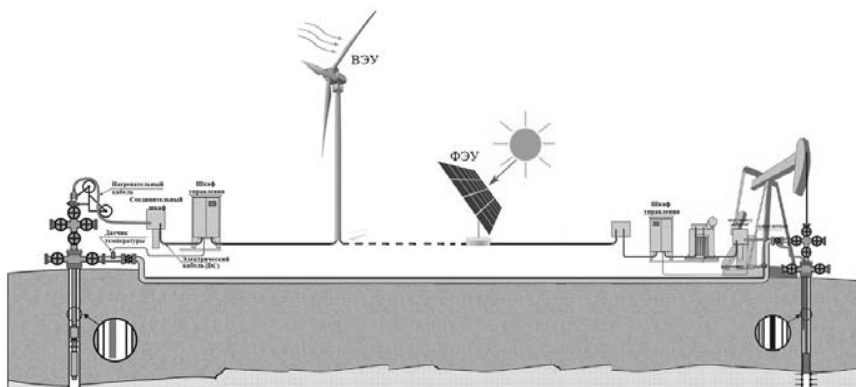


**Рис. 1. СЭПС с электропитанием от ВЭУ и/или ФЭУ**

Целью данной работы является оценка возможности применения автономных энергокомплексов на базе фото- и ветроэлектрических установок для электроснабжения станций электропрогрева нефтяных скважин, на примере нефтяного месторождения «Великое» расположенного в Харабалинском районе Астраханской области (см. табл. 1).

**Таблица 1 – Параметры нефтяной скважины**

|                                             |         |    |       |     |
|---------------------------------------------|---------|----|-------|-----|
| Длина скважины, м                           | 2700    |    |       |     |
| Угол наклона скважины, гр.                  | 9°      |    |       |     |
| Концентрация парафинов, %                   | 4 или 8 |    |       |     |
| Дебит скважины, т/сут.                      | 25      | 50 | 75    | 100 |
| Внутренний диаметр НКТ, м                   | 0,0503  |    | 0,620 |     |
| Обводненность добываемой продукции, %       | 10      |    |       |     |
| Плотность добываемой продукции, кг/м³       | 840     |    |       |     |
| Удельная теплоемкость продукции, Дж/(кг·°C) | 2300    |    |       |     |
| Газовый фактор, м³/м³                       | 29,2    |    |       |     |
| Температура пласта, °C                      | 75      |    |       |     |
| Пластовое давление, МПа                     | 25      |    |       |     |
| Температура нейтрального слоя земли, °C     | 11      |    |       |     |
| Глубина нейтрального слоя земли, м          | 30      |    |       |     |

В состав комплекса входит: либо ВЭУ с трёхфазным генератором на постоянных магнитах и неуправляемым выпрямителем, либо ФЭУ, DC/DC-преобразователь с MPPT-алгоритмом управления, соединительные кабели переменного и постоянного тока, греющий кабель постоянного тока. Вся выработанная электроэнергия ВЭУ и/или ФЭУ расходуется в греющем кабеле. Нагрев скважины зависит от текущих ветровых

условий и уровня солнечной инсоляции, таким образом, происходит ее периодический прогрев. Данный режим является допустимым, и так же применяется при подключении СЭПС от централизованного электро-снабжения.

Тепловые расчеты выполнены с учетом:

- методики «ВНИИнефть» для определения температуры насыщения нефти парафином [1];
- методики расчета коэффициента теплопередачи в скважине [3];
- методики К.Х. Шотиди с модификацией С.М. Купцова для получения распределения температуры нефти на участке ствола скважины [4].

Среднегодовая скорость ветра для Астраханской области на высоте 50 м для открытой местности согласно Ветрового атласа России составляет 5,5 м/с (минимальный коэффициент использования установленной мощности ВЭУ равен 19,5% [4]), в качестве данных по солнечной инсоляции использовались многолетние данные НАСА (угол расположения фотоэлектрических панелей выбран равным 60°). Результаты расчета сведены в таблицу 2.

**Таблица 2 – Результаты расчета установленной мощности ВЭУ и ФЭУ**

|                                                                    |                  |                 |                 |                 |
|--------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Дебит скважины, т/сут.                                             | 25               | 50              | 75              | 100             |
| Коэффициента теплопередачи, Вт/(м²·°C)                             | 8,9              | 12,9            | 14,7            | 17,9            |
| Температура нефти у устья скважины, °C                             | 20,22            | 23,6            | 24,68           | 25,8            |
| Температура насыщения нефти парафином*, °C                         | 31,92<br>(42,18) |                 |                 |                 |
| Длина прогреваемого участка скважины*, м                           | 450<br>(900)     | 350<br>(750)    | 300<br>(700)    | 250<br>(650)    |
| Количество энергии в час для предотвращения образования ПО*, кВт·ч | 8,32<br>(34,70)  | 5,82<br>(27,49) | 6,33<br>(33,88) | 4,94<br>(29,68) |
| Установленная мощность ВЭУ*, кВт                                   | 43<br>(178)      | 30<br>(141)     | 33<br>(174)     | 26<br>(153)     |
| Установленная мощность ФЭУ*, кВт                                   | 38<br>(159)      | 27<br>(126)     | 29<br>(155)     | 23<br>(136)     |

Примечание: \* — значения указанные без ( ) рассчитаны для концентрации парафинов в добываемой продукции равной 4%, в ( ) для 8%.

Таким образом в ходе проведенного исследования показана возможность применение автономных энергокомплексов на базе ВЭУ и ФЭУ для электроснабжения станций электропрогрева нефтяных скважин с использованием греющего кабеля. Установлено, что концентрация парафинов в добываемой нефти значительно влияет на требуемую установленную мощность энергоисточников.

*Данное исследование было профинансировано РФФИ в соответствии с исследовательским проектом №18-38-00530.*

### Список литературы

1. Глушенко В.Н., Силин В.Н. Предупреждение и устранение асфальтено-смолопарафиновых отложений. Нефтепромысловая химия. М.: Интерконтракт Наука, 2009. 475 с.
2. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти: Учебное пособие для вузов. М.: ФРУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. Н.М. Губкина, 2003. 816 с.
3. Кушчо С.М. Теплофизические свойства пластовых жидкостей и горных пород нефтяных месторождений. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2008. 205 с.
4. Belsky A.A., Dobush V.S., Morenov V.A., Sandyga M.S. The use of a wind-driven power unit for supplying the heating cable assembly of an oil well, complicated by the formation of asphalt-resin-paraffin deposits. Journal of Physics: Conf. Series, 2018. Vol. 1111, 012052, pp. 1–7.

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА\*

Князькин Е.А.

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

По статистике Росстат на 2018 г. потребление электроэнергии в Российской Федерации на долю промышленности составило 52,3% [1], в том числе 13% на добычу полезных ископаемых. Что говорит о необходимости проведения мероприятий по внедрению нетрадиционных источников энергии, способствующих повышению энергоэффективности предприятий. Одним из таких источников является преобразованная энергия потоков шахтных вод в подземном руднике, которые вертикально перемещаются под действием силы тяжести на десятки метров [2].

\* Исследования выполняются в рамках темы ИПКОН РАН 0138-2014-0001.

Сотрудниками ИПКОН РАН была разработана и испытана установка, преобразующая энергию гидротоков в электрическую. В результате экспериментов было установлено, что шахтные потоки обладают огромной потенциальной энергией и существующая система водоотлива не соответствует условиям получения и преобразования энергии шахтных потоков в электрическую. Из этого следует, что нужно разрабатывать систему водоотлива на стадии проектирования, исходя из условий применения генераторных систем [3]. Также в ходе исследований выявлено, что применение серийных типов гидротурбинных установок невозможно ввиду агрессивности состава гидросмеси, а также значительного перепада высот водяного столба (до 300 м). Подобные условия эксплуатации требуют значительных доработок рабочего колеса стандартной гидротурбинной установки, в том числе:

- изменение крыльчатки под условия жидкости с большей плотностью;
- применение износостойких, коррозионностойких покрытий;
- использование устойчивых к большому напору материалов и т.д.

Для определения конструктивных особенностей гидротурбинной установки в условиях лаборатории ЭКОН ИПКОН РАН создана ее виртуальная 3D модель, которая на данный момент проходит тестирование в условиях потоковой симуляции Solidworks Flow Simulation (рис.1).

Данный этап исследований позволяет:

- установить закономерности взаимного расположения горных выработок и переточных скважин, позволяющих эффективно управлять рудничными гидротоками для преобразования их энергии в электрическую;
- оценить энергетические характеристики внутрирудничных источников возобновляемой энергии;

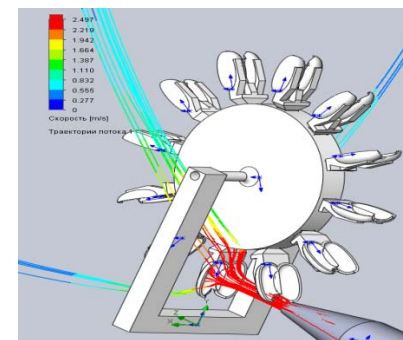


Рис. 1. 3D модель экспериментальной установки в условиях потоковой симуляции

– создать лабораторный стенд, включающий макет установки в масштабе 1:10 для определения оптимального типа гидротурбинной установки, способный работать в условиях значительных высот, перепускаемых гидротоков – 100 м и более.

В горной промышленности имеются реальные условия для производства электрической энергии – подземные рудники имеют разветвленную сеть вертикальных, наклонных и горизонтальных горных выработок, перепускных скважин, обеспечивающих движение водоотливных потоков шахтной воды самотёчно на сотни и тысячи метров. В природе аналогичных условий не существует, поэтому задачей горного инжиниринга является обоснование параметров подземных рудников с позиции генерации электроэнергии от гидротоков.

### Список литературы

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. Дата обновления: 26.06.2019. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/industrial](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/industrial) (дата обращения: 26.06.2019)
2. Radchenko D.N., Bondarenko A.A. Mining engineering system as an energy asset in industry 4 / Radchenko D.N., Bondarenko A.A. // E3S Web of Conferences, Rudenko International Conference «Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems»; Irkutsk; Russian Federation. – 2018 – № 58 – № 1009.
3. Князькин Е.А. Обоснование структуры горнотехнической системы с возможностью преобразования потенциальной энергии переточных шахтных вод рудника в электрическую // Материалы X Международной конференции «Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу», Магнитогорск. – 2019. С. 282-287.

## СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОГЕННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ОБОСНОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ЕГО РАЗРАБОТКИ\*

Радченко Д.Н., Залевская К.Н.

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

Проблема внедрения и активного использования различных программных средств и информационных систем как инструмента для решения большого комплекса геологоразведочных задач является

---

\*. Исследования выполняются при поддержке Программы Президиума РАН №39, Раздел 2.

весьма актуальной. Постановка задачи применения таких систем в условиях оценки техногенных массивов (месторождений) является достаточно новой, ввиду отнесения такого сырья к нетрадиционным видам. Одним из наиболее распространенным программным комплексом, позволяющим автоматизировать и значительно упростить обработку данных геологической разведки, является ГГИС Micromine. В ИПКОН РАН предложено использовать цифровые модели, созданные на ее основе, для обоснования параметров технологий разработки техногенных объектов – хранилищ отходов переработки руд цветных и благородных металлов.

С помощью Micromine было выполнено моделирование техногенного месторождения золото-мышьяковистых руд (Ю.Урал). Ново-Троицкое хвостохранилище находится в черте г.Пласт в непосредственной близости от жилых домов. Массив занимает площадь, около 1,5 км<sup>2</sup>, а мощность складированных в нем хвостов достигает 26 м. В плане техногенный объект представлен линейной формой, вытянут в западном и юго-западном направлении. Судя по имеющимся данным, полученным из отчетов Росгеолфонда, отходы Ново-Троицкой обогатительной фабрики складировались на этом участке с начала ее эксплуатации – 1878 г. Складирование завершено в 70-х годах 20 века.

Геолого-оценочные работы на хвостохранилище были начаты в июле 2018 г.. В соответствии с методикой исследований в этот период по сети 100х100 м было пробурено 4 пилотные вертикальные скважины в разных частях техногенного объекта. Для обеспечения возможности получения достоверной геологической информации, которую можно использовать для построения моделей в Micromine, был разработан и запатентован способ геологического изучения хвостохранилищ [1]. Результаты точечного опробования массива показали, что на некоторых глубинах содержание Au достигает 1%. Ввиду доказанной высокой перспективности разработки такого объекта принято решение о его более детальной разведке. Основной объем скважин пройден в начале 2019 г. Всего в ходе экспедиций пробурено 14 скважин по сформированной сети, общим метражом более 300 п.м.

Процесс построения каркасной модели хвостохранилища включал следующие этапы:

- А. Отрисовка контура отвала верхней и нижней бровки уступа по данным с космоснимка и оцифровка рельефа хвостохранилища в программе QGIS.

- В. Перевод в ArcGIS координат XYZ устья скважин из системы WGS-84 в систему координат Пулково-42 с указанием номера зоны 11.
- С. Импорт в Micromine файла устья скважин и результатов опробования. Создание базы данных по скважинам и проверка на наличие несоответствия.
- Д. Импорт карты хвостохранилища с проектными скважинами и ее привязка по координатам.
- Е. Отображение траекторий скважин и штриховки по содержаниям. Бортовое содержание золота 0,5 г/т. Выделение рудных интервалов.
- Ф. Отрисовка подошвы хвостохранилища по забою скважин.
- Г. Построение рельефа топоповерхности хвостохранилища по N кол-ву точек.
- Н. Создание каркасной модели пространственных объемов отвала, ограниченной ЦМП и ее проверка на ошибки в построении.
- И. Вычисление координат вдоль скважин и присвоение их отстроенному каркасу.

Завершающий этап создания модели техногенного месторождения является блочное моделирование. Этот процесс включает создание пустой БМ, ограниченной каркасом и интерполяция значений содержания золота по установленному закону распределения.

В качестве метода субблокирования при создании пустой блочной модели применяются «субблоки» размером 5х5х5. После того, как блок-модель создана, в нее интерполируются содержания по данным опробования скважин. При создании блочной модели использовался метод пространственной интерполяции обратных расстояний IDW. Радиус эллипсоида составил 25 м. Далее по данным БМ составляется отчет по содержаниям об объемах и запасах Au. С использованием геоинформационной системы Micromine в качестве инструмента для решения спектра задач по моделированию техногенного месторождения, установлению закономерностей строения массива и выбора технологии его разработки.

### Список литературы

Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Федотенко В.С., Струков К.И., Залевская К.Н. Способ геологического исследования хвостохранилищ и устройство для его реализации. Заявка №2018141707. Дата подачи 27.11.2018 г.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРНОТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА\*

**Бондаренко А.А.**

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

На рубеже четвертой промышленной революции доля потребления энергоресурсов горными предприятиями постоянно растет, где транспорт является одним из важнейших секторов, который вносит значительный вклад в выбросы парниковых газов (ПГ) и, следовательно, увеличиваются местные и глобальные проблемы, связанные с изменением климата, так как он на 95% зависит от выхлопных газов топлива. Известно, что транспортный сектор потребляет 61,2% мировых запасов нефти, субсидируя 28% от общего количества энергопотребления [1] и 23% приходится на выбросы CO<sub>2</sub> в мире [2-4]. Для поддержки производительной мощности предприятий посредством горных машин и увеличения эффективности их работы, в условиях одновременного уменьшения выбросы CO<sub>2</sub> и улучшения качества воздуха, потребуются интегрированные решения для более разумного ведения погрузо-доставочных горных работ, которые охватывают целый ряд более умных транспортных средств и видов топлива.

По этой причине, актуальность внедрения горных машин на базе электрического привода направлена на решение таких проблем как, высокая загазованность и негативное влияние на окружающую среду и горнорабочих, высокие инвестиционные затраты на топливные ресурсы для обеспечения горного дизельного оборудования и уменьшение энергопотребления системой вентиляции, за счет изменения факторов расхода воздуха вентиляции рудных шахт.

Данное изыскание направлено на существенное снижение затрат на проветривание горных выработок и уменьшение негативного влияния горного оборудования с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) в условиях загазованной атмосферы рудника разрабатываемых месторождений.

---

\* Исследования выполняются в рамках базового бюджетного финансирования ИПКОН РАН (№ темы: 0138-2014-0001).

**Таблица 1 – Сравнительный анализ выпускаемых выбросов  
дизельным и электрическим горным оборудованием**

| Выбросы                                                   | ДВС | Электрооборудование                                                                          |
|-----------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Влага и минеральные примеси                               | +   | –                                                                                            |
| Выхлопные газы (NO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> и т.д.) | +   | –                                                                                            |
| Количество Теплоты                                        | +   | +                                                                                            |
|                                                           |     | (Количество испускаемой теплоты приравнивается 80% от номинальной мощности электродвигателя) |
| Пыль и частицы                                            | +   | –                                                                                            |

Переход от дизельного привода к электрическому горному оборудованию обеспечит: создания более безопасных условий работы для горнорабочих; потребуются на 50% меньше затрат на вентиляции, чем при дизельном горном оборудовании; экономическую эффективность в виду низких затрат на ремонт и обслуживание; сокращение потребления энергоресурсов до 40% от общего объема потребляемой мощности рудника; минимизацию выбросов выхлопных газов дизельных двигателей и уменьшение количества испускаемого тепла в шахтную атмосферу; виде продуктов сгорания дизельного топлива; минимизацию загрязнения шахтного воздуха и снижения его температуры, за счет сокращения использования ДВС; снижение эксплуатационных топливо-энергетических затрат в 2,8 раз в связи с заменой дизельного привода электрическим – сокращение расходов на вентиляцию [1]; реализацию сокращения затрат на функционирование вентиляционной системы и снижение эксплуатационных затрат от перехода на более маломощные вентиляторы и мероприятий на охлаждение;

При этом в ходе технического перевооружения рудника возникает необходимость выбора особых параметров эксплуатации оборудования производственных мощностей и напряжения сети, в том числе аккумуляторов, батарей и суперконденсаторов для обеспечения бесперебойной работы электрического горного транспорта.

Решение вопросов повышения энергоэффективности, улучшение экологической состояния окружающей среды и ресурсосбережения особенно актуально при создании современных технологий освоения месторождений твердых полезных ископаемых, т.к. потребности крупных

горных предприятий в энергоресурсах (топливо, электричество) непрерывно возрастает. На данный момент, при разработке, многие горные предприятия не учитывают возможности энергосбережения и воспроизводства электроэнергии [6-7], получаемые за счет использования техногенных энергетических ресурсов, формируемых в ходе разработки месторождений полезных ископаемых.

Входе выполнения исследований решены следующие задачи – рассмотрены сценарии зарядки дизельных и электрических горных машин, на базе установленных параметров зарядки и закономерностей энергоспроизводства разработаны способы аккумуляции энергии. Выполнено сравнение жизненного цикла дизельного и электрического привода для обоснования параметров горнотехнической системы в условиях применения горнотранспортного электрического оборудования.

Научная проблема снижение затрат на потребление электроэнергии и энергоресурсов в целом, в горной промышленности безусловно актуальна. Поэтому, рассмотрения вопроса внедрения горного самоходного электрического оборудования является не только актуальным, но и инновационным, методом для повышения энергоэффективности и снижению отрицательно влияния на экологию.

#### Список литературы

1. Halim, A., Kerai, M. Ventilation requirement for 'electric' underground hard rock mines—a conceptual study / Halim, A., Kerai, M. // In The Australian Mine Ventilation Conference – 2013. — pp. 215–220.
2. Papar R, Szady A, Huffer WD, Martin V, McKane A. Increasing energy efficiency of mine ventilation systems / Papar R, Szady A, Huffer WD, Martin V, McKane A. // Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California. – 1999.
3. Awuah-Offei K. Energy efficiency in mining: a review with emphasis on the role of operators in loading and hauling operations / Awuah-Offei K. // J Cleaner Productions. – 2016. – № 117. – pp.89–97.
4. Ryl'nikova M.V. Strategy of energy efficiency enhancement for sustainable and environmentally balanced development of gold deposits at its final stage / Ryl'nikova M.V. // E3S Web of Conferences, Rudenko International Conference «Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems»; Irkutsk; Russian Federation. – 2018. – № 58. – № 01008.
5. Радченко Д.Н., Бондаренко А.А., Лавенков В.С. Элементы нового технологического уклада комбинированной разработки рудных месторождений на базе перехода к самоходному горному оборудованию с электрическим приводом // Материалы межд. науч.-техн. конференции: X Международная конференция «Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу». – 2019. – С.182-188.

6. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. и др. Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых // Москва: ИПКОН РАН, 2012. 206 с.

7. Radchenko D.N., Bondarenko A.A. Mining engineering system as an energy asset in industry 4.0 / Radchenko D.N., Bondarenko A.A. // E3S Web of Conferences, Rudenko International Conference «Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems»; Irkutsk; Russian Federation. – 2018. – № 58. – № 01009.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСШТАБОВ ПОДСИСТЕМЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ\***

**Рыльникова М.В., Гаджиева Л.А., Князькин Е.А.**

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

Развитие горных наук привело к созданию новых ресурсосберегающих и энергоэффективных технологий комплексного освоения природных месторождений, которые, помимо совершенствования технологии, предполагают поиск новых нетрадиционных энергетических источников и их внедрение в практику ведения горных работ. Особое место среди этих источников занимает энергия шахтной воды, круглогодично перепускаемая по межгоризонтным скважинам [1,2].

Использование потенциала такой энергии возможно, в первую очередь, при принципиально иной оценке горно-геологических, гидрогеологических и горнотехнических условий на стадии проектирования горнотехнической системы [3]. Поэтому на примере освоения Кочкарского золоторудного месторождения оценены масштабы энергосовпроизводства, как одного из перспективных путей перехода рудника на новый технологический уклад.

Установлено, что в гидрогеологическом отношении Кочкарское месторождение характеризуется трещинными водами Пластовского массива, представленного плагиогранитами с большим количеством даек метаморфизированных пород – «табашек» и жильных рудных тел. Необходимо отметить, что вблизи месторождения отсутствуют источники пополнения динамических запасов трещинных вод, таких как ре-

ки, озера, карсты. В связи с этим, повышенная водообильность наблюдается, в основном, в местах развития золоторудных и арсенопиритовых жил, где роль подводящих структур выполняют тектонические разломы и трещины, подвижки по контактам рудных тел. Поскольку питание подземных вод происходит, в основном, за счет атмосферных осадков и конденсации водяных паров воздуха, наибольший водоприток в выработки Кочкарского месторождения наблюдается во время осадков и снеготаяния (апрель-май) [4].

В 2018 году сотрудниками ИПКОН РАН были произведены измерения объема и напора шахтной воды в перепускных скважинах рудников ш. «Центральная» и ш. «Восточная». Результаты указали на значительный потенциал энергии перепускаемых гидропотоков – до 30 дм<sup>3</sup>/с из каждой скважины.

Ввиду этого, на базе исследуемых ранее перспективных конструктивных и технологических решений по использованию энергии движущихся потоков гидросмесей разработана и испытана гидроустановка. Анализ результатов испытаний показал отрицательную рентабельность на данном этапе процесса генерации энергии от потоков гидросмеси из-за сложности системы сбора гидропотоков, обусловленной разбросанностью по месторождению выработок. Поэтому существующая на шахте система водоотлива не удовлетворяет требованиям технологии сбора и производства электроэнергии. Проведенные испытания позволили рекомендовать для повышения энергоэффективности горнотехнических систем изменение требований к их проектированию в части расположения и уклона горных выработок.

В условиях дискретности и крайней неравномерности водопритока Кочкарского рудного поля в горные выработки появляется необходимость создания принципиально новой системы водоотлива с возможностью аккумулирования энергии и организованной подачи ее потребителю по мере спроса.

### **Список литературы**

1. Radchenko D.N., Bondarenko A.A. Mining engineering system as an energy asset in industry 4 / Radchenko D.N., Bondarenko A.A. // E3S Web of Conferences, Rudenko International Conference «Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems»; Irkutsk; Russian Federation. – 2018 – № 58 – № 1009.

2. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Гаджиева Л.А. Исследование исходных гидрогеологических условий освоения рудных месторождений в свете перспектив преобразования энергии шахтных гидропотоков в электрическую // Материалы Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 100-летию РГГРУ им. С. Орджоникидзе «Новое в геологическом изучении недр», М.: РГГРУ, 2018, с. 111-113.

\* Исследования выполняются в рамках темы ИПКОН РАН 0138-2014-0001.

3. Рыльникова М.В., Галченко Ю.П. Возобновляемые источники энергии при комплексном освоении недр. М.: ИПКОН РАН, 2015. 122 с.

4. Костарев В.П. Отчет о результатах геологосъемочных работ на площади планшетов N-41-50-A, N-41-50-B и N-41-50-Г (западная половина) проведенных геологосъемочным отрядом в Пластовском, Чебаркульском и Уйском районах Челябинской области в 1967-1972 гг. Челябинск, т. 1-7, 1972.

## **АНАЛИЗ УСЛОВИЙ И РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В РУДАХ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОДАХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Федотенко В.С., Митишова Н.А.**

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

При разработке месторождений колчеданных руд, представленных серно-колчеданными, медно-колчеданными, медно-цинковыми и полиметаллическими разностями, существует опасность интенсивного окисления и самовозгорания руд с последующим проявлением негативных последствий в виде эндогенного пожара. Естественный процесс окисления природных сульфидов кислородом воздуха неизбежно начинается после вскрытия колчеданного месторождения выработками и прогрессирует по мере увеличения доступа кислорода воздуха.

Изучение причин и факторов развития процессов, способов предотвращения самовозгорания колчеданных руд явились предметом настоящих исследований.

Основным документом на сегодняшний день, регламентирующим обеспечение пожаробезопасности при разработке медно-колчеданных руд, является «Инструкция по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров на горно-рудных предприятиях министерства цветной металлургии СССР» [1]. Согласно этой инструкции, эндогенные пожары на подземных рудниках возникают преимущественно в выработанном пространстве при системах разработки:

а) с обрушением руды и вмещающих пород – районы погашенных восстающих и рудоспусков, а также обрушенное пространство;

б) с сухой закладкой выработанного пространства – районы погашенных незаложенных восстающих и рудоспусков, а также участков с незаложенными пустотами, имеющих сообщение с действующими горными выработками или с поверхностью;

в) с магазинированием руды.

Особенно опасно возникновение эндогенных пожаров с последующим выделением газообразных продуктов и распространением зоны горения в недоступных для непосредственных наблюдений и ликвидации участках рудных тел. Это представляет потенциальную опасность для горнорабочих и влечет за собой тяжелый материальный ущерб для предприятия.

Обобщение современного состояния проблемы предотвращения развития окислительных процессов на колчеданных месторождениях позволяет сделать вывод о том, что главными факторами, характеризующими эндогенную пожароопасность колчеданных месторождений, являются [1, 2]:

- наличие окисляющих компонентов в сульфидных рудах и вмещающих породах, представленных сульфидными минералами: пирит, марказит, пирротин, халькопирит, ковеллин, сфалерит и др.;
- наличие в выработанном пространстве раздробленного колчедана, в виде рудной и породной мелочи, пыли в условиях, благоприятных для их окисления (склонность серных, серно-медистых и других колчеданов к окислению с выделением тепла, интенсивность процесса возрастает по мере повышения содержания серы в руде);
- наличие в выработках крепежного леса в контакте с колчеданной пылью и мелочью;
- повышенная кислотность (рН) рудничных вод (вследствие присутствия в них свободной серной кислоты);
- повышенный температурный режим окружающей среды и рудной залежи;
- склонность руд к развитию процессов окисления;
- наличие тектонической нарушенности массива;
- повышенная обводненность участка месторождения.

Учитывая горно-геологические, технологические и природные факторы, способствующие формированию такого неконтролируемого явления, как эндогенные пожары, можно утверждать, что для каждого участка месторождения характерно определенное сочетание факторов, которые могут стать причиной возникновения пожара на конкретном руднике.

Вышеперечисленные факторы могут стать причиной нарушения функционирования горнотехнической системы, особенно при переходе с открытой разработки на подземную.

Анализ современного опыта ведения горных работ, а также принимаемых проектных решений по выемке запасов при разработке колчеданных руд позволяет сделать следующие выводы:

1. В ходе разработки и реализации проектных решений при эксплуатации таких месторождений не в полной мере производится количественная оценка параметров процесса переноса тепла от окисляемых пород, а также недостаточное внимание уделяется обоснованию граничных условий, при которых темп накопления тепла превосходит темп его отвода при возникновении аэродинамических связей между подземными горными выработками и карьером, что является одним из определяющих факторов, обуславливающих интенсификацию окислительных процессов.

2. Отсутствие в проектных решениях разработанной системы мониторинга параметров деформационных процессов в бортах карьера, процессов саморазогрева обрушенных и оставленных в массиве колчеданных руд, объема и качества подаваемого в шахту воздуха и отводимых газов не позволяет:

- своевременно зафиксировать накопление напряжений в массиве, слагающем борта карьера, которые приводят к смещениям и раскрытию системы трещин с активизацией аэродинамических связей между подземными горными выработками и пространством карьера, что в значительной мере определяет интенсификацию окислительных процессов в сульфидных рудах;
- определить критическую температуру саморазогрева массива, приводящую к динамическому неконтролируемому развитию окислительных процессов в техногенно нарушенных массивах сульфидных руд;
- предотвратить развитие окисления руд, приведших к вторичному минералообразованию, спеканию минеральных агрегатов с формированием вторичных окисленных минеральных форм, что изменяет технологические свойства руд и отрицательно влияет на показатели процессов обогащения руд методами флотации.

3. Спекание и вторичное минералообразование в рудах в процессах их окисления вызывает технические и технологические сложности по организации извлечения из массива накопленных обрушенных сульфидных руд, а низкое содержание в них ценных компонентов и вторичные изменения минерального состава обуславливают низкий уровень экономической эффективности и низкие показатели извлечения ценных компонентов из руд при переработке их методами флотации.

Таким образом, необходимо своевременно и комплексно проводить оценку факторов опасности, учитывая перспективу перехода от открытой разработки к подземной.

## Список литературы

1. Инструкция по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров на горнорудных предприятиях министерства цветной металлургии СССР. – 1981. – 44 с.
2. Скоринский А.А. Рудничные пожары /А.А. Скоринский, В.М. Огиевский. – М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011 (перераб. и дополнено). – 375.

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ВКЛЮЧАЮЩЕЙ ПОДЗЕМНЫЕ КОМПЛЕКСЫ СЕПАРАЦИИ РУД И ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА\*

Лавенков В.С.

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

Одной из наиболее перспективных технологий вовлечения в разработку бедного минерального сырья является внутрирудничная покусковая сепарация. Широко апробированная для условий переработки забалансовых руд при открытой добыче (Гайский, Учалинский ГОКи), данная технология не получила развития на подземных рудниках, ввиду необходимости узкой классификации по крупности сырья, требовании создания сложной системы бункеров, нескольких стадий дробления и грохочения. Для существующих условий подземной разработки эксплуатируемые в настоящий момент комплексы сепарации имеют низкую производительность и фактически требуют подъема на поверхность как концентрата сепарации, так и большей части отходов. Для решения этой проблемы предложена комбинированная геотехнология подземной разработки бедных многокомпонентных руд, предполагающая сочетание подземных высокоскоростных ленточных станций покусковой сепарации с подземными передвижными закладочными комплексами модульного типа (ПЗК МТ) [1; 2]. Такие комплексы, позволяющие производить твердеющие закладочные смеси в подземных условиях, являются ключевым звеном, определяющим эффективность утилизации отходов внутрирудничной сепарации без их подъема на поверхность.

---

\* Исследования выполняются при поддержке РФФИ (грант 18-05-00114)

Учитывая, что передвижные закладочные комплексы и комплексы подземной покусковой сепарации все ещё не получили достаточное распространение на рудниках, использование существующих специализированных систем горного проектирования, имитирующих работу рудника, не представляется возможным. Для анализа функционирования такой горнотехнической системы в среде AnyLogic [3] была разработана имитационная модель. Принимая во внимание, что элементы реальной горнотехнической системы постоянно перемещаются в пространстве, например, передвижные закладочные комплексы постоянно перемещаются вслед за фронтом ведения закладочных работ, наиболее оптимальным методом моделирования такой системы является агентное моделирование, – оно позволяет описывать поведение всех элементов системы – закладочных комплексов, станций сепарации, ПДМ, автосамосвалов и т.д. на индивидуальном уровне, а общее их взаимодействие позволяет моделировать работу всей системы в целом.

Поведение агентов модели описывается как с помощью визуального программирования – диаграмм состояния, пример одной из которых представлен на рис. 1, так и с помощью компьютерного кода, написанного на языке Java. В общей сложности модель сформирована 23 агентами, общее взаимодействие которых формирует работу модели в целом. Целью работы было создание такой имитационной модели, которая позволяла бы оценить основные показатели эффективности – производственная мощность и эффективность утилизации отходов горнотехнической системы, включающий новые элементы – комплексы сепарации и закладки, опыт совместной эксплуатации которых отсутствует.

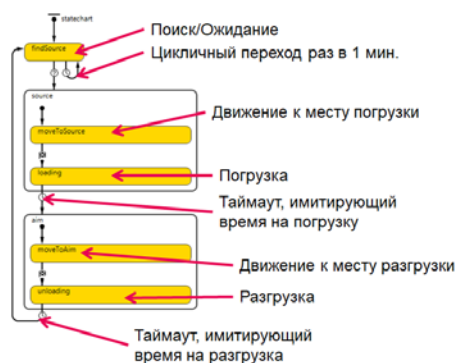


Рис. 1. Диаграмма состояний, описывающая состояния погрузо-доставочной и горнотранспортной техники

Такой подход к моделированию горнотехнической системы – моделирование снизу-вверх – сначала структурные элементы, а затем их общая взаимосвязь, позволил оценить динамику формирования рудничных потоков. Так, например удалось установить, что неравномерность продвижения фронта закладочных работ, его отставание либо напротив слишком быстрое продвижение за фронтом очистных работ негативно сказывается на эффективности внутрирудничной утилизации отходов. Также было установлено, что совместная эксплуатация нескольких малопроизводительных закладочных комплексов модульного типа по сравнению с высокопроизводительным комплексом на поверхности не приводит к снижению показателей эффективности работы горнотехнической системы в целом. Также установлено, что число работающих одновременно закладочных комплексов не влияет на эффективность внутрирудничной утилизации отходов сепарации.

В целом можно заключить, что применение комбинированной геотехнологии подземной добычи руд, основанной на использовании подземных станций предконцентрации и подземных передвижных закладочных комплексов является перспективным направлением, позволяющим расширить минерально-сырьевую базу за счет включения бедного сырья, а также сократить негативное воздействие горного предприятия на окружающую среду за счет своевременной утилизации отходов внутрируднично в составе закладочной смеси.

#### Список литературы

1. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Лавенков В.С. Обоснование условий применения передвижных закладочных комплексов при разработке месторождения «Озерное» // Горный Информационно-Аналитический Бюллетень (Научно-технический журнал). – 2013. – № 27. – С. 39–44.
2. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. и др. Передвижные закладочные комплексы в системах разработки рудных месторождений с закладкой выработанных пространств // Горный журнал. – 2013. – № 2. – С. 101–104.
3. AnyLogic: имитационное моделирование для бизнеса [Электронный ресурс]. URL: <https://www.anylogic.ru/> (дата обращения: 13.05.2018).

#### ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КОМПОНЕНТОВ НА ПОВЕДЕНИЕ СМЕСЕВЫХ СИСТЕМ ПРИ ВЗРЫВЕ

Старшинов А.В.

Группа компаний «Нитро Технологии» и «Монмаг», Монголия

Применяемые в промышленности смесевые системы в качестве взрывчатых веществ (ВВ) практически во всех случаях являются смесями, начиная от присутствия изомеров или таутомерных форм в индиви-

дуальных веществах, которые, что хорошо известно, оказывают влияние на поведение таких систем при взрыве. Естественно, что при компоновке ВВ из химических соединений различной природы и в различном агрегатном состоянии роль структурных особенностей каждого из компонентов и самой смеси так же оказывает влияние на детонационную способность и взрывную эффективность. При этом необходимо отметить, что влияние химической природы веществ и их структурных особенностей, названных выше, экранируется более крупномасштабными особенностями физико-механической структуры.

Наиболее представительные результаты по влиянию химической природы компонентов получены при экспериментальном изучении взрывных процессов в газовых смесях и жидких ВВ в виде истинных растворов. Например, установлено, что в газовых смесях более способными к взрыву в ударных трубах являются системы, в которых горючий компонент (газ, пар) является соединением с кратными связями в углеродной цепи. Объяснение этому связывается с разрушением под действием ударного импульса кратной связи, для которой не характерна возможность изменения структуры молекулы по вращательной степени свободы. Разрушение кратной связи приводит к образованию радикалов и дальнейшему развитию взрыва из зоны инициирования по цепному механизму.

Подобные результаты были получены в наших экспериментах по изучению детонационной способности нитросоединений (НС) и смесей на их основе в жидком состоянии. В частности, было получено «сильное» влияние на детонационную таких систем аминов и соединений с кратными связями, которое объяснено образованием таутомерной аци-формы НС. Не нашедшим корректного обоснования оставался зафиксированный факт изменения критического диаметра детонации ( $d_k$ ) нитрометана (НМ) от 18 до 13 мм при выдержке после очистки дистилляцией над «осушающим» агентом. Детальный анализ литературы по химии НС показал, что в реальных условиях эти вещества всегда содержат аци-форму, образование которой в «чистом» веществе происходит с задержкой во времени, а концентрация её достигает  $10^{-7}$  по отношению к самому веществу. При введении в НМ добавок с различной кислотностью (кислоты, щелочи, амины, вода и др.) равновесие между таутомерными формами смещается в сторону увеличения содержания аци-формы. Но для этой структурной формы нитросоединений характерно наличие кратную (двойной) связи между атомами азота и углерода.

В смесях, представляющих наибольшую значимость для применения в горной промышленности, на основе аммиачной селитры (АС) можно выделить результаты по детонационной способности смесей со-

держащих в качестве горючих добавок (ГД) соединения с кратными связями и/или с ароматическими циклами. В работах многих авторов выделяется аномально высокая детонационная способность смесей с добавками полистирола. В наших работах такие результаты получены при использовании в качестве ГД бензола и толуола. Интересными представляются результаты, которые требуют детальной экспериментальной проверки, с применением в качестве ГД в АСВВ добавок фенантрена и антрацена с характерной структурой молекул и отрицательной теплотой образования.

## ТЕХНОЛОГИЯ АКТИВАЦИИ РАСТВОРА ПРИ ПСВ УРАНА

Абен Е.Х., Хайруллаев Н.Б., Мухамеди М.Е.

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

Единственным и эффективным методом добычи урана в Казахстане является его подземное скважинное выщелачивание (ПСВ). Метод подземного выщелачивания имеет существенные преимущества перед традиционным горным способом добычи руд и переработкой их на заводах, так как позволяет снизить себестоимость урановых руд и более полно использовать урановое сырье. К основным достоинствам способа подземного выщелачивания относятся возможность отработки месторождений, приуроченных к сильнообводненным пластам, в том числе бедных и забалансовых для горного способа руд, сокращение срока ввода месторождения в эксплуатацию, автоматизация процессов добычи и переработки продуктивных растворов на поверхности.

Основное требование, предъявляемое к технологическим скважинам при ПСВ-длительное время эксплуатации при сохранении их производительности. Одной из основных причин уменьшения дебита скважин, при применении ПСВ является кольматация фильтров и прифильтровых зон водоносного пласта, которая вызывает увеличение гидравлических сопротивлений и снижение притока раствора в скважины. Наблюдается снижение производительности откачных скважин причиной чего является механическая и химическая кольматация фильтров и прифильтровой зоны. Кольматирующим веществом обычно является пластовый песок и продукты химических соединений. Заполнение фильтра механическими взвесями происходит в течение всего периода эксплуатации скважин. Часть взвеси откачивается вместе с раствором, а часть, состоящая из более крупных частиц, оседает и накапливается в отстойнике, а затем и в зоне фильтра.

По своей сущности все известные способы интенсификации процесса подземного выщелачивания [1,2,3,4] можно классифицировать следующим образом:

- гидродинамические;
- физико-химические;
- химические.

Все эти способы в исследуемых пределах приводят к сокращению времени выщелачивания и увеличению среднего содержания урана в растворах. Однако практическое осуществление этих способов воздействия связано с огромными материальными и трудовыми затратами.

Для повышения извлечения полезных компонентов, снижения времени на выщелачивание и расхода реагентов предлагается технология, основанная на использовании процесса кавитации для активации раствора [5,6,7].

Сущность технологии заключается в том, что перед подачей выщелачивающего раствора в рудную массу её активируют с помощью кавитации. В результате механического воздействия (кавитации) на сплошные среды изменяется её структура и температура, что сопровождается разрывом связей между атомами и разрушением кристаллической решетки. Степень активации раствора зависит от физико-механических, химического состава руды, параметров технологических скважин.

Если понижение давления происходит вследствие возникновения больших местных скоростей в потоке движущейся капельной жидкости, то активация называется гидродинамической.

Гидродинамическая активация возникает в тех участках потока, где давление понижается до некоторого критического значения. Присутствующие в жидкости пузырьки газа или пара, двигаясь с потоком жидкости и попадая в область давления меньше критического, приобретает способность к неограниченному росту. После перехода в зону пониженного давления рост прекращается, и пузырьки начинают уменьшаться. Если пузырьки содержат достаточно много газа, то при достижении ими минимального радиуса, они восстанавливаются и совершают несколько циклов затухающих колебаний, а если мало, то пузырек схлопывается полностью в первом цикле. Сокращение пузырька происходит с большой скоростью и сопровождается звуковым импульсом, тем более сильным, чем меньше газа содержит пузырек. Если степень развития активации такова, что возникает и захлопывается множество пузырьков, то явление сопровождается сильным шумом со сплошным спектром от нескольких сотен герц до сотен кГц. При захлопывании содержащаяся в пузырьке парогазовая смесь, адиабатически (не успевая обменяться теплом с окружающей средой) сжимается до давления 30 атм и нагревается до темпера-

тур порядка нескольких тысяч градусов. Весь процесс увеличения и захлопывания пузырьков происходит в течение нескольких миллисекунд. Давление внутри пузырьков и в воде достигает сотен МПа, а температура нескольких тысяч градусов, что вызывает распад молекул воды и образование радикалов с высокой химической активностью.

Конкурентные преимущества по отношению к существующим на рынке:

- низкая норма капитальных вложений (достаточно изготовления генератора размером 40X40X40 см;
- интеграция в существующую инфраструктуру;
- отсутствие химических реагентов опасных для здоровья человека, адаптивность по производительности системы;
- технология экологически абсолютно безопасна;
- локальная система может работать в автоматическом режиме.

### Список литературы

1. Кошколда К.Н., Пименов М.К., Атакулов Т. и др. Пути интенсификации подземного выщелачивания. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 224 с.
2. Арнс В.Х. Скважинная добыча полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986.
3. M. Catchpole, W. Robins, Future global energy demand. AusIMM Bulletin, 2015.
4. Юсупов Х.А., Джакупов Д.А. Исследование применения бифторида аммония для химической обработки скважин. Горный журнал, М., 2017.
5. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. М.: Мир, 1974. 678 с.
6. Lauterborn W., Optic cavitation, «J. Phys. », 1980, V. 41, Mil, suppl., p. 273.
7. Innovative Application of Mechanical Activation for Rare Earth Elements Recovering: Process Optimization and Mechanism Exploration. QuanyinTan, Chao Deng & Jinhui Li. Scientific Reports volume6, Article number: 19961 (2016). <https://www.nature.com/articles/srep19961>.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПСВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОНАПОРНОГО ХАРАКТЕРА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Омарбеков Е.У., Юсупов Х.А.

*Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан*

Способ выщелачивания, в настоящее время, является одним из наиболее перспективных методов добычи урана, а также золота и ряда других редких и цветных металлов. При разработке месторождений полезных ископаемых методом подземного выщелачивания происходит воз-

действие на залежь на месте её залегания с целью перевода полезных компонентов в раствор и последующее их извлечение, как правило, через скважины, буримые с поверхности до месторасположения залежи. Подземное выщелачивание является более привлекательным и эффективным, по сравнению с традиционными способами добычи, при разработке бедных месторождений, а также глубокозалегающих месторождений, характеризующихся сложными гидрогеологическими и горно-технологическими условиями [1].

В настоящее время около четверти всего урана добывается методом подземного выщелачивания. Подземное выщелачивание, возникшее как идея в 50-х годах в США, сегодня превратилось в признанный метод получения урана, конкурентоспособный по отношению к традиционному горно-химическому способу. В течение ряда лет ведущими странами в освоении и промышленной эксплуатации урановых руд способом подземного выщелачивания остаются США и страны СНГ, среди которых ведущая роль по объемам производства принадлежит Казахстану и Узбекистану. Начиная с 1998 года, практически весь уран, произведенный в Казахстане, был добыт методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ). По достоверно разведанным запасам урана Казахстан занимает одно из ведущих мест в мире, причем 75,3 % из них относятся к пластово-инфильтрационному типу, пригодному для отработки способом ПСВ. И в 2009 году он стал ведущим мировым производителем урана с почти 28% мирового производства, тогда 33% в 2010 году, увеличившись до 41% в 2014 году и 39% в 2017 и 2018 годах [2].

Необходимым условием для применения способа ПВ является возможность движения выщелачивающего реагента в рудной зоне, т.е. рудоносные породы должны обладать естественной или искусственно созданной проницаемостью. В отличие от традиционной схемы добычи и переработки руд технологическая схема подземного выщелачивания из пластовых месторождений, продуктивный горизонт которых обводнен, не требует сложного комплекса сооружений по водоснабжению и очистке промышленных стоков, так как последние в процессе отсутствуют. Однако, в последнее время, при применении данной технологии на глубоких горизонтах, где наблюдается высоконапорный характер подземных вод возникла проблема образования «промоин» каналов, по которым раствор достигает откачных скважин, не проработав нужного количества руды. Кроме этого, высоконапорный характер подземных вод увеличивает частоту колюматации фильтров и при-фильтровой зоны.

Для решения данной проблемы предложена технология «насосных скважин» [3], что обеспечить необходимый дебит откачных скважин, и нормализует прохождение выщелачивающего раствора через рудный массив при естественной величине коэффициента фильтрации. При этом снижаются затраты и время на буровые работы, на сооружение технологических скважин. Данное технологическое решение требует дальнейших исследований для установления соотношения «насосных скважин» к откачным скважинам с учетом статистического уровня подземных вод.

### **Список литературы**

1. Каракоцкая И.А. Математическая модель отработки месторождения способом скважинного подземного выщелачивания. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Екатеринбург: Уральский государственный университет. 2006.
2. <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/kazakhstan.aspx>.
3. Омарбеков Е.У. Разработка технологии ПСВ урана в условиях высоконапорного характера подземных вод. // Международная научно-практическая конференция «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях Индустрии 4.0». Алматы: Satpayev University. 2019.

## **К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ГРАНСОСТАВА ГОРНОЙ МАССЫ НА КАРЬЕРЕ ЛИКХОБОНГ**

**Горбунова Н.Н., Терешин А.А., Ленко К.**

*Российский университет дружбы народов (РУДН)*

Одним из основных показателей, определяющих экономическую эффективность предприятия, является качество дробления горной породы при производстве взрывных работ. Оценка эффективности взрывного дробления горной породы определяется, в основном, по двум параметрам: выходом негабаритов и степенью дробления горной породы. В настоящее время существует большое количество как отечественных, так и зарубежных моделей, которые дают возможность спрогнозировать оба этих параметра [1].

Неоднородность размеров кусков горных пород является серьезным недостатком, поэтому гранулометрический состав взорванной горной породы имеет большое значение – количественное соотношение содер-

жания кусков (частиц) различного размера во взорванной массе. Исходя из этого, работа была выполнена таким образом, чтобы в результате первичного взрывания горная масса была равномерно разделена на подвижные куски породы, а выход негабаритных кусков был сведен к минимальному значению, то есть степень фрагментация пород соответствовала параметрам погрузочно-транспортных и дробильных машин.

Для определения грансостава (выхода негабарита) одним из первых этапов состоял в получение фотографий/фотоснимков. Все фотографии взорванной горной массы снимали цифровым фотоаппаратом «Canon D500» в прямом фокусе по перпендикуляру от линий нижней бровки откоса горной массы. Основное внимание было сосредоточено на то, что фотографии общего масштаба показывали бы общий диапазон размеров кусков пород. Затем происходило импортирование фотографий в программу «Split Desktop».

В программе «Split-Desktop» для масштабирования используется масштабирующий объект в виде металлического квадрата размеров 700мм x 700мм. Такие размеры были выбраны в соответствии с тем, что максимальный размер куска, не должен превышать 750мм [2,3,4].

Программа «Split-Desktop» позволяет производить загрузки до двух обрисованных масштабов в каждом анализированном снимке. Масштабы показывают длину куска в миллиметрах и в пикселях. Обрисованные масштабы могут быть удалены или отредактированы в любое время. Процесс обрисовки границ вокруг кусков пород на снимке производится автоматически. Также программа производит замазку частей съёмки/фотографии цветом, чтобы указать какие части нужно убрать или указывает на то, что данная часть съёмки состоит больше всего из мелких кусков породы (рис.1) [5,6,7,8].

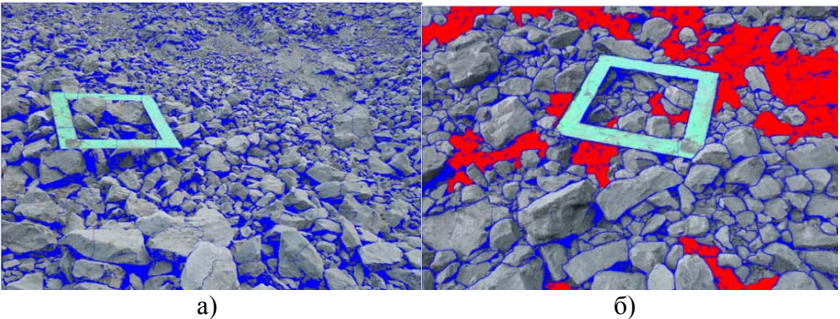


Рис.1. а) автоматические обрисовки программы «Split-Desktop»,  
б) отредактированные обрисовки

После того, как все обрисовки сделали на всех снимках в проекте, можно увидеть результаты распределения по размерам кусков пород в отбитой породе. Результаты указывают в графическом и в табличном виде. Графики показывают распределение по размерам куски пород, а таблицы показывают расчеты распределения по размерам кусков пород по выбранным ситам, среднее взвешенное размер пород в распределение, максимальный размер и т.д. (рис.2).

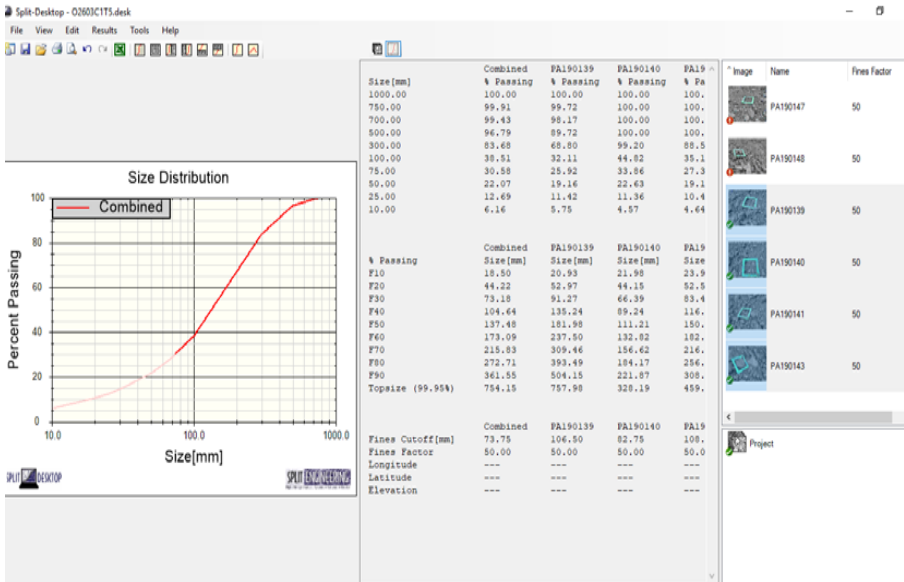


рис.2. пример графика распределение по размерам кусков пород  
в программе «Split-Desktop»

При выполнении этой исследовательской работы, было проанализировано шесть взрывов, выполненных на алмазном карьере «Ликхобонг» в Лесото, за период с 1 августа по 31 октября 2018. Эти взрывы были произведены в разных местах и на разных уступах карьера для того, чтобы получать как можно точные результаты.

Таким образом, по результатам выполнения этой работы, было обнаружено, что выход негабарита значительно отличаются. Взрывы, которые были произведены на нижних бортах южной части карьера, для взрыва O2575C1P18-Юг – 10% и 9,71% для взрыва O2589C1T4-юг. А выход негабарита для взрывов, совершенных на верхних бортах севера карьера, оказались значительно ниже, чем на нижних частях юга карьера.

Поэтому можно сделать вывод, что необходимо применения разных способов взрывания на юге и на севере карьера. На севере карьере можно продолжать применять существующие способы выполнения взрывных работ, а на юге карьера необходимо произвести изменение способа взрывания.

### Список литературы

1. METHOD FOR DETECTION OF GRAIN SIZE COMPOSITION IN CRUSHED ROCK OF MINES(PATENT), Inventor(s): Viktorov Sergej Dmitrievich (RU), Kazakov Nikolaj Nikolaevich (RU) Proprietor(s): Institut problem kompleksnogo osvoenija neдр Rossijskoj akademii nauk (IPKON RAN) (RU).
2. Буровзрывные Журналы предприятия «Ликхобонг» , Aug-Sept. 2018.
3. Отчеты по буримости кимберлита (департамент геологии предприятия «Ликхобонг, Авг.-Сент. 2018).
4. Previous fragmentation Analysis reports by BME Blasting, 2017-2018.
5. The effects of Drilling and Blasting Performance on Fragmentation in a Quarry and Time for Loading, Secondary Breaking and Crushing, Tatiane Marin University of São Paulo, Jacopo Seccatore Universidad Adolfo Ibáñez, Marilena Cardu Politecnico di Torino, Jorge Silva Bettencourt University of São Paulo and others.
6. Rock Fragmentation Control in Blasting, Sang Ho Cho and Katsuhiko Kaneko, Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Sapporo 060-8628, Japan.
7. Firestone Diamonds Rs and Rv technical report – Oct 2015 – Final.
8. Measurement of Size Distribution of Blasted Rock Using Digital Image Processing, F.I. Siddiqui, S.M. Ali Shah and M. Y. Behan, Department of Mining Engineering, Mehran University of Eng. and Tech., Jamshoro, Pakistan.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ ПРИ ВЗРЫВЕ ШПУРОВОГО ЗАРЯДА С КРУГОВЫМ ЗАЗОРОМ

**Мингазов Р.Я., Шиповский И.Е.**

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

Динамическое воздействие часто используется в технологии добычи угля и является одним из способов управления состоянием угольного массива. Особенность динамического воздействия заключается в том, что оно в одних случаях может спровоцировать режим самоподдерживающегося разрушения метанонасыщенного угля, поэтому часто ис-

пользуется как способ провоцирования выбросов в виде сотрясательного взрывания [1]. В других случаях взрывное воздействие, наоборот, содействует спокойному выходу метана из низкопроницаемого пласта [2]. В этих случаях в результате взрыва в угле под действием газообразных продуктов взрыва создаются протяженные трещины, которые служат для дегазации пласта.

Чтобы понять особенности взрывного воздействия на метанонасыщенный уголь и разработать инновационные принципы управления динамическим разрушением угля, необходимо использовать результаты теоретического и экспериментального анализа предразрушения пород при волновом воздействии и влияния природного метана на разрушение газоносного угля [3-7]. Установлено, что взрывная волна изменяет природную нарушенность пород на большом расстоянии от центра взрыва (до 100 радиусов взрывной полости). Эту область можно рассматривать как область предразрушения пород, в ней наведенная пористость пород увеличивается на 3-5%.

В метанонасыщенном угле мгновенное увеличение пористости может резко изменить природное равновесие системы «твердая среда – связанный метан», переводя часть пласта в метастабильное состояние, которое обычно разрешается в выбросоопасных пластах спровоцированным выбросом. В настоящей работе исследуются вопросы влияния конструктивных особенностей зарядов, которые могут быть использованы в технологии сотрясательного взрывания.

Известно, что процесс разрушения горных пород взрывом является исключительно сложным и все еще недостаточно изученным. Главная трудность изучения этого процесса заключается в том, что он протекает с большой скоростью, при высоких значениях напряжений пород и температуры. Кроме того, не полностью изучены процесс детонации заряда ВВ и влияние особенностей размещения заряда во взрывных скважинах. Поэтому о механизме разрушения горных пород взрывом и судят большей частью по конечным результатам разрушения. Изучение сложного процесса взрывного разрушения пород, уточнение его закономерностей позволило бы более эффективно управлять этим процессом и, как следствие достигать необходимых показателей разрушения горных пород и угля.

Однако на сегодняшний день нет единой общепризнанной теории механизма разрушения горных пород взрывом; существуют лишь отдельные теории и гипотезы этого процесса, в той или иной степени отражающие действительную картину [8]. Например, в работах Гогичева И.И. отмечается тот факт, что энергия ВВ при ведении взрывных работ лю-

На рисунке 1 показаны конструкции шпуровых зарядов с различными вариантами заполнения зазоров различными материалами.

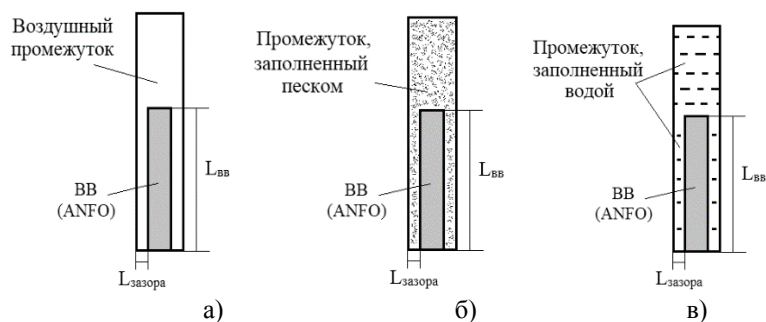


**Рис. 1. Конструкция шпурового заряда с промежутком:**  
**а – воздух; б – песок; в – вода**

На графике показано как со временем на фронте волны изменяется радиальное напряжения в породе при различном заполнителе кругового (кольцевого) зазора между стенкой шпура и зарядом. По результатам расчетов можно заключить, что имеющий место на практике технологический зазор между стенкой скважины и зарядом не препятствует образованию импульса растяжения во взрывной волне при использовании детонационных ВВ. Изменяя величину зазора можно управлять взрывным воздействием на угольный пласт и, следовательно, решать разные

**Рис. 2. Изменение радиальных напряжений в зависимости от времени в точке на расстоянии 20 радиусов шпура для различных наполнителей его инертным материалом: 1 – тонкая линия воздушный зазор, 2 – линия средней толщины – зазор, заполненный песком, 3 – жирная линия зазор, заполненный водой**

## Выводы

Выбранный вычислительный подход позволяет достаточно подробно исследовать влияние различных конструктивных особенностей зарядов, применяемых в горном производстве, что дает возможность оптимизировать взрывные работы. Впервые показано, что имеющий место на практике технологический зазор между стенкой скважины и зарядом не препятствует образованию импульса давления во взрывной волне при использовании детонационных ВВ, причем водный наполнитель усиливает его амплитуду.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта 18-05-00912.

## Список литературы

1. Mineev S., Yanzhula O., Hulai O. et setera. Application of shock blasting mode in mine roadway construction // Mining of Mineral Deposits. – 2016. – V.10. – Iss.2. – P.91-96.
2. Liu J., Liu Z., Gao K. An experimental study of deep borehole pre-cracking blasting for gas pre-drainage on a mine heading roadway in a low permeability seam // J.Mining and Geoengineering. – 2012. – V.36. – N3.

3. Кочанов А.Н., Одинцев В.Н. Волновое предразрушение монолитных горных пород при взрыве // ФТПРПИ. 2016. № 6. – С. 38-48.

4. Одинцев В.Н. Отрывное разрушение массива скальных горных пород. – М.: ИПКОН РАН, 1966, – 166 с.

5. Nikitin L.V., Odintsev V.N. Axisymmetric self-similar dynamic problem for an elastic half-space with moving boundary conditions // Archives of Mechanics. – 1973. Vol.25. – N2. – P. 351-363.

6. Odintsev V.N., Lapikov I.N., Kochanov A.N., Mingasov R.Ya. The effect of bound methane on coal dynamic destruction // International Multi-disciplinary Scientific GeoConference SGEM. – 2018. – T.18 – N.1-3. – С. 863-870.

7. Одинцев В.Н., Лапиков И.Н., Кочанов А.Н., Мингазов Р.Я. Принципы управления динамическим разрушением газоносного угля. В сб. «Современные инновационные технологии в горном деле и при первичной переработке минерального сырья». (Материалы международной научно-практической конференции). – М.: Винпресс, 2018. – С. 221-228.

8. Гогичев И.И. Управление действием взрыва шпуровых зарядов. «Мецниереба», Тбилиси, 1968, – 60 с.

9. Миндели Э.О. Анализ буровзрывных работ при проходке вертикальных стволов шахт, Углетехиздат, – М., 1955. – 260 с.

10. Руководство по механизированному заряданию шпуров гранулированными ВВ в угольных шахтах. – М., 1971. – 34 с.

11. Патент 2495238 РФ. Способ подготовки рудных тел на месте залегания к выщелачиванию полезных компонентов / М.В. Рыльникова, В.Х. Мусин, Е.П. Старостин, Д.Н. Радченко, И.А. Абдрахманов; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 28. – 8 с.

12. Коновал С.В., Ищенко К.С., Кратковский И.Л., Коновал В.Н. Особенности взрывного разрушения полиминеральной среды зарядами различной формы на контакте «ВВ-порода» // Розробка родовищ: 3б. наук. пр. – 2014. – Т. 8. – С. 393-39.

## **РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ ONLINE МОНИТОРИНГ РУД НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОНВЕЙЕРАХ ТОО «КОРПОРАЦИЯ КАЗАХМЫС»**

**Нигматулин А.М., Абдрахманова З.Т., Кан А.Н.,  
Ефименко С.А.**

*ТОО «Корпорация Казахмыс», Караганда, Казахстан*

В работе [1, 2] обсуждены результаты исследований по оснащению Жезказганских обогатительных фабрик № 1 и № 2 (ЖОФ–1, ЖОФ–2) Обогаительно–производственного комплекса Филиала ТОО «Корпора-

ция Казахмыс» – ПО «Жезказганцветмет» (ОПК) тремя энергодисперсионными рентгенофлуоресцентными (EDXRF) рудоконтролирующими станциями (РКС) РЛП–21Т, обеспечивающими online мониторинг руд, поступающих на фабрики с горных предприятий Жезказганской промышленной площадки, на содержания меди, свинца, цинка, серебра, кадмия и железа. В результате, горные предприятия Горно–производственного комплекса Филиала ТОО «Корпорация Казахмыс» – ПО «Жезказганцветмет» (ГПК) получают достоверную информацию не только о содержаниях в отгруженных рудах большинства промышленных и сопутствующих рудных компонентов, но и весомую доказательную базу для аргументированного отстаивания своих интересов по качеству поставленной руды при распределении сливного металла обогатительных фабрик по истечении календарного месяца. Одновременно, была решена очень сложная научная, методическая и аппаратная задача: определение в online режиме содержаний меди, свинца, цинка, серебра, кадмия и железа в рудах класса крупности – 300мм на ленточных технологических конвейерах, осложненная тем обстоятельством, что средние содержания серебра в рудах разрабатываемых месторождений медистых песчаников Жезказган и Жаман–Айбат составляют 15 ppm, а такой уровень содержаний серебра является предельным для рентгенофлуоресцентного метода опробования руд. Такие результаты в Казахстане были получены впервые.

Но ТОО «Корпорация Казахмыс» – это не только шахты и карьеры Жезказганской производственной площадки, разрабатывающие месторождения медистых песчаников Жезказган (основные и сопутствующие рудные компоненты: Cu, Pb, Zn, Ag, Re, Cd, S, Os) и Жаман–Айбат (Cu, Pb, Zn, Ag, Re, S). Это и месторождения, разрабатываемые на Карагандинской и Балхашской производственных площадках: золото–медно–порфировое месторождение Нурказган (Cu, Au, Ag, Mo, Se, S), колчеданно–медно–свинцово–цинковые месторождения Кусмурын (Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Cd, Se, Te, S) и Акбастау (Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Cd, Se, S, Te), золото–колчеданно–медно–свинцово–цинковое месторождение Абыз (Pb, Zn, Cu, Au, Ag, S, Se, Te, Cd, In, Hg), Саякская группа медно–скарновых месторождений (Cu, Mo, Fe, Au, Ag, Bi, Te, Se, Re), медно–порфировое месторождение Шатырколь (Cu, Mo, Au, Ag, Te, Se, U) и другие.

Руды перечисленных месторождений характеризуются большим размахом содержаний основных и сопутствующих компонентов, низкими (1+ ppm) содержаниями серебра и большим количеством технологических сортов руд. Эти руды являются более сложными объектами для внедрения EDXRF РКС, чем руды месторождений Жезказган и Жаман–

Айбат. На сегодня в мировой цветной металлургии отсутствуют примеры успешного решения задачи online мониторинга руд класса крупности –300 мм с содержаниями серебра и кадмия от 1+ ppm рентгенофлуоресцентным методом.

На Балхашскую обогатительную фабрику (БОФ) поступает руда с рудников Конырат, Саяк (шахты Саяк–1 и Тастау), Шатырколь, Нурказган, Акжал, а также отвальные шлаки Балхашского медеплавильного завода.

На Карагайлинскую обогатительную фабрику (КОФ) поступает руда с рудников Акбастау, Кусмурын и Абыз.

На Нурказганскую обогатительную фабрику (НОФ) поступает руда с Нурказганского подземного рудника (НПР).

Самую сложную для решения рентгенофлуоресцентным методом аналитическую задачу предстояло решить на БОФ. Необходимо было одновременно опробовать в режиме online, как гетерогенные объекты – руды месторождений, так и фактически гомогенные объекты – отвальные шлаки медеплавильного завода. Руды были представлены всей палитрой содержаний меди: богатые (Шатырколь), средние (Саяк–1, Тастау, Нурказган), бедные (Конырат) и убогие (Акжал). Кроме руд, в переработку поступает отвальный шлак с очень сложной для рентгенофлуоресцентного метода элементной матрицей содержаний, например, такой: Cu=1,15%, Zn=5,90%, Pb=0,65%, Fe=46,80%. При этом, крупность руды на ленточных конвейерах была такой же, как на ЖОФ–1 и ЖОФ–2: –300 мм. РКС планировалось установить на тяжелых ленточных конвейерах №2 и №2А.

На ряде подземных рудников компании (Нурказган, Жомарт) добытая руда транспортируется на–гора с помощью магистральных ленточных конвейеров. Эффективного контроля за химическим составом руд на этих конвейерах до сих пор нет. Запуск РКС на магистральном ленточном конвейере НПР – это первая попытка охватить эффективным online мониторингом рудопотоки данного типа. Особенности руд, добываемых НПР, являются: во–первых, очень низкое содержание серебра (в среднем 2,9 ppm по месторождению) и присутствие в рудах молибдена (в среднем 110 ppm по месторождению). Примеры успешного решения задачи поставленной задачи с помощью рентгенофлуоресцентного online мониторинга содержаний серебра и молибдена при крупности руд на конвейерах –300 мм в мировой практике также отсутствуют.

На КОФ РКС планировалось поставить на ленточный конвейер № 4, по которому транспортируется руда класса крупности –50 мм. Данная задача не самая сложная для решения рентгенофлуоресцентным методом.

Целями работы являются:

1. Распространение опыта рентгенофлуоресцентного online мониторинга содержаний меди, свинца, цинка, серебра, кадмия и железа на ЖОФ–1 и ЖОФ–2 на БОФ и КОФ, а также на горные предприятия корпорации, на которых применяются магистральные ленточные конвейеры для транспортировки руды (НПР).

2. Обеспечение рудников ГПК корпорации не только достоверной и максимальной полной информацией об элементном составе и содержаниях основных, сопутствующих и вредных (с точки зрения экологии, обогатительного и металлургического переделов) элементов в рудах, но и весомой доказательной базой для аргументированного отстаивания своих интересов по качеству поставленной руды при распределении сливного металла обогатительных фабрик по истечении календарного месяца.

По части выбора типа аппаратуры для реализации поставленных задач сомнений не было – это EDXRF РКС РЛП–21Т. Аппаратурный, методический и программные аспекты РКС РЛП–21Т необходимо было адаптировать к более жестким вводным задачам на БОФ, КОФ и НПР. В первую очередь, к необходимости online мониторинга крайне низких содержаний серебра в рудах и отвальных шлаках.

Основные изменения в РКС РЛП–21Т: SDD детектор с площадью чувствительной поверхности 25 мм<sup>2</sup> и рентгеновский излучатель – 50 кВ, 50 Вт, которыми комплектовались жезказганские РКС РЛП–21Т, были заменены на SDD детектор с площадью чувствительной поверхности 70 мм<sup>2</sup> и рентгеновский излучатель – 60 кВ, 50 Вт. Этим удалось существенно повысить чувствительность РЛП–21Т при опробовании руды на серебро, кадмий и молибден; в РЛП–21Т была установлена самая современная высокоскоростная электроника [3].

В РКС РЛП–21Т, предназначенных для БОФ, пришлось отказаться от единой градуировки спектрометра РЛП–21Т и перейти к по–объектным градуировкам. Процедура выбора нужной градуировки при обработке вторичных спектров производится автоматически в зависимости от содержаний основных элементов (а также железа) и записей в весовых накладных. В остальных двух комплектах РКС РЛП–21Т применена методика проведения РФО руд, позволившая реализовать принцип, которым руководствуются в ТОО «Аспап Гео»: объекты РФО разные, типы руд разные, промышленные продукты переработки руд разные – градуировка одна.

Для удобства проверки правильности работы РКС и сокращения (до 5 мин) времени остановки конвейера для выполнения данной проце–

дуры, в комплект РКС РЛП–21Т введена искусственная контрольная проба, которая одевается на окна рентгеновской трубки и SDD детектора на торцевой части корпуса РКС и удерживается магнитами. Содержание элементов в контрольной пробе: Cu – 1,38%, Ag – 12,0 ppm, Zn – 0,05%, Pb – 0,2%, Cd – 1,8 ppm, Fe – 4,65%.

Была сохранена и технология проведения РФО руд: экспозиция единичного измерения – 1 сек.; содержания меди, свинца, цинка и железа выдаются, как среднее из 20 единичных замеров; содержания серебра, кадмия и молибдена – как среднее из 40 единичных замеров. На КОФ и НПР впоследствии перешли на выдачу содержаний элементов по пятиминутным интервалам.

Перед установкой на конвейеры все РКС прошли обязательный этап стендовых исследований. Объектами исследований были наборы градуировочных проб руд с каждого месторождения с известными химическими анализами всех шести элементов. Каждый набор включал три вида проб: порошки, фракция после валковой дробилки, фракция после щековой дробилки. После подвески каждой РКС непосредственно на конвейерах весь цикл исследований на пробах повторялся, но с учетом ограничений по времени остановки конвейеров на исследования.

#### Результаты исследований

1. На БОФ РКС РЛП–21Т установлены на входных ленточных конвейерах №2 и №2А. РКС были введены в эксплуатацию 4 мая 2018 года (рис. 1). Результаты работы РКС на БОФ приведены в таблице 1.

С июля 2018 года пункт вагонного опробования ОТК на дробилке ККД 1500/180 сокращен. По мере набора статистического материала идет уточнение алгоритмов расчета содержаний по некоторым поставщикам руды.



Рис. 1. РКС типа РЛП–21Т на конвейерах № 2 и № 2А БОФ

Таблица 1 – Сравнительная таблица среднемесячных содержаний Cu и Ag по БОФ

| Месяц, год | Медь, % |       |        |       | Серебро, ppm |       |        |       |
|------------|---------|-------|--------|-------|--------------|-------|--------|-------|
|            | Слив    | РКС   | Δ      | σ, %  | Слив         | РКС   | Δ      | σ, %  |
| 2018г.     | 0,963   | 0,966 | -0,004 | 0,39  | 5,304        | 4,790 | 0,51   | 9,69  |
| Янв.       | 1,13    | 1,11  | 0,02   | 1,77  | 4,32         | 4,94  | -0,62  | 14,35 |
| Февр.      | 1,02    | 1,04  | -0,02  | -1,96 | 4,12         | 4,69  | -0,57  | 13,83 |
| Март       | 0,94    | 0,92  | 0,02   | 2,13  | 3,66         | 3,26  | 0,40   | 10,93 |
| Апр.       | 0,80    | 0,82  | -0,02  | -2,50 | 3,56         | 3,14  | 0,42   | 11,80 |
| 2019г.     | 0,973   | 0,973 | 0      | 0,00  | 3,915        | 4,008 | -0,093 | 2,36  |

Следует обратить внимание на тот факт, что за год эксплуатации, зафиксированные РКС максимальные содержания серебра в одном железнодорожном составе, составили 11,5 ppm (Тастау) и 12,3 ppm (отвальный шлак), а минимальные – 1,9 ppm (Коунрад). Это гораздо ниже уровня содержаний серебра в рудах, поступающих на ЖОФ–1 и ЖОФ–2. Таким образом, впервые в мировой практике EDXRF РКС смогла взять столь низкие содержания серебра на рудах крупностью –300мм.

2. На КОФ РКС РЛП–21Т установлена на конвейере №4 и введена в эксплуатацию 27 июля 2018 года (рис. 2А). Измерения проводятся с интервалом дискретности 5 минут.

Зафиксированные РКС содержания серебра в одном пятиминутном замере составили: 19,6 ppm (максимальное) и 7,8 ppm (минимальное). Это ещё одно свидетельство уникальности методического и математического фрагментов РКС РЛП–21Т.

3. РКС РЛП–21Т на магистральном ленточном конвейере НПР введена в эксплуатацию 14 июня 2018 года (рис. 2Б). В отличие от РКС, установленных на БОФ и КОФ, у РКС Нурказганского подземного рудника были две особенности: во–первых, руды месторождения очень бедны серебром (среднее содержание по месторождению 2,9 ppm); во–вторых, в рудах присутствует молибден, средние содержания которого в контурах балансовых руд составляет 140 ppm, в контурах забалансовых руд – 81 ppm. В литературе отсутствуют сведения о проведении успешного РФО руд на молибден на ленте конвейера. В Нурказгане содержания молибдена необходимо определять в руде крупностью –300мм. Интервал дискретности вывода содержаний элементов составляет 5 минут.

Зафиксированные РКС содержания серебра в одном пятиминутном замере составили: 6,5 ppm (максимальное) и 1,1 ppm (минимальное), молибдена: 1135 ppm (максимальное) и 16 ppm (минимальное).



А. КОФ. Конвейер № 4      Б. НПР. Магистральный конвейер

**Рис. 2. РКС РЛП–21Т на КОФ и НПР**

Таким образом, достигнут уникальный результат: нигде прежде EDXRF РКС с высокой точностью не определяли столь низкие содержания серебра и молибдена в руде крупностью –300мм на ленте конвейера.

Выводы. В результате выполненных методических изысканий и стендовых исследований 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, Cd и Mo при очень низких (1+ ppm для Ag, Cd и 10+ для Mo) содержаниях последних в рудах.

### Список литературы

1. Абдрахманова З.Т., Шаханов А.М., Ефименко С.А. «On-line» контроль качества входного сырья на Жезказганских обогатительных фабриках ТОО «Корпорация Казахмыс» // 50 лет Российской научной школе комплексного освоения недр Земли. Материалы Международной научно-практической конференции. 13 – 16 ноября 2017 г. – М: ИПКОН РАН. 2017. с. 401–406.
2. Yefimenko S., Yefimenko O., Shakhnov A., Abdrakhmanova Z., Makarov D. Multicomponent online analysis of coarse ore on conveyors of LLC «Kazakhmys processing plants» // 21th Conference on Environment and Mineral Processing. Ostrava: VŠB-TU, 2017. P. 245–249.
3. Nigmatulin A.M., Kan A.N., Yefimenko S.A. Effective «online» ore quality control with the help of EDXRF ore – controlling stations on the conveyors of LLC «Kazakhmys corporation» concentrate plants and mines // International Scientific and Internet Conference «Innovative Development of Resource – Saving Technologies of Mineral Mining and Processing». Book of Abstracts. – Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2018. – P. 162 – 180.

## К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ УЧАСТКАМИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Решетняк С.Н., Бондаренко А.М.

*ИПКОН РАН г. Москва,  
АО СУЭК-Кузбасс г. Ленинск-Кузнецкий*

Производственными единицами компании АО «СУЭК-Кузбасс» ведется добыча угля как открытым способом (доля добыча угля составляет порядка 23%), так и подземным способом (доля добыча угля составляет порядка 77%). Объемы используемых энергоресурсов на единицу продукции достаточно велики, что в значительной степени влияет на себестоимость добытой продукции, снижая ее конкурентоспособность [1]. В настоящее время, существует достаточно большое количество методов определения нормируемых величин электропотребления, однако применение этих методов, в специфических условиях угольных шахт, не представляется возможным [2, 3]. Это обусловлено достаточно большим количеством различных ограничений, исходя из условий безопасного ведения горных работ в условиях угольных шахт опасных по внезапным выбросам пыли и газа, а также достаточно большим числом изменяемых факторов горно-технологического характера при разработке конкретного месторождения [4, 5]. Поэтому разработка структурной модели по определению параметров удельного электропотребления технологическими участками угольных шахт является актуальной и требующей решения научной задачей.

В настоящее время ведутся исследования по разработки оптимальных норм электропотребления. В частности, в работах [6, 7] представлен предельный алгоритм нормирования электропотребления, в котором для повышения точности используются ряд процедур в частности ASR – анализ (Adding System Resource analysis). Процесс определения предельных норм, согласно этой методики, включает: определение границ доверительного интервала; нормирование электропотребления всеми имеющимися в распоряжении методами; вычисление взвешенных норм с помощью линейной комбинации; реализация оптимизационного процесса и определение лучших норм; уточнение норм с использованием ASR – анализа; определение предельных норм. Однако применение этой методики в условиях угледобывающих предприятий весьма затруднительно, что обусловлено отсутствием достоверной базы данных

по электропотреблению, как конечными потребителями технологических участков, так и предприятием в целом, а также достаточно большим числом внешних факторов технологического характера, влияющим на электропотребление.

В качестве решения этой научной задачи предлагается, функциональная схема структурной модели по определению параметров удельного электропотребления технологическими участками угольных шахт которая представлена на рис. 1, а также структура математического (методологического) обеспечения для определения параметров удельного электропотребления технологических участков угольных шахт представлена на рис. 2. Согласно функциональной схемы, информация от датчиков метана, пылеотложений и электропотребления поступает на блок первичного сбора информации. На этот же блок поступает информация об метрологических требованиях к системе и информация об основных параметрах технологического характера. Сигналы с блока первичной информации о режимах работы технологического оборудования, электропотребления, пылеотложения и метановыделения поступает в автоматизированную систему управления «Энергетика», которая производит формирование актуального отчета по потреблению энергетических ресурсов, о режимах работы основного технологического оборудования. Сигнал с автоматизированной системы «Энергетика» поступает в информационно-вычислительный комплекс, который обеспечивает определение прогнозной модели электропотребления. На этот же блок поступают утвержденные нормы расхода электропотребления по предприятию, а также требования по точности системы.

Сигнал от автоматизированной системы «Энергетика» и утвержденные нормы расхода энергетических ресурсов поступает на рабочее место энергодиспетчера, который осуществляет нормирование, планирование, расчет балансов по предприятию и подразделениям предприятия. Также он осуществляет оперативное управление системой «Энергетика», а также формирует план расхода энергетических ресурсов. На рабочее место главного энергетика поступает информация об электропотреблении от автоматизированной системы «Энергетика», утвержденные нормы расхода электропотребления по предприятию, а также информация по заключенным договорам на поставку энергоресурсов. Главный энергетик предприятия является ключевой фигурой осуществляющей контроль и управление системой информационного обеспечения по определению параметров удельного электропотребления применительно к оборудованию технологических участков шахт высокой производительности.

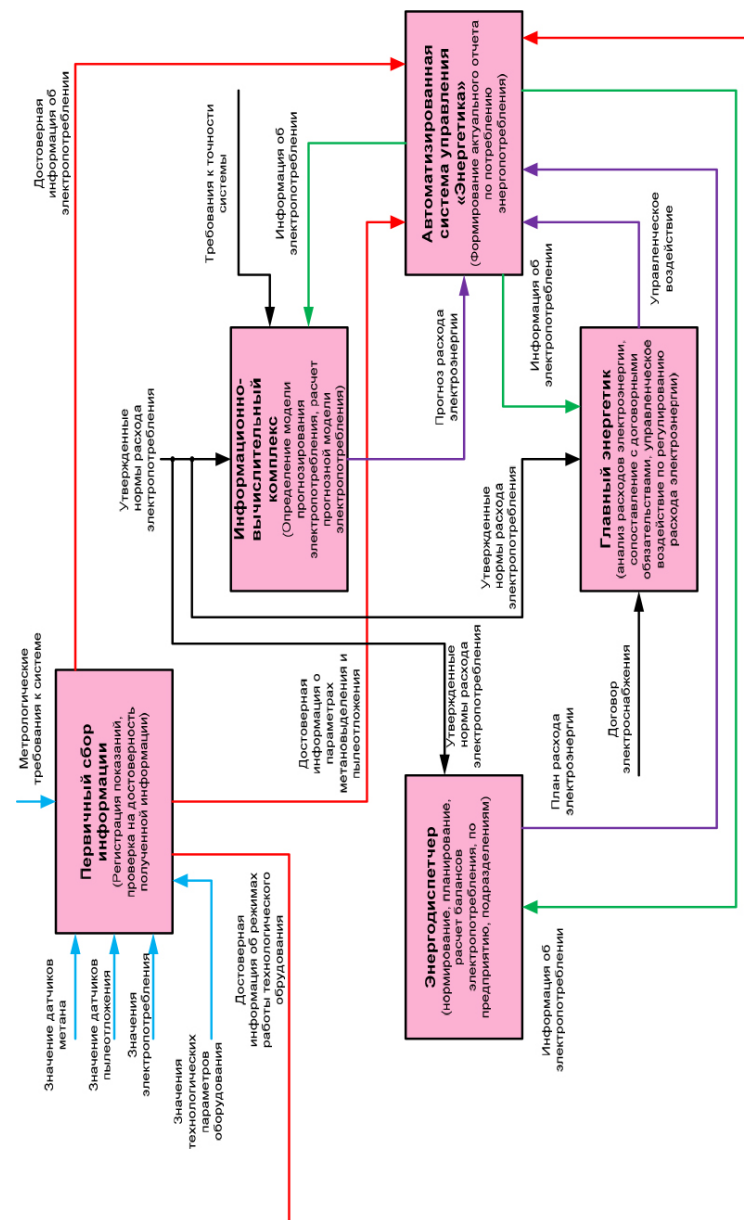
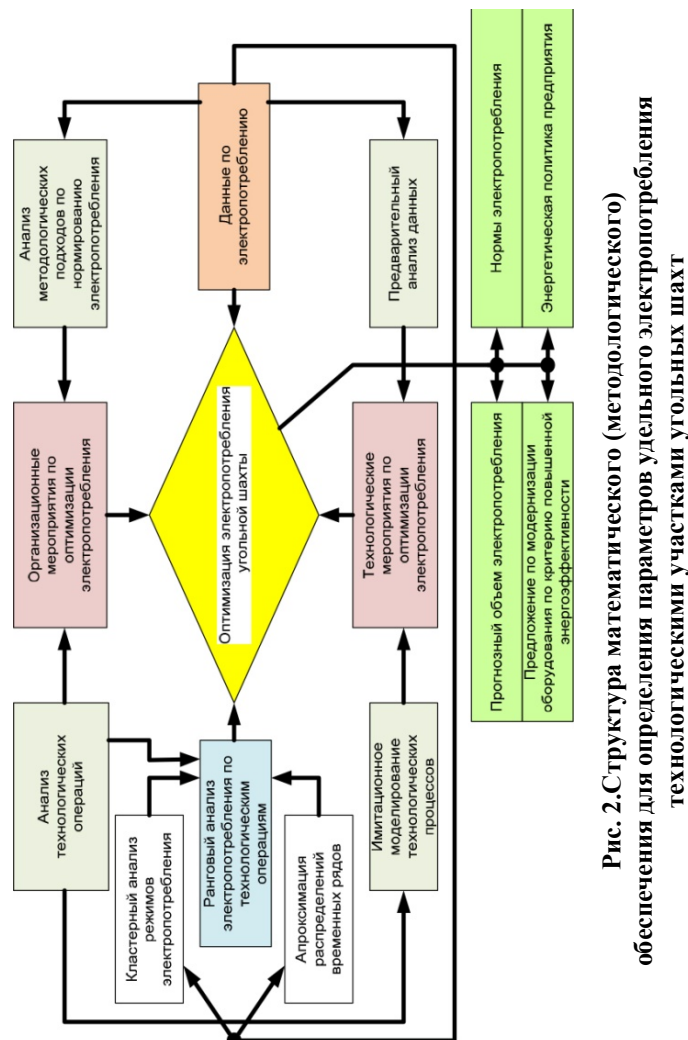


Рис. 1. Функциональная схема структурной модели по определению параметров удельного электропотребления технологическими участками угольных шахт



Согласно предложенной структуры математического (методологического) обеспечения для определения параметров удельного электропотребления используется массив данных по электропотреблению, как по предприятию, по подразделениям, так и по конечным потребителям. От качества информационной базы данных зависит качества норм электропотребления и эффективное расходование ресурсов.

Данные по электропотреблению поступают в пять блоков. Первый блок, оптимизация электропотребления угольной шахты. Второй блок производит предварительное исследование данных по электропотреблению. Полученные данные поступают на блок по разработке технологических мероприятий по оптимизации электропотребления. На этот же блок поступает информация от блока имитационного моделирования технологических процессов, в котором с помощью математических моделей определяются оптимальные режимы работы технологического оборудования. Третий блок анализа методологических подходов по нормированию электропотребления, в котором определяется оптимальная методика расчета удельных норм электропотребления. Полученные данные поступают на блок по разработке организационных мероприятий по оптимизации электропотребления. На этот же блок поступает информация о режимах работы технологического оборудования и параметрах метановыделения и пылеотложения в горных выработках. Четвертый блок производит кластерный анализ режимов электропотребления технологических участков угольной шахты. Далее сигнал поступает на блок рангового анализа электропотребления по технологическим операциям. На этот же блок поступают сведения от блока по анализу технологических операций. Пятый блок производит аппроксимацию распределений временных рядов электропотребления. Следует отметить, что все основные блок сходятся в решении единой задаче, а именно оптимизации электропотребления угольной шахты (Блок 1). Где происходит сравнительный анализ данных по электропотреблению исходных данных полученных системой и данных после прохождения ряда математических преобразований, а также ряда технологических и организационных решений по оптимизации параметров норм удельного электропотребления технологическими участками угольных шахт.

Реализация предлагаемой структуры на угольной шахте позволит рассчитывать прогнозный объем электропотребления при различных режимах работы оборудования технологических участков угольной шахты, разработать предложения по модернизации оборудования или его режимов по критерию повышенной энергоэффективности. Определить актуальные оптимальные нормы электропотребления оборудования, как отдельных технологических участков, так и угольной шахты в целом, что будет являться основой для разработки мероприятий по повышению уровня энергетической эффективности добычи угля подземным способом.

## Список литературы

1. Захарова А.Г. Закономерности электропотребления на угольных шахтах Кузбасса: монография; Гос. Учреждение Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2002. – 198 с.
2. Reshetnyak S., Bondarenko A. Analysis of technological performance of the extraction area of the coal mine. III-rd International innovative mining symposium, IIMS 2018 Kemerovo. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101014 (дата обращения 20.05.2019)
3. Копылов К.Н., Кубрин С.С., Решетняк С.Н. Актуальность повышения уровня энергоэффективности и безопасности выемочного участка угольной шахты. Уголь 2018 № 10 с. 66-70. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-66-67
4. Кубрин С.С., Решетняк С.Н., Бондаренко А.М. Анализ технологических показателей работы выемочного участка шахты «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс». Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mining Informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). – № 3 2019г. с.14-21. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-14-21
5. 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.
6. Гнатюк В.И., Шейнин А.А. Методика определения оптимальных норм электропотребления. Прикладная математика №3 2014 г. с. 68-78.
7. Шейнин А.А., Гнатюк В.И. Нормирование электропотребления инфраструктурных объектов с учетом системных свойств. Известия вузов: Электромеханика. №4 2010 г. с. 59-63.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОДЗЕМНОЙ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАЛОАМПЛИТУДНЫХ НАРУШЕНИЙ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ КУЗНЕЦКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Цариков А.Ю.

*«Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»*

Как показывает практика разработки угольных месторождений, большая часть шахт Кузнецкого угольного бассейна имеют нарушенное залегание угольных пластов и вмещающих пород. Следовательно, изучению и прогнозу тектонической нарушенности шахтных полей и отдельных угольных пластов уделяют самое серьезное внимание.

Анализ геолого-маркшейдерской документации горных работ по двадцати пяти шахтам, который произведен П.В. Потаповым [1], на месторождениях Кузбасса. Также им было доказано, что спектр нарушений представлен практически всеми геологическими нарушениями, известных горной науке: первичные (неровности кровли и почвы, выклинивания и фациальные замещения, увеличение мощности породных прослоев, расщепления и размывы), вторичные (ступенчатость, раздувы и пережимы, складчатость и разрывы). Зарисовки типичных нарушений, характерных для угольных пластов Кузбасса приведены на рисунке 1 [2].

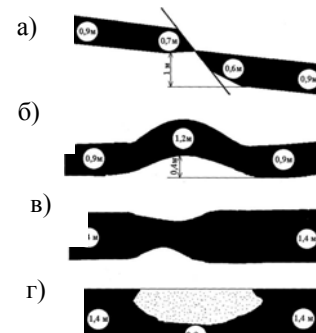


**Рис. 1. Типичные нарушения  
угольных пластов Кузнецкого  
угольного бассейна:  
а – сброс; б – флексура;  
в – пережим; г – размыв**

Для решения задачи оконтуривания (определения) аномальной зоны методами подземной электроразведки в условиях Кузбасса широкое распространение получил метод экваториально-дипольного электрического просвечивания (ЭДЭП). В данном методе проводятся исследования по параллельным подземным выработкам, водной выработке устанавливаются токовые электроды (АВ) в кровле и почве, а по другой выработке с определенным шагом по профилю проводятся измерения разности потенциала кровля-почва. После прохождения измерительного профиля происходит перестановка токовых электродов в другое положение и вновь проводятся измерения по разности потенциалов (напряжения). С целью определения аномальных зон был разработан метод обработки данных электротомографии и апробирован на модельных данных.

Для разработки модели угольного пласта и дальнейшей с ней работы (обработки данных) были использованы следующие положения:

1. В регулярных точках вмещающей среды потенциал электрического поля определяется уравнением Лапласа:

$$\Delta U = 0. \quad (1)$$

2. На границах раздела сред с различными удельными электрическими проводимостями ( $\gamma = 1/\rho$ , где  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление) потенциал и нормальная компонента тока непрерывны

$$U_i = U_j \text{ и } \gamma_i \frac{\partial U_i}{\partial n} = \gamma_j \frac{\partial U_j}{\partial n}. \quad (2)$$

(на границе «массив-горная выработка»  $\frac{\partial U_i}{\partial n} = 0$ )

3. Потенциал вдали от источников стремится к нулю.

Модель среды была представлена в виде параллельных слоев с различной проводимостью (рис.2). Угольный пласт находится между слоями вмещающей породы. Сопротивление угольного пласта обычно в несколько раз выше, чем сопротивление вмещающих пород, сопротивление нарушенной зоны характеризуется пониженными значениями сопротивлений [3].

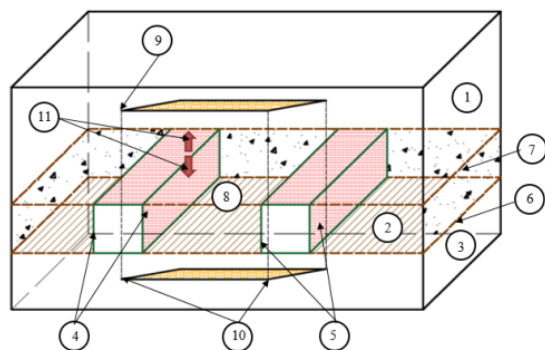


Рис. 2. Модель угольного пласта

(1,2,3 – вмещающие (боковые) породы и угольный пласт; 4 – левая и правая границы первой выработки соответственно; 5 – левая и правая границы второй выработки соответственно; 6 – нижняя граница пласта; 7 – верхняя граница пласта; 8 – нарушенная зона; 9, 10 – границы нарушенной зоны (точки задания нарушенной области); 11 – расположение электрода в кровле и почве пласта)

Анализ (обработка) модельных данных производился с использованием программы МАТЛАБ. Это связано с тем, что данный программный продукт имеет широкий спектр функций, как для математических расчетов, так и для графических построений. Для удобства расчетов программа имеет графический интерфейс. Вид интерфейса приведен на рисунке 3 [4].

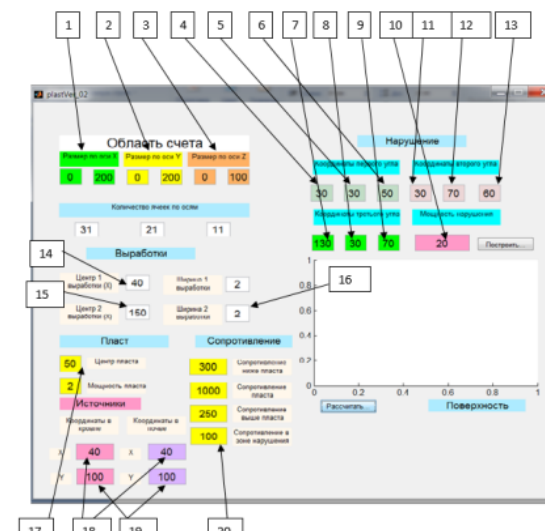


Рис. 3. Интерфейс программы расчета

1,2,3- размер области счета по оси X,Y,Z (начальный и конечный размер); 4,5,6 – координаты левого нижнего угла нарушенной зоны (по оси X, по оси Y, по оси Z); 7,8,9 – координаты правого нижнего угла; 10 – ширина зоны нарушения по оси Z; 11,12,13 – координаты левого верхнего угла; 14,15 – координаты первой и второй выработки; 16 – значения ширины выработок; 17 – координаты центра пласта и мощность; 18,19 – координаты источника в кровле и почве; 20 – сопротивления угольного пласта, вмещающих пород и нарушенной зоны

После ввода параметров расчета можно вывести картину модели расчета. Картину с изображением модели расчета можно поворачивать, сохранять в различных форматах (рис. 4).

Для обработки модельных данных была разработана программа обработки данных электротомографии. Программная реализация данного метода осуществлялась в MATLAB (рис. 5).

Программа позволяет работать с измерениями на различных профилях. Результатом расчета данной программы является таблица данных с координатами и суммарными абсолютными значениями аналитической функции для различных профилей измерения, максимумы функции соответствуют положениям аномальных зон. Взвешенное суммирование позволяет повысить отношение сигнал-шум, повысить достоверность выявления аномальных зон. По результатам расчета в программе Surfer строится геофизический разрез [5].

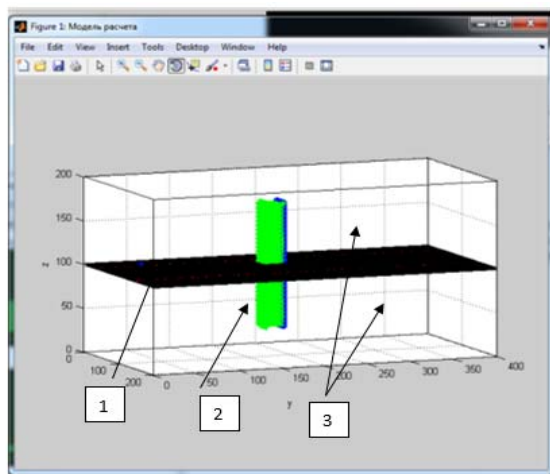


Рис. 4. Модель массива с нарушением.

1 – угольный пласт; 2 – нарушение; 3 – вмещающие породы

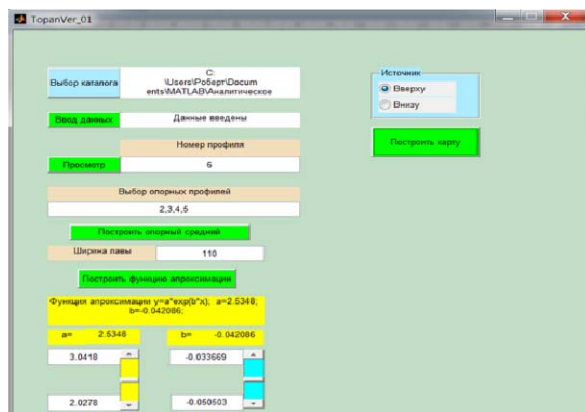


Рис. 5. Окно расчетной программы в среде MATLAB

Оценка разрешающей способности метода проводилась следующим образом. Задавалось поле 2 точечных источников с координатами  $x_1=60$  м и  $x_2=90$  м на одинаковой глубине  $y_1=y_2=60$  м.

Далее по модельным данным была решена обратная задача. В программе моделирования были получены данные для зоны нарушения, которая по проводимости отличается от вмещающей среды. Как видно, максимум аномального значения привязывается к максимуму вторичного (индуцированного) источника (рис. 6).

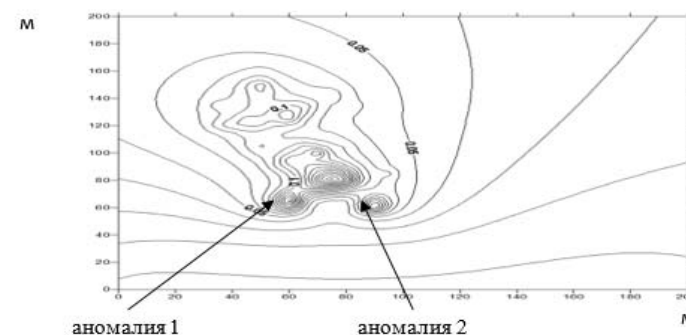


Рис. 6. Карта аномалий для двух источников

Определенное положение аномальной зоны в результате обработки модельных данных, представлено на рисунке 7.

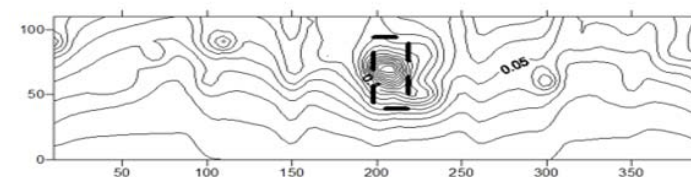


Рис. 7. Положение аномальной зоны по результатам расчета для данных, полученных по результатам моделирования

### Список литературы

1. Потапов П.В. Разработка геофизического метода установления потенциально выбросоопасных зон тектонических нарушений угольных пластов шахт Кузбасса дис. канд./тех. наук. Кемерово, 2000.
2. Молев М.Д. Прогнозирование горно-геологических условий подземной разработки угля на основе комплексных геофизических исследований дис. канд./тех. наук. Москва, 2001.
3. Гайсин Р. М., Набатов В. В., Потапов П. В., Цариков А. Ю. Моделирование электрических полей в условиях шахтной электроразведки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 9. – С. 5-10.
4. Гайсин Р.М., Цариков А.Ю. Оценка влияния положения зоны нарушения на величину аномального сигнала в подземной электроразведке // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2018. – №7.
5. Гайсин Р.М., Потапов П.В., Цариков А.Ю. Обработка данных подземной электроразведки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. № 2. С. 46-51.

# **ПРИБОР КОНТРОЛЯ ПЫЛЕВОГО ОТЛОЖЕНИЯ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ, ОСНОВАННЫЙ НА РАДИОИЗОТОПНОМ ПРИНЦИПЕ**

**Дегтерев В.В., Кобылкин А.С.**

*Институт проблем комплексного освоения недр  
им. академика Н.В. Мельникова РАН  
НИТУ «МИСиС»*

Основной проблемой при проектировании радиоизотопных методов контроля пылевых отложений и пылевых аэрозолей является подбор источника ионизирующего излучения. На такой источник накладывается ряд, с первого взгляда, противоречивых ограничений.

Во-первых, этот источник должен отвечать параметрам, обеспечивающим пожаровзрывобезопасность, для возможности эксплуатации в условиях подземных горных выработок с соблюдением всех требований, предъявляемых к шахтному оборудованию.

Во-вторых, источник должен быть безопасным для обслуживающего персонала и окружающей среды, даже при нарушении условий эксплуатации.

В-третьих, источник должен излучать достаточное количество частиц, чтобы обеспечить минимальное время измерений, и с достаточной энергией, чтобы преодолеть воздушные зазоры между источником и измерительными элементами, а также материал фильтра-накопителя пылевого осадка и оболочку датчика (слюдяное окно счётчика Гейгера-Мюллера или стеклянное окно фото-электронного умножителя).

В-четвёртых, система источник/приёмник излучения не должна потреблять слишком много электрической энергии, чтобы удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к искробезопасной электрической цепи. Уменьшение токов потребления также благотворно скажется на массо-габаритных показателях прибора.

В-пятых, любой прибор системы пылевого контроля должен быть достаточно мобильным, чтобы обеспечивать как оперативное перебазирование при передвижении источника пыли (при удалении выемочного комбайна), так и минимальную нагрузку на борта горных выработок. Уменьшение массо-габаритных показателей также упростит установку и снятие прибора, сделает его более удобным в обращении.

Система измерения, удовлетворяющая всем представленным требованиям, не может содержать источники рентгеновского и гамма-излучения, в силу массогабаритных параметров и параметров энергопотребления первого, и необходимости наличия биологической защиты последнего. Материалы, которые используются для биологической защиты от проникающей радиации (свинец, обеднённый уран), сами являются крайне ядовитыми для окружающей среды, а нарушение биологической защиты может привести к радиационным поражениям различной степени тяжести.

Источники альфа-излучения (плутоний, америций и т.д.) на первый взгляд удовлетворяют всем предъявляемым требованиям, однако имеют ряд существенных недостатков, главным из которых является невозможность использования данных источников для пылевого контроля, так как в силу особенностей альфа-частиц они полностью задерживаются пылевыми частицами. При этом, столкнувшись с пылевой частицей, ядро гелия либо полностью поглощается ей, либо кардинально изменяет траекторию полёта. Также особое внимание следует уделить особой токсичности альфа-излучающих изотопов, превышающей токсичность таких известных ядов, как мышьяк, таллий и свинец. Иными словами, разгерметизация источника альфа-излучения может нанести труднооценимый вред окружающей среде и здоровью обслуживающего персонала.

Из промышленно-доступных чистых бета-излучающих изотопов можно рассмотреть тритий, углерод-14 и технеций-99.

Добываемый в промышленных количествах тритий имеет газообразную форму, что серьёзно ограничивает сферу его применения, так как ампулы с радиоактивным газом представляют определённую опасность. Средняя энергия бета-частиц, излучаемых тритием, составляет 5,7 кэВ, а воздушный зазор, который преодолевают эти частицы, составляет 6 мм [1]. Только незначительное количество частиц будет способно преодолеть материал ампулы-контейнера и фильтра-пыленакопителя.

Углерод-14, как один из наиболее распространённых в природе радиоактивных элементов, входит в состав тканей всех живых организмов на Земле. Это твёрдый элемент, получаемый как побочный продукт в результате распада радиоактивных элементов в ядерном реакторе. Также углерод-14 непрерывно образуется в атмосфере под действием солнечной радиации. Средняя энергия бета-частиц составляет 49 кэВ, а преодолеваемый ими воздушный зазор – 24 см [2]. Для человека и окружающей среды углерод-14 считается относительно безопасным, производится множество меченых радиоактивных лекарственных препаратов, например, препараты для уреазного дыхательного теста, принимаемые человеком перорально [3].

Технеций-99 – это один из продуктов распада урана-235. Это также твёрдый элемент со средней энергией бета-частиц 293,5 кэВ. Преодолеваемый частицами воздушный зазор составляет примерно 60 см [4]. Как и рассмотренные ранее тритий и углерод-14, технеций-99 относится к веществам с низкой степенью опасности. Существуют медицинские исследования, при которых пациенту парентерально вводят гораздо более опасный (за счёт мягкого гамма-излучения) изомер технеция – технеций-99м [5].

Таким образом, наиболее предпочтительными для применения в сфере пылевого контроля представляются радиоактивные источники с изотопами углерода и технеция. Относительная химическая пассивность чистого углерода и низкая энергия излучаемых бета-частиц делают его наиболее безопасным для человека и окружающей среды. Продуктом распада радиоактивного углерода является азот-14, стабильный не радиоактивный элемент, т.е. в процессе распада не образуется новых опасных элементов. Период полураспада углерода-14 также достаточно велик (5703 года), чтобы обеспечить стабильную работу прибора в течение всего срока его службы.

С точки зрения доступности, углерод-14 также представляется хорошим выбором, поскольку существуют безопасные и удобные в применении стандартные калиброванные источники [6].

Уже довольно длительное время в ИПКОН ведутся разработки приборов на основе радиоизотопного принципа измерения пылевых отложений. Как показано в работе [7], массовая доля отложившейся пыли на единицу поверхности легко вычисляется как функция от количества поглощённых бета-частиц. Также в работах [8, 9] рассмотрена теоретическая основа радиоизотопного метода.

С практической точки зрения возможны два основных варианта реализации прибора для измерения пылевых отложений: с открытым источником ионизирующих излучений и с закрытым источником ионизирующих излучений. Как у первого, так и у второго варианта есть свои достоинства и недостатки. Если в случае открытого источника несомненным преимуществом является отсутствие движущихся частей, то для закрытого источника – это возможность исключить влияние инертной пыли во время проведения осланцеваний.

Поскольку современный прибор должен отвечать, в первую очередь, требованиям к надёжности и точности измерений, вторая схема (с закрытым источником) представляется более перспективной (рис. 1).

Конструкция прибора содержит корпус (1), защищающий прибор от внешних воздействий, источник ионизирующих излучений (2), выдвижной язычок с фильтр-подложкой (3) и печатную плату (4) с закреплённым на ней детектором ионизирующих излучений (5).

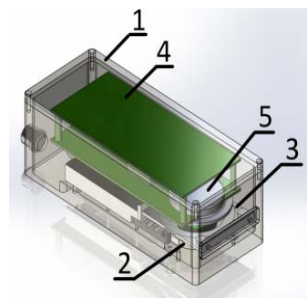


**Рис. 1. Внешний вид прибора**

Измерительный процесс начинается с выдвижения язычка прибора, на котором закреплён фильтр для сбора пыли. В течение всего цикла отбора пробы пыли язычок прибора остаётся выдвинутым, закрывая от пыли внутреннее пространство прибора. По завершению цикла отбора пробы, язычок задвигается для проведения подсчёта отложившейся пыли.

Счётчик Гейгера-Мюллера со слюдяным окном подсчитывает количество бета-частиц, прошедших через фильтр-подложку с отложившейся на ней пылью, а микропроцессор вычисляет массовую долю пылевого осадка и записывает результат вычисления в энергонезависимую память. Результаты измерений затем могут быть считаны через интерфейсный разъём напрямую в компьютер, либо посредством системы сбора и обработки данных попадают в АСУТП горного предприятия, либо в систему аэрогазовой защиты [10].

Такая конструкция позволяет если не полностью исключить влияние осланцеваний на результат измерений (язычок прибора и фильтр закрываются на время проведения обеспыливающих мероприятий), то существенно повысить точность измерений за счёт уменьшения влияния на результаты измерений инертной пыли.

При соблюдении условий эксплуатации прибора ремонт в течение всего срока службы не требуется.

Поскольку используемый в приборе радиоизотопный источник обладает активностью меньшей, чем минимально значимая активность, и находится внутри прочного корпуса, прибор не нанесёт вреда окружающей среде даже в случае разгерметизации. Следовательно, при эксплуатации прибора требуется соблюдать такие же требования техники безопасности, как и для любого другого измерительного прибора. Единственным ограничением, которое накладывается на эксплуатацию прибора, – это наличие учёта приборов на предприятии и то, что утилизация прибора должна осуществляться на предприятии-изготовителе.

Лабораторные испытания прибора показали, что прибор обеспечивает погрешность измерения до 10% при времени подсчёта 120 секунд.

В качестве примера приведем количество бета-частиц, считанных счётчиком Гейгера-Мюллера при трёх измерениях одного и того же количества пыли, отложившейся на фильтр подложку (табл. 1).

**Таблица 1 – Количество бета-частиц, считанных счётчиком Гейгера-Мюллера**

| Время измерения, с | Измерение №1, количество подсчитанных бета-частиц | Измерение №2, количество подсчитанных бета-частиц | Измерение №3, количество подсчитанных бета-частиц |
|--------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 10                 | Counted: 601                                      | Counted: 598                                      | Counted: 607                                      |
| 20                 | Counted: 923                                      | Counted: 896                                      | Counted: 921                                      |
| 30                 | Counted: 1213                                     | Counted: 1203                                     | Counted: 1188                                     |
| 40                 | Counted: 1497                                     | Counted: 1503                                     | Counted: 1464                                     |
| 50                 | Counted: 1785                                     | Counted: 1823                                     | Counted: 1752                                     |
| 60                 | Counted: 2101                                     | Counted: 2144                                     | Counted: 2048                                     |
| 70                 | Counted: 2377                                     | Counted: 2419                                     | Counted: 2333                                     |
| 80                 | Counted: 2663                                     | Counted: 2717                                     | Counted: 2607                                     |
| 90                 | Counted: 2966                                     | Counted: 3020                                     | Counted: 2875                                     |
| 100                | Counted: 3285                                     | Counted: 3262                                     | Counted: 3154                                     |
| 110                | Counted: 3582                                     | Counted: 3549                                     | Counted: 3424                                     |
| 120                | Counted: 3839                                     | Counted: 3841                                     | Counted: 3738                                     |

Погрешность подсчёта количества бета-частиц при проведении данных лабораторных испытаний составила 3,3 %. Что говорит о высокой надёжности измерения пылевых отложений с использованием разработанного прибора. В дальнейшем планируется провести дополнительные исследования и испытания прибора для выявления факторов, влияющих на результаты измерений.

#### Список литературы

1. Nuclide Safety Data Sheet Hydrogen-3 [Tritium] [https://www.uwyo.edu/risk/safety/\\_files/docs/procedures/nuclearsafetydatasheets/3hpdf.pdf](https://www.uwyo.edu/risk/safety/_files/docs/procedures/nuclearsafetydatasheets/3hpdf.pdf)
2. Nuclide Safety Data Sheet Carbon-14 [https://www.uwyo.edu/risk/safety/\\_files/docs/procedures/nuclearsafetydatasheets/14cpdf.pdf](https://www.uwyo.edu/risk/safety/_files/docs/procedures/nuclearsafetydatasheets/14cpdf.pdf)
3. Новый сканер усовершенствовал и удешевил урезанный дыхательный тест на Helicobacter pylori <https://www.kommersant.ru/doc/2835941>
4. Radionuclide and radiation protection data handbook 2002 [https://www.nuc.berkeley.edu/sites/default/files/resources/safety-information/Radionuclide\\_Data\\_Handbook.pdf](https://www.nuc.berkeley.edu/sites/default/files/resources/safety-information/Radionuclide_Data_Handbook.pdf)
5. Williams, SJ, Mousa, SA, Morgan, RA, Carroll, TR, Maheu, LJ. Pharmacology of Tc-99m isonitrite: agents with favorable characteristics for heart imaging (abstr). J Nucl Med. 1986;27:877.
6. Электронный ресурс [http://www.khlopun.ru/docs/products/source/E\\_ORIBI.pdf](http://www.khlopun.ru/docs/products/source/E_ORIBI.pdf)
7. Кубрин С.С., Решетняк С.Н., Дегтерёв В.В. Радиоизотопный метод контроля пылеотложений. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № S29. С. 26-38.

8. Кудряшов В.В. Радиоизотопный метод в решении проблемы пылевого контроля в угольных шахтах, Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S1. С. 343-362.

9. Палкин А.Б., Кудряшов В.В., Непрерывное измерение концентрации пыли радиоизотопным методом, Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. № 9. С. 110-112.

10. Дегтерев В.В., Кубрин С.С., Белоусов Ф.С., Терёшкин А.И. Автоматизация аэрогазового контроля горных выработок с использованием распределённых систем мониторинга запылённости.

#### ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ

**Агарков И.И., Лавриненко А.А., Сыса П.А.**

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

Магнитная сепарация имеет ряд неоспоримых преимуществ, при обогащении слабомагнитных материалов. Однако энергоэффективность существующих высокоградиентных магнитных сепараторов оставляет желать лучшего и в ряде случаев является причиной отказа от магнитной технологии обогащения.

Применение сверхпроводящих материалов при изготовлении магнитных систем сепараторов позволит на порядок снизить энергопотребление и материалоемкость магнитных сепараторов для обогащения слабомагнитных минералов.

Последние разработки в области сверхпроводящих материалов позволяют изготавливать магнитные системы, работающие при охлаждении жидким азотом, что значительно упрощает их конструкцию и эксплуатацию.

Оптимальный диапазон магнитной индукции для большинства задач от 2 до 5 Тл. Наиболее применяемая на сегодня конструкция – роторный высокоградиентный сепаратор.

В настоящее время проведено много работ по выявлению наиболее эффективной конструкции аппарата для осуществления магнитной сепарации на основе применения сверхпроводящих магнитов.

В ИПКОН РАН проводятся направленные исследования по изучению влияния параметров конструкции магнитного гидроциклона и режимов сепарации на селективность процесса при его высокой производительности. Полученные данные позволяют выделить наиболее эффективную конструкцию. Нами было изучено влияние множество параметров, которые влияют на качество обогащения – например, такие как изменение напряженности магнитного поля.

При проектировании сепараторов с ВТСП магнитной системой учитываются особенности применения сверхпроводящих материалов, такие как наличие большого градиента температуры, высокая индукция магнитного поля и необходимость поддержания тока в обмотках магнитной системы строго в определенных пределах.

Применение сверхпроводящих магнитных систем позволит вовлечь в оборот ранее считавшиеся забалансовыми месторождения и техногенные образования слабомагнитных руд, а также существенно повысит качество концентратов.

#### Список литературы

1. Дерягина И.П., Попова Е.Н., Романов Е.П. Разработка и создание промышленных сверхпроводников на основе  $[\text{Nb}]_3\text{Sn}$  и  $\text{NbTi}$ . Вестник Омского университета. 2013 №2 с. 57-65.
2. Karmazin V.V., Bardovskiy V.A., Zamytskiy O.V. Development of a continuous chamber high-gradient magnetic separator with a strong fields / Печатный 0.5 у.л. MES, V.6, OPA, 2001.
3. Juergen Kopp, «Superconducting magnetic separators», Magnetic and Electrical Separation, vol.3, September 1991, pp 17-32.
4. Разработка высокоградиентных магнитных сепараторов на основе высокотемпературных сверхпроводниковых систем / Тагунов Е.Я., Измалков В.А., Пучков В.А., Тагунов П.Е., Диев Д.Н., Макаренко М.Н. // Грант Министерства науки и высшего образования РФ. Соглашение № 14.604.21.0175 26/09/2017 RFMEFI60417X0175.

### АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ В РЕСПУБЛИКЕ АНГОЛА

Гомес А.Ш.С., Воробьев К.А., Щерба В.А.

*Российский университет дружбы народов, г. Москва*

На основании данных из МЭА, в 1 барр ангольской нефти (Рамаш Анголанташ) может содержаться, в среднем,  $15,9 \text{ м}^3$  попутного нефтяного газа. Однако, отношение выделившегося газа к добываемой нефти (газовый фактор) варьируется в зависимости от месторождения добычи, а также изменяется во времени на том же месторождении. В 2017 году, в Анголе, при добыче 1,632 млн барр нефти в сутки в, суточная добыча ПНГ составила  $25,95 \text{ млн м}^3$ , или приблизительно 9,48 млрд  $\text{м}^3$  в год. Из этого объема, 43,7% было сожжено на факелах, 9,9% использовался в нефтяной промышленности, с целью выработки электроэнергии на платформах, 14,8% было повторно закачено в нефтяной пласт для интенсификации добычи нефти, а 31,6% использовался на производство сжиженного углеводородного газа (СУГ) и сжиженного природного газа (СПГ) [3].

**Таблица 1 – Сводная таблица экономических параметров способов утилизации ПНГ**

|                                                                | сжига-<br>ние          | закачка<br>в пласт   | генера-<br>ция      | неглубокая<br>перера-<br>ботка | глубокая<br>перера-<br>ботка |
|----------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| капитальные<br>вложения, долл<br>США на тыс $\text{м}^3$       | 1,5                    | 67                   | 83,5                | 229,3                          | 211                          |
| экономический<br>эффект / ущерб                                | -42,77                 | -                    | 79,5                | 116,2                          | 302,7                        |
| упущенная<br>выгода, долл<br>США на тыс $\text{м}^3$           | от -42,77<br>до -345,2 | от 45,85<br>до 302,6 | от 36,7<br>до 223,2 | 186,5                          | -                            |
| экологический<br>ущерб, в эквива-<br>ленте млн т $\text{CO}_2$ | 7,1                    | -                    | 1,2                 | -                              | -                            |

Источник: сделано автором на основе данных Всемирного фонда дикой природы [2]

Для переработки ПНГ в Анголе, разработана плавучая установка для производства СУГ, его хранения и отгрузки. **Плавучая установка по переработке ПНГ в сжиженный углеводородный газ, получившая название Sanha LPG FPSO**, представляет собой судно для переработки, хранения и разгрузки СУГ на шельфе. Sanha LPG FPSO представляет собой первый случай, когда завод по производству СУГ был установлен на плавучей конструкции. Судно является ключевой частью проекта под названием Condesate Sanha. Этот проект от нефтяной компании Chevron, возможно, является одним из крупнейших проектов по закачке и переработки газа, так как позволяет сократить на 50% сжигание в Блоке 0 – крупнейший блок в стране. Проект Sanha, оцениваемый в 1,9 млрд долл США, состоит из новой трубопроводной системы для сбора газа с месторождения, расположенных в Блоке 0.

Блок 0 расположен в прибрежной зоне Кабинды, Ангола, примерно в 30 милях от берегового терминала Малонго, который принадлежит нефтяной компании Cabinda Golf Oil Company.

Ангольский филиал Chevron, Cabinda Golf Oil Company (Cabgoc) (39,2%) управляет блоком от имени своих партнеров, включая Sonangol (41%), Total (10%) и ENI (9,8%). Cabgoc и Sonangol также участвуют в деятельности судна Санья [5].

Цель проекта заключается в ликвидации факельного сжигания газа при добыче и закачке этого газа для увеличения добычи нефти и производства СУГ в районах В и С Блока 0 на шельфе Кабинды, Западная

Африка. Проект позволит сократить сжигание в блоке 0 более чем на 40%. Сокращение сжигания позволит сократить выбросы углекислого газа на 2,2 млн. тонн в год. Проект имеет пиковую подготовку более 100 тыс. барр. углеводородов (нефть, конденсат и СУГ) в день [5].

Для получения СУГ в пределах акватории в непосредственной близости к платформе, ведущей разработку, было построено 260-метровое судно, которое имеет возможность перерабатывать более 37 тыс. барр. СУГ в день на пропан и бутановые продукты.

Установка получает большую часть СУГ из соседнего комплекса Конденсат Санья и меньшего количества сжиженного нефтяного газа из установки F-GIP. Оборудование по производству СУГ будет включать в себя газовые сепараторы, газовые холодильники и установки для рефракции отходящего газа. Смешанный СУГ, полученный с двух платформ по производству СУГ в блоке 0, будет фракционирован на борту судна для разделения продуктов бутан и пропан. Затем каждый продукт охлаждается для хранения в резервуарах и периодически передается на экспортные танкеры СУГ для отгрузки и продажи. Судно охлаждает и хранит 135 тыс. м<sup>3</sup> пропана и бутановых продуктов в 6 специальных резервуарах СУГ. В судне есть помещения для размещения членов экипажа в 60 человек [1].

**Таблица 2 – Основные характеристики установки Sanha LPG FPSO**

| Тип                                                       | Плавучая установка для переработки, хранения и разгрузки СУГ                  |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Оборудование                                              | Депропанизатор, также оборудование для охлаждения и повторного сжижения газа. |
| Общая длина, м                                            | 262,8                                                                         |
| Длина между перпендикулярами, м                           | 230,0                                                                         |
| Ширина наибольшая, м                                      | 49,0                                                                          |
| Высота борта, м                                           | 29,3                                                                          |
| Величина, тыс дедвейт тонн                                | 94                                                                            |
| Емкость хранилища, тыс м <sup>3</sup>                     | 135                                                                           |
| Глубина воды, м                                           | 58                                                                            |
| Количество райзеров                                       | 2 x 152,4 мм для СУГ; 1 x 101,6 мм для топливного газа; 1x шлангокабеля       |
| Максимальная пропускная способность, тыс барр СУГ в сутки | 37,4                                                                          |

Источник: сделано автором на основе данных нефтяной компании Chevron.

Установка Sanha LPG FPSO – это постоянное одноточечное пришвартованное судно, предназначенное для того, чтобы оставаться на якоре на месторождении Санья более 20 лет без докования. Установка является крупнейшим в мире с точки зрения емкости хранения СНГ и первой новой сборки LPG FPSO.

**Завод по производству сжиженного природного газа (СПГ) и сжиженного углеводородного газа (СУГ) «Angola LNG»** является одним из крупнейших энергетических заводов на африканском континенте и первым заводом по сжижению природного газа в Анголе. Завод Angola LNG, расположенная в Сою и эксплуатируемая компанией Angola LNG Limited, коммерциализирует ПНГ и его продукты, добываемый Chevron, BP, ENI, Total и другими операторами по добыче сырой нефти.

Завод Angola LNG, стоимостью 10 млрд. долл. США, выделяется на фоне других глобальных ГПЗ тем, что завод изначально будет снабжаться попутным газом, добываемым в ходе эксплуатации нефтяных месторождений. Таким образом, проект завод внесет значительный вклад в ликвидацию факельного сжигания газа в стране, что позволит разрабатывать морские запасы нефти более экологически устойчивым образом, тем самым сокращая выбросы CO<sub>2</sub> примерно на девять миллионов тонн в год, что эквивалентно выводу около двух миллионов автомобилей с дороги.

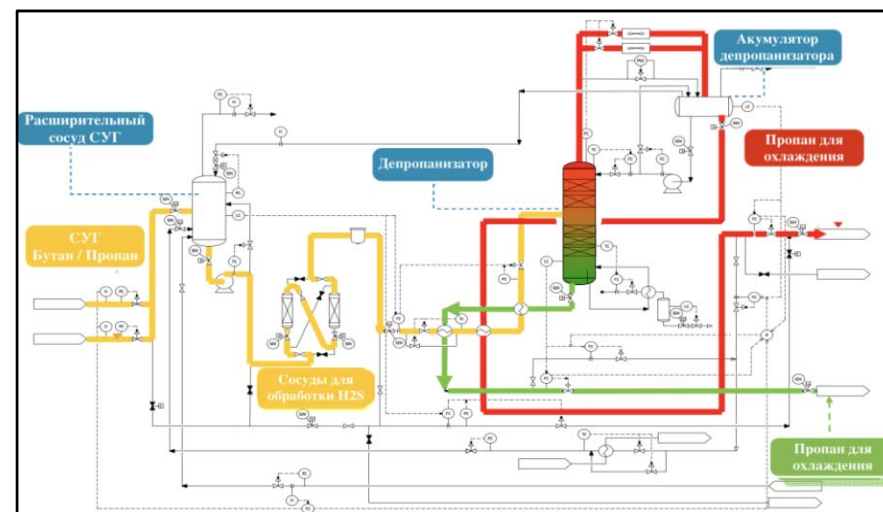


**Рис.1. Схема технологического процесса Sanha LPG FPSO [5]**

Проект является результатом партнерства между Sonangol (22,8%), Chevron (36,4%), BP (13,6%), ENI (13,6%) и Total (13,6%). Мощность по сбору, переработке и поставке ПНГ составляет 5,2 млн тонн СПГ (4 млрд м<sup>3</sup>) в год на ангольской и мировой рынок [41].

**Таблица 3 – Мощность ГПЗ Angola LNG**

|                                                                       |       |
|-----------------------------------------------------------------------|-------|
| Суточная пропускная способность объекта, млн м <sup>3</sup> СУГ и СПГ | 31,14 |
| Среднесуточная переработка, млн м <sup>3</sup> СУГ и СПГ в 2018 году  | 19,39 |
| Средняя общая суточная переработка, барр СУГ и СПГ в 2018 году        | 23000 |

Источник: сделано автором на основе данных от нефтяной компании Chevron [4].

Первая поставка 160 тыс. м<sup>3</sup> СПГ, предназначенных для Бразилии, была проведена на терминале регазификации Petrobras в заливе Гуанабара, Рио-де-Жанейро, в июне 2012 года на борту танкера под названием Sonangol Sambizanga [6].

В 2013 году, объем экспортируемого СПГ страной составило 509 млн м<sup>3</sup>. Пункты назначения продукта были такие страны как Бразилия, Япония, Китай и Южная Корея. В апреле 2014 года ГПЗ Angola LNG закрылась из-за постоянных технических проблем. Эти проблемы привели к нечастому экспорту. Технические проблемы, с которыми столкнулся завод, включают электрические пожары, утечки и разрывы трубопроводов, а также разрушенную буровую установку, которая привела к смерти рабочего. Bechtel, подрядчик завода, работает над капитальным ремонтом завода СПГ.

В 2016 году, завод вернулся в строй и объем экспортируемого СПГ в этом же году, составил 1,2 млрд м<sup>3</sup>. Объем внутреннего потребления сильно вырос в 2017 году, составив 2,5 млрд м<sup>3</sup> при общем производстве СПГ 3,1 млрд м<sup>3</sup> (см. рис.6) [6].

**В заключение** нужно отметить, что анализ инновационных технологий утилизации ПНГ в Анголе свидетельствует о том, что: стандарты качества для установки Sanha LPG FPSO намного выше, чем обычно применяются в судостроении; завод Angola LNG может похвастаться рабочей силой, которая в настоящее время оснащена опытом в каждом аспекте производства СПГ и СУГ от строительства завода, ввода в эксплуатацию и логистики.

Для дальнейшего развития газовой промышленности в стране необходимо осуществить следующие мероприятия: разработать стратегию развития газового сектора и правовые основы для своих инвестиций; поощрять интерес компаний к разработке национальных запасов газа; разрабатывать современные проекты по использованию ПНГ.

## Список литературы

1. Гомес А. Ш. С. Оптимизация использования попутного нефтяного газа в Республике Ангола // Сборник трудов 73-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2019». – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. – 2019. – С. 94-99.
2. Щерба В.А., Гомес А. Ш. С., Воробьев К. А. Проблемы и перспективы утилизации попутного нефтяного газа в Российской Федерации // Журнал Проблемы региональной экологии. – 2019. – №1. – С. 139-145.
3. Agência Internacional de Energia. ANGOLA Desenvolvimento de uma estratégia para a energia / Agência Internacional de Energia. – Paris: OECD/IEA, – 2006. – P. 175.
4. Chevron [Электронный ресурс] / The Angola Liquefied Natural Gas (ALNG) Project. – Режим доступа: <https://www.chevron.com/projects/angola-lng> (Дата обращения: 05.05.2019 г.).
5. Ruyte, W., Pellegrino, S., Cariou, H. The Sanha LPG FPSO / Ruyte, Willem de, Pellegrino, Sean, Cariou, Hervé. – Cairo: ChevronTexaco, – 2005. – P. 18.
6. The Angola LNG Limited [Электронный ресурс] / Safely producing and delivering angolan LNG to the world. – Режим доступа: <https://www.angolalng.com> (Дата обращения: 01.05.2019 г.).

## ОЦЕНКА СЫПУЧЕСТИ ПРОСТЕЙШИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ, СОДЕРЖАЩИХ В КАЧЕСТВЕ ГОРЮЧЕГО ВТОРИЧНЫЕ ЖИДКИЕ И ТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Франтов А.Е., Лапиков И.Н., Мингазов Р.Я.**

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

Гранулированные простейшие взрывчатые вещества (ВВ) являются высоко эффективным средством в технологии подготовки горных пород к выемке. Помимо этого, использование в их составе в качестве горючего компонента – резиновой крошки, коксовой мелочи, либо отработанного моторного масла, – позволяют решать проблему утилизации отходов горного производства, а также повысить рентабельность и производительность процесса отбойки горных пород.

Процесс изготовления простейших ВВ на местах производства взрывных работ включает: загрузку бункеров для хранения селитры (АС), перегрузку АС шнеками в устройства для смешения с горючими компонентами, транспортировку шнеками в бункеры готового ВВ, перегрузку готового ВВ в бункеры смесительно-зарядных машин (СЗМ), зарядание скважин из СЗМ на блоке. Важным свойством простейших ВВ в рассмотренных технологических операциях является способность

образовывать дискретно-непрерывный устойчивый поток, характеризующий их сыпучестью. Подвижность частиц сыпучего материала определяет характеристики истечения из бункеров (отсутствие образования статичных сводов над отверстием воронки бункера, потеря сыпучести вплоть до залегания в бункере и др.).

Методы оценки сыпучести гранулированных материалов включают такие критерии, как время и скорость высыпания через отверстие конической воронки, угол естественного откоса, угол обрушения, угол ссыпания, коэффициент внутреннего и внешнего трения, угол ската [1; 2; 3]. На сыпучесть оказывают влияние состав и свойства компонентов сыпучего материала, гранулометрический состав, влажность. Оценка сыпучести может быть выполнена с помощью прибора ВТ-1000, по ГОСТ 25139-93, по ГОСТ 28254-89 и с помощью других приборов. Для определения сыпучести простейших ВВ использована их способность равномерно истекать через отверстие в трубе определенного диаметра.

Исследуемые простейшие ВВ изготавливались на основе следующих компонентов: селитра аммиачная (АС) по ГОСТ 2-2013; селитра аммиачная пористая (ПАС) по ТУ 2143-073-0576143-2013; поризованная селитра (ПорАС), полученная из селитры аммиачной ГОСТ 2-2013; дизельное топливо (ДТ) по ГОСТ 305-2013; нефтепродукты отработанные групп ММО; резиновая крошка, угольный порошок; мелочь коксовая. Селитра аммиачная была представлена продукцией химических предприятий из г. Новомосковска и г. Кемерово.

Изготовление и контроль сыпучести гранулитов ИСУ-1, ИСУ-2ТС, ИСУ-3У-1, ИСУ-4К-1, ИСУ-4К-2, ИСУ-5Р-1, ИСУ-6Т, ИСУ-7П проводился на полигоне стационарного пункта приготовления невзрывчатых компонентов эмульсионных взрывчатых веществ ООО «Управление по буровзрывным работам – Тугнуйский филиал». Изготовление гранулитов производилось ручным и механизированным способами. В качестве критерия сыпучести гранулитов ИСУ был использован угол естественного откоса материала. Определение угла естественного откоса проводилось по «Методике полигонных испытаний гранулитов ИСУ», разработанной ИПКОН РАН и предусматривающей использование в качестве измерительного прибора мерный цилиндр с внутренним диаметром 45 мм и длиной 200 мм. В измерительный прибор засыпался исследуемый образец гранулита – ИСУ-1, ИСУ-2ТС, ИСУ-3У-1, ИСУ-4К-1, ИСУ-4К-2, ИСУ-5Р-1, ИСУ-6Т или ИСУ-7П. Заполненный гранулитом ИСУ измерительный цилиндр ставился на плоскую поверхность вертикально, далее он поднимался вверх, образуя на горизонтальной поверхности естественную насыпь в виде конуса. Параметры образованного конуса фиксировались мерной линейкой. Фото измерения элементов конуса представлены

на рис. 1. Результаты фиксировались с помощью фотометрической техники и показаны на рис. 1-14, обработка результатов представлена в таблице 1. Дополнительно были проведены испытания гранулированной селитры ПАС и АС ГОСТ 2-2013 по вышеописанной методике. Также был произведен отбор проб контрольных образцов гранулита ИСУ-3У-1 на заряжаемом блоке, по которым определена его сыпучесть.

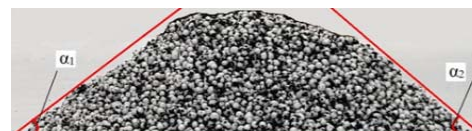


Рис. 1. Элементы измерения конуса



Рис. 2. Гранулит ИСУ-1



Рис. 3. Гранулит ИСУ-2ТС



Рис. 4. Гранулит ИСУ-3У



Рис. 5. Гранулит ИСУ-3У-1  
(первый образец из СЗМ)



Рис. 6. Гранулит ИСУ-3У-1  
(первый образец из СЗМ через  
1 час 30 мин)



Рис. 7. Гранулит ИСУ-3У-1  
(второй образец из СЗМ)



Рис. 8. Гранулит ИСУ-4К-2



Рис. 9. Гранулит ИСУ-5Р-1



Рис. 10. Гранулит ИСУ-6Т  
(АС – г. Новомосковск)



Рис. 11. Гранулит ИСУ-6Т  
(АС – г. Кемерово)



Рис. 12. Гранулит ИСУ-7П



Рис. 13. ПАС (г. Новомосковск)



Рис. 14. АС ГОСТ 2-2013 (г. Кемерово)

Таблица 1 – Параметры конуса при определении угла естественного откоса гранулитов ИСУ, ПАС, АС и результаты испытаний

| Угол ест. откоса,<br>$\alpha_{\text{ср}}$ град.           | Параметры конуса |       | Примечание                         |
|-----------------------------------------------------------|------------------|-------|------------------------------------|
|                                                           | h, см            | L, см |                                    |
| 1                                                         | 2                | 3     | 4                                  |
| <b>ИСУ-1 (АС – г. Новомосковск)</b>                       |                  |       |                                    |
| 45,5                                                      | 10,5             | 45,1  | Нет разброса гранул от общей массы |
| <b>ИСУ-1 (АС – г. Кемерово)</b>                           |                  |       |                                    |
| -                                                         | -                | 48,4  | Нет разброса гранул от общей массы |
| <b>ИСУ-2ТС-1 (АС – г. Новомосковск)</b>                   |                  |       |                                    |
| 47,5                                                      | 8,5              | 48,6  | Разброс гранул 1%                  |
| <b>ИСУ-2ТС (АС – г. Кемерово)</b>                         |                  |       |                                    |
| 48,5                                                      | 6,5              | 44,2  | Нет разброса гранул от общей массы |
| <b>ИСУ-3У-1 (АС – г. Кемерово, ПАС – г. Новомосковск)</b> |                  |       |                                    |
| 40                                                        | 5,5              | 53,7  | Разброс гранул 2-3 %               |
| <b>ИСУ-3У-1 образец из СЗМ (через 1,5 часа)</b>           |                  |       |                                    |
| 45                                                        | 5,3              | 53    | Разброс гранул 1%                  |

Продолжение табл. 1

| 1                                                                     | 2    | 3    | 4                    |
|-----------------------------------------------------------------------|------|------|----------------------|
| <b>ИСУ-3У-1 образец из СЗМ (первый)</b>                               |      |      |                      |
| 30                                                                    | 4    | 60   | Разброс гранул 1%    |
| <b>ИСУ-3У-1 образец из СЗМ (второй)</b>                               |      |      |                      |
| 30,5                                                                  | 4    | 56   | Разброс гранул 1-2%  |
| <b>ИСУ-4К (АС – г. Новомосковск)</b>                                  |      |      |                      |
| 39                                                                    | 9,86 | 44,5 | Разброс гранул 2-3%  |
| <b>ИСУ-4К-1 (АС (90%) – г. Кемерово, ПАС (10%) – г. Новомосковск)</b> |      |      |                      |
| 43                                                                    | 4,5  | 47,1 | Разброс гранул 1%    |
| <b>ИСУ-4К-2 (АС (80%) – г. Кемерово, ПАС (20%) – г. Новомосковск)</b> |      |      |                      |
| 29                                                                    | 4    | 56,4 | Разброс гранул 2-3%  |
| <b>ИСУ-5Р (АС – г. Новомосковск)</b>                                  |      |      |                      |
| 42,5                                                                  | 10   | 49,4 | Разброс гранул 3-4 % |
| <b>ИСУ-5Р-1 (АС – г. Новомосковск)</b>                                |      |      |                      |
| 47,5                                                                  | 8,5  | 54,4 | Разброс гранул 4-5 % |
| <b>ИСУ-6Т (ПорАС на основе АС – г. Новомосковск)</b>                  |      |      |                      |
| 32,5                                                                  | 6    | 53,2 | Разброс гранул 1%    |
| <b>ИСУ-6Т (ПорАС на основе АС – г. Кемерово)</b>                      |      |      |                      |
| 40                                                                    | 7    | 50,5 | Разброс гранул до 1% |
| <b>ИСУ-7П (ПАС – г. Новомосковск)</b>                                 |      |      |                      |
| 32,5                                                                  | 3,9  | 60,8 | Разброс гранул 1-2%  |
| <b>ПАС (г. Новомосковск)</b>                                          |      |      |                      |
| 20,5                                                                  | 2,8  | 69   | Разброс гранул 2-3 % |
| <b>АС ГОСТ 2-2013 (г. Кемерово)</b>                                   |      |      |                      |
| 29,5                                                                  | 3,3  | 60,8 | Разброс гранул 1-2%  |

где h – высота конуса, L – длина конуса.

### В результате испытаний установлено

1. Угол естественного откоса исследованных видов гранулитов ИСУ-1, ИСУ-2ТС, ИСУ-3У-1, ИСУ-4К-1, ИСУ-4К-2, ИСУ-5Р-1, ИСУ-6Т, ИСУ-7П составляет от 20,5 град. до 48,5 град. На основании проведенных исследований можно заключить, что гранулиты ИСУ обладают достаточно хорошей сыпучестью. Сыпучесть гранулитов ИСУ зависит от физико-механических свойств аммиачной селитры, ее вида (гранулированная, пористая, поризованная) и соотношения в составе, вязкости жидких компонентов, наличия твердых добавок, технологии изготовления и времени заряжания и транспортирования.

2. По результатам выполненного исследования можно заключить, что гранулиты ИСУ обладают различной сыпучестью, что необходимо учитывать в технологии их изготовления в СЗМ и на стационарном пункте ООО «Управление по буровзрывным работам и применения на разрезах АО «Разрез Тугнуйский».

#### Список литературы

1. Справочник химика, том 2. Под ред. Б.П. Никольского, Л: Химия, – 1971, – 1168 с.
2. Справочник химика 21. Химия и химическая технология. [Электронный ресурс] // URL: <https://www.chem21.info/info/87953/> (дата обращения: 10.03.2019).
3. Лекции по категории – Химия [Электронный ресурс] // URL: <https://lektsii.com/Himiya/> (дата обращения: 20.03.2019).

### РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ПОЛОЖЕНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ДЕПРЕССОРНЫХ ПРИСАДОК НА ВЯЗКОСТЬ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ГРАНУЛИТАХ ИСУ

**Франтов А.Е., Мингазов Р.Я., Красюкова Е.В.**

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

Значительная территория Российской Федерации, на которых ведется разработка месторождений полезных ископаемых (угля, алмазов, золота и др. полезных ископаемых), представлена многолетнемерзлыми горными породами. Суровые климатические условия и многолетняя мерзлота оказывают существенное влияние на все технологические процессы разработки месторождений, в том числе на буровзрывные работы. Горные работы в разных климатических зонах ведутся в интервале температур окружающей среды от минус 50°C до плюс 50°C. Круг решаемых задач в области открытой геотехнологии месторождений Севера предопределяется широким спектром проблем, связанных со значительным разнообразием и сложностью как горно-технических, так и климатических условий при разработке месторождений.

Для транспортирования исходных компонентов простейших взрывчатых веществ на заряжаемый блок, изготовления из этих компонентов ВВ и заряжения скважин на открытых горных разработках в районах с умеренным климатом используются смесительно-зарядные машины разных типов: МЗ-3Б-15, МЗ-3Б-8, МСЗ-12-НП-К, МСЗ-12-

ВП-К, МСЗ-15-НП-К и др. Возможность использования в условиях многолетнемерзлых пород сдерживается многими факторами, основными из которых являются: свойства используемых для приготовления ВВ компонентов (физико-технические, технологические взрывчатые, стоимостные показатели), применяемые технические решения, заложенные в конструкцию смесительно-зарядных машин (смешение компонентов в процессе приготовления и заряжания с использованием смесительного шнека и распылительной форсунки).

При изготовлении простейших взрывчатых веществ в качестве окислителя используются разнообразные виды аммиачной селитры (гранулированная, пористая, поризованная), а в качестве горючего могут использоваться различные нефтепродукты – дизельное топливо, масло индустриальное, экстракты нефтяные, нефтепродукты отработанные. Из веществ, применяемых в качестве окислителя в составе промышленных ВВ, в стоимостном выражении наиболее конкурентоспособной является непористая аммиачная селитра. Однако, по впитывающей и удерживающей способности к нефтепродуктам непористая аммиачная селитра уступает применяемым видам пористой аммиачной селитры.

В группе веществ, являющихся горючим в составе простейших ВВ, в стоимостном выражении, дизельное топливо наименее конкурентоспособно по сравнению с индустриальным и отработанным маслом. На горных предприятиях (карьерах и разрезах) образуется значительное количество отходов в виде отработанных нефтепродуктов, которые при соответствующей обработке могут применяться при изготовлении простейших ВВ непосредственно или вблизи мест применения. В соответствии с требованиями взрывных технологий, применяемые для изготовления простейших ВВ нефтепродукты отработанные требуют проведения технологических и технических мероприятий по обезвреживанию, деметаллизации, обеспечения низкотемпературной вязкости.

Структурно-групповой состав базовых масел, определяемый содержанием углеродных атомов в ароматической (Са), нафтеновой (Сн) и парафиновой (Сп) структурах, характеризует рассматриваемый компаунд. В свою очередь, базовые масла в зависимости от содержания ароматических, нафтеновых и парафиновых углеродов характеризуются вязкостью, например, масла 150N и 500N, имеющие соответственно (Са), (Сн) и (Сп) – 18, 38 и 44% и 9, 23 и 68%, имеют вязкость – 150 и 500 сек (секунды Сейболта).

На примере АО «Тугнуйский разрез» отработанные нефтепродукты составляют компаунд из следующих компонентов – масло гидравлическое TEBOIL HYDRAVLIC POLAR OIL 32, масло Лукойл TM-5 80W90 GL-5, масло моторное G-PROFI MSI PLUS 15W40 C1-4/SL, масло TEBOIL SUPER HPD 10W30, масло Лукойл TM-5 85W140 216,5Л, масло M10Г2K SAE30, масло гидравлическое МГЕ-46В.

На полигоне стационарного пункта приготовления невзрывчатых компонентов эмульсионных взрывчатых веществ ООО «Управление по буровзрывным работам – Тугнуйский филиал» было проведено исследование вязкости смеси отработанного моторного масла (Shell Rimula R6 M 10W40). Применительно к рецептуре гранулитов ИСУ-1 и ИСУ-2ТС определена вязкость смеси отработанного моторного масла (ОММ) и дизельного топлива (ДТ) в соотношениях 90%/10% и 50%/50%. Результаты исследования приведены в табл.1.

**Таблица 1 – Вязкость отработанных нефтепродуктов**

| Содержание компонентов в смеси ММО/ДТ | Вязкость при измерении на вискозиметре |             |
|---------------------------------------|----------------------------------------|-------------|
|                                       | Brookfield DVE Viscometer, сП          | ВЗ-246, сек |
| 90/10                                 | 91,4                                   | 27,1        |
| 50/50                                 | 41,5                                   | 21,5        |

В большинстве моторных масел при понижении температуры происходит резкое повышение вязкости, что объясняется склонностью входящих в состав масел углеводородов к ассоциации с образованием аморфных или кристаллических структур. Депрессорные присадки препятствуют структурообразованию, обеспечивая благоприятные реологические и тиксотропные свойства масла.

Наибольшее влияние на вязкостно-температурные свойства масел оказывают парафиновые структуры. Для понижения температуры застывания масла используют депрессорные присадки, механизм действия которых связан с изменением формы и размеров кристаллов парафинов, образующихся при охлаждении масла. В результате уменьшение площади взаимодействия твёрдой и жидкой фаз охлаждённое масло остаётся текучим до более низкой температуры. Добавив депрессорные присадки в отработанные нефтепродукты, возможно сохранить их текучесть и обеспечить требуемую удерживающую способность на гранулах аммиачной селитры.

В качестве присадок применяют продукты полимеризации эфиров метакриловой кислоты и алкилирования фенола или нафталина хлорированным парафином. Полимерные и сополимерные депрессорные присадки – антигели, имеющие в своем составе кислородсодержащие функциональные группы – превосходят присадки других классов. Количество вводимой присадки зависит от содержания парафиновых структур в масле или компаунде и депрессорных свойств самой присадки [1; 2; 3].

Депрессорное действие присадок зависит от их химической природы. Наиболее эффективными являются полимеры алкил(мет)акрилатов, алкилоароматические соединения и сложные эфиры. Полиалкилметакрилатовые присадки являются наиболее распространенным типом полимерных присадок. Зарубежные полиметакриловые присадки – акрилоид, плексол, вископлекс, гарбакрил. Отечественная присадка полиметакриловая депрессорная присадка – ПМА-Д. Представляет собой 30-35% раствор в масле И-20А гомополимера алкилметакрилата C12-C16. [1; 4] Известны композиции сложноэфирных присадок с диалкилнафталином (присадка АзНИИ) или сульфидом триалкилфенолята бария (присадка АзНИИ-ЦИАТИМ-1).

В ИПКОН РАН проведено исследование влияния концентрации присадок на вязкость масел. При проведении исследований использовалось моторное масло марки LUXE DL M10Г2K и депрессорно-диспергирующая присадка ДДП-Антигель 3319. Экспериментальная часть работ проводилась по «Методике определения влияния концентрации присадок на вязкость масел», разработанной в ИПКОН РАН им академика Н.В. Мельникова с определением условной вязкости масла в зависимости от концентрации присадки. Методикой предусматривалось исследование образцов с концентрацией присадок 0%, 0,2%, 0,4% и 0,6%. Повышение концентрации осуществлялось последовательным добавлением присадки в ранее исследованную пробу. Полученные данные приведены в таблице 2, графически зависимость представлена на рисунке 1.

**Таблица 2 – Вязкость (условная) моторного масла при разной концентрации присадки**

| №№ | Концентрация присадки, % | Условная вязкость, сек |
|----|--------------------------|------------------------|
| 1  | 0                        | 56,3                   |
| 2  | 0,2                      | 50,2                   |
| 3  | 0,4                      | 52,5                   |
| 4  | 0,6                      | 51,83                  |

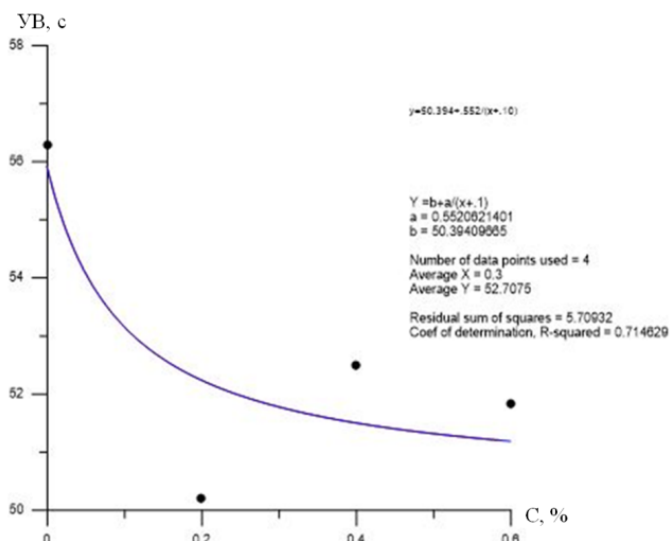


**Рис. 1. Зависимость вязкости (условной) масла LUXE DL M10G2K от концентрации депрессорно-диспергирующей присадки ДДП-Антигель 3319**

### Выводы

1. Разработана «Методика определения влияния концентрации присадок на вязкость масел». Методические подходы, изложенные в разработанной «Методике...», позволяют провести оценку широкого класса депрессорно-диспергирующих присадок. Это способствует осуществлению выбора оптимальных видов присадок для обеспечения требуемых вязкостно-температурных свойств отработанного моторного масла или компаунда масел, которые могут быть использованы при изготовлении гранулитов ИСУ.

2. Ход полученной экспериментальной кривой влияния концентрации депрессорной присадки ДДП-Антигель 3319 на условную вязкость моторного масла LUXE DL M10G2K близок кривой влияния концентрации присадок АзНИИ-ЦИАТИМ-1, ПМА-Д и др. на вязкость растворов дистиллятного и остаточного рафинатов.

3. Депрессорная присадка ДДП-Антигель 3319 обеспечивает снижение вязкости (условной) моторного масла LUXE DL M10G2K на 8-8,5%.

4. Оптимальная концентрация присадки ДДП-Антигель 3319 находится в диапазоне 0,4-0,6 %.

### Список литературы

1. Тертерян Р.А. Депрессорные присадки к нефтям, топливам и маслам. – М.: Химия, 1990. – 238 с.
2. Башкатова С.Т. Присадки к дизельным топливам. – М.: Химия, 1994. – 256 с.
3. Энглин Б.А. Применение жидких топлив при низких температурах. – М.: Химия, 1980. – 208 с.
4. Масла. Депрессорные присадки. [Электронный ресурс] // URL: StudFiles.net/preview/4521122/page:11 (дата обращения: 01.04.2019).

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО НА НЕБЕСНЫХ ТЕЛАХ. ПРЕДПОСЫЛКИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ

Хайрутдинов А.М.<sup>1</sup>, Tyulyaeva Y.S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Российский университет дружбы народов*

<sup>2</sup> *Florida International University, 11200 SW 8th Street,  
AHC-5 360 Miami, FL 33199, USA*

Индустриальное общество не может обходиться без потребления природных ресурсов. В настоящее время объёмы добываемых в мире минеральных ресурсов исчисляются миллиардами тонн, что влечёт за собой бурное развитие горнорудной отрасли, что в совокупности приводит к истощению природных ресурсов. Производственная деятельность горнопромышленного комплекса оказывает значительное воздействие на окружающую среду: в атмосферу выбрасываются вредные вещества, в водоемы сбрасываются загрязнённые сточные воды, а на поверхности земли складывается огромное количество твёрдых отходов. Как правило, площадь территорий, подвергшихся нарушению в результате деятельности горнодобывающих предприятий несравнима с самой территорией разработки, и зачастую превышает площадь прилегающих городов[1],[2].

Возникающие техногенные катастрофы выходят за рамки ранее известных по форме и воздействию на окружающую среду. При разработке месторождений происходят горно-тектонические удары, вызывающие разрушения на поверхности, образование провалов, отмечается техногенная сейсмичность. В России возникло несколько горно-промышленных районов, в которых техногенная сейсмичность стала социальным фактором, привела к повышению опасности эксплуатации других промышленных производств, стала оказывать непосредственное влияние на биологический оптимум для человека [3].

В результате истощения запасов, деятельность горнодобывающих предприятий прекращается и тогда встаёт социальный вопрос, где горнодобывающее предприятие является градообразующим.

Разработка месторождений уходит на большие глубины, что приводит к изменению вертикальной амплитуды природной среды, с учетом глубины разработки и высоты отвалов/терриконов в горнодобывающих районах России достигает 2 000-2 500 м.

В настоящее время влияние деятельности человека в целом и экономические последствия воздействия горного производства в частности на окружающую среду достигло размеров, соизмеримых с влиянием естественных, природных процессов на Земле [4].

Ввиду огромного воздействия горной промышленности на Землю: истощение природных ресурсов; негативное влияние на земную кору (увеличение трещиноватости; исчезновение водотоков грунтовых вод; горно-техногенные удары и землетрясения; разрушение поверхности и образование провалов; изъятие из оборота больших площадей земельных ресурсов); негативное влияние на окружающую среду (загрязнение водоёмов; загрязнение грунтовых вод; загрязнение атмосферы); влияние на биологический оптимум для человека; решение социальных вопросов при истощении запасов, возникли предпосылки прекращению добычи полезного ископаемого на Земле и поиску новых источников природных ресурсов.

Вполне очевидно, что потребности в минеральном сырье в ближайшем будущем будут только увеличиваться, а избежать негативного воздействия горно-добывающей промышленности на Землю возможно только при условии переноса этой промышленности за пределы Земли. На сегодняшний день одной из самых перспективных деятельностей в космическом пространстве является добыча природных ресурсов на небесных телах. Добыча космических ресурсов принесет большую выгоду и улучшит экологию Земли. Прежде чем говорить о перспективах космических разработок, следует разобраться, на каких космических телах возможна добыча полезного ископаемого и что подлежит извлечению. Самым близким и наиболее изученным космическим объектом, является Луна. Но при этом необходимо учитывать, что вокруг нашей планеты есть множество астероидов и каждый из них может содержать ценные материалы [5].

С экономической точки зрения добыча природных ресурсов на небесных телах и последующая их доставка на Землю не целесообразна на сегодняшний день. Однако, с развитием технического прогресса и уменьшением количества полезных ископаемых на Земле,

данная деятельность может стать выгодной для человечества. Интерес к исследованию космического пространства проявляют не только государства в рамках своих космических программ, но и частные корпорации.

Помимо экономических, технических и технологических вопросов, возникающих при разработке полезных ископаемых на небесных телах, для разрешения стоят и юридические аспекты.

Из пяти договоров по космосу, только два (Договор по космосу 1967 г. и Соглашение о Луне 1979 г.) затрагивают проблему присвоения космических ресурсов. Стоит также отметить, что Соглашение о Луне ратифицировало только 18 государств, среди которых нет ни одной космической державы, что *de facto* делает данный договор ничтожным.

Статья 11 Соглашения о Луне 1979 г. посвящена именно правовому регулированию добычи природных ресурсов, где конкретизировано что Лун, её поверхность, её природные ресурсы являются общим наследием человечества. Луна и её недра не подлежат национальному присвоению. Государства обязуются установить международный режим для регулирования эксплуатации природных ресурсов Луны, когда будет очевидно, что такая эксплуатация станет возможной [6].

Несмотря на то, что Соглашение о Луне содержит в себе специальные нормы, касающиеся добычи природных ресурсов на луне, остается много «подводных камней». Во-первых, только лишь 18 государств являются сторонами данного договора, и он не порождает обязанностей для космических держав. Во-вторых, стоит отметить, что с каждым годом в освоении космического пространства все большую роль стали играть частные корпорации и общих норм регулирования деятельности таких компании уже не хватает. В-третьих, следует отметить разноречивые мнения ученых на концепцию *rescommunishumanitatis*: одни утверждают, что для использования небесных тел необходимо фактически приобретать части этих небесных тел, а другие утверждают, что все природные ресурсы, которые были добыты в космическом пространстве и доставлены на Землю, могут использоваться в коммерческих целях в том случае, если они употребляются на благо мирового сообщества [6].

Следовательно, можно сделать вывод, что вопрос извлечение полезных компонентов на небесных телах не является монодисциплинарным. При освоении космических тел и добыче полезных ископаемых необходимо: разработать технологию извлечения (привлечь специалистов в области горной добычи); разработать логистику: доставку грузов и материалов на космические объекты и полезных компонентов

на Землю (привлечь специалистов в области космонавтики); разработать правовые основы освоения, использования и разграничения небесных тел (привлечь специалистов в области космического права).

### Список литературы

1. Хайрутдинов, М.М.: Пути совершенствования систем разработки с закладкой выработанного пространства, Горный журнал. 2007. № 11. С 40-43.
2. Хайрутдинов, М.М.: Применение отходов горного производства в качестве закладочного материала для снижения вредного воздействия на окружающую среду, Горный журнал. 2009. № 2. С 64-66.
3. Marat Khayrutdinov, Alexander Ivannikov. The use of mining waste for backfill as one of sustainable mining activities. Proceedings of International Conferences on Geo-spatial Technologies and Earth Resources (GTER 2017), Hanoi, Vietnam, 5-6 October, 2017. – (pp. 715-717).
4. Каплунов Д. Р., Мельник В. В., Рыльникова М. В.: Комплексное освоение недр /учебное пособие/; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». – Тула : Изд-во ТулГУ, 2016. – 332 с.
5. Слюта Е.Н. Основные типы Лунных ресурсов и проблемы их добычи и обогащения // Горный журнал. N4, 2017. – С. 13-18.
6. Волынская О.А. Коммерческое использование космических ресурсов как главный вызов для международного космического права // Современные проблемы международного космического, воздушного и морского права: материалы круглого стола XIV Международного конгресса «Блищенковские чтения». Москва, 16 апреля 2016г. / отв. ред. А.Х. Абашидзе, А.М. Солнцев. – М: РУДН, 2016. С.118-136.

### ИЗДАЮЩАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

Tyulyaeva Y.S.<sup>1</sup>, Хайрутдинов А.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Florida International University, 11200 SW 8th Street,  
AHC-5 360 Miami, FL 33199, USA

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов

При выборе способа и систем разработки во главу угла ставятся технико-экономические показатели собственно горного производства. В настоящее время необходимо учитывать и экономические последствия воздействия горного производства на окружающую среду ввиду того, что влияние деятельности человека на окружающую среду достигло размеров, соизмеримых с влиянием естественных, природных

процессов на Землю [1]. Необходимо применение технологических решений рационального извлечения полезного ископаемого из недр с учётом всех форм воздействия геотехнологии на окружающую среду, развитие концепций, обеспечивающих экологическую безопасность освоения недр [4].

Одной из важнейших является проблема складирования отходов обогащения и пустой породы: изымаются значительные площади сельскохозяйственных угодий, загрязняются расположенные неподалеку водоемы и изменяется уровень грунтовых вод [2].

Эффективное использование техногенных отходов горного производства непосредственно на руднике решает многие вопросы, связанные со складированием и хранением их на поверхности. Размещение отходов горно-обогажительных производств в подземных горных выработках (камерах) и пустотах создает благоприятные предпосылки для внедрения безотходных технологий при разработке рудных месторождений. Такой подход позволяет практически полностью исключить затраты на сооружение и эксплуатацию хвостохранилищ.

Применение системы разработки с закладкой выработанного пространства позволяет управлять горным давлением и повышать безопасность ведения горных работ, вести отработку месторождения комбинированным способом и практически полностью исключить потери полезного компонента. Помимо технических аспектов применение систем с закладкой выработанного пространства позволит снизить негативное влияние горного производства на окружающую среду благодаря использованию отходов производства при приготовлении закладочных смесей. Однако применение таких методов существенно влияет на увеличение себестоимости добычи [1].

Сокращение и ликвидация площадей хвостохранилищ за счет использования хвостов обогащения для приготовления закладочных смесей существенно сокращает территории горных отвалов, что особенно важно в районах с плодородными землями. Использование отходов производства для приготовления закладочной смеси имеет как экологический, так и экономический эффект [3].

Экономический эффект достигается за счет экономии средств:

- на сооружение и содержание хранилищ отходов (хвостохранилища, отвалы пустых пород);
- на строительство специальных карьеров для добычи инертного заполнителя;
- на транспортные расходы, так как хвосты обогащения (породы из отвалов) являются, как правило, местным материалом – затраты на их доставку к месту потребления невелики.

Кроме того, сокращение площадей горных отвалов позволит сохранить земельные ресурсы (из оборота не выводятся сельскохозяйственные плодородные земли). Утилизация отходов горного производства также снижает вредное воздействие на окружающую среду в местах расположения горных предприятий [2], [4].

Снижение вредного воздействия геотехнологии на окружающую среду, сохранение, восстановление, преумножение и рациональное использование ресурсов природы для удовлетворения эколого-ресурсных потребностей человеческого общества возможно за счёт целенаправленных изменений применяемых технологий. Разные биологические сообщества по-разному реагируют на одно и то же воздействие. Для каждой экосистемы должен существовать свой предел величины каждого техногенного воздействия, за которым начинаются необратимые изменения в экосистеме. Поиск этих пределов является фундаментальной мультидисциплинарной проблемой, связанной с решением многих задач, требующих комплексного подхода, выполняемых на стыке нескольких наук: геотехнология; экономика; экология и природопользование; биология и др [3].

Недооценка воздействия горной промышленности на окружающую среду и экологический ущерб приводит к выбору неэффективного технологического решения.

Необходимо принять во внимание, что в проблеме комплексного освоения недр с учётом вредного воздействия горного производства на окружающую среду имеется ряд не до конца решённых вопросов, обусловленных рядом причин объективного и субъективного характера:

- недостаточное обоснование экологических ограничений в технологии добычи и переработки ископаемых;
- качественное различие кругооборота вещества и энергии в искусственных (хозяйственных) системах по сравнению с естественными (экологическими);
- противоречия между технико-экономическими показателями горного производства и снижением вредного воздействия на окружающую среду;
- отсутствие точных методов экономической оценки природных ресурсов и ущерба, наносимого горным производством элементам биосферы;
- зачастую не до конца проработанная концепция планового управления природными ресурсами;
- отсутствие точных моделей расчёта положительного или отрицательного влияния применяемой технологии на окружающую среду.

Для учёта совокупности всех форм воздействия геотехнологии на природную среду при добыче полезного ископаемого, для улучшения мер по рациональному использованию природных ресурсов необходимо полное изменение концепции по охране окружающей среды: переход от мероприятий исключительно защитного характера к плановому управлению природными ресурсами и разработке математической модели воздействия геотехнологии на экологию.

### Список литературы

1. Хайрутдинов, М.М.: Пути совершенствования систем разработки с закладкой выработанного пространства, Горный журнал. 2007. № 11. С 40-43.
2. Хайрутдинов, М.М.: Применение отходов горного производства в качестве закладочного материала для снижения вредного воздействия на окружающую среду, Горный журнал. 2009. № 2. С 64-66.
3. Marat Khayrutdinov, Alexander Ivannikov. The use of mining waste for backfill as one of sustainable mining activities. Proceedings of International Conferences on Geo-spatial Technologies and Earth Resources (GTER 2017), Hanoi, Vietnam, 5-6 October, 2017. – (pp. 715-717).
4. Каплунов Д. Р., Мельник В. В., Рыльникова М. В.: Комплексное освоение недр /учебное пособие/; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». – Тула : Изд-во ТулГУ, 2016. – 332 с.

# ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

## СРАВНЕНИЕ ОБОГАТИМОСТИ КЛИНКЕРОВ ЦИНКОВЫХ ЗАВОДОВ

Орехова Н.Н.<sup>1</sup>, Глаголева И.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем комплексного освоения недр  
им. академика Н.В. Мельникова РАН

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

В настоящее время развитие горно-металлургической отрасли в России и за рубежом [1] характеризуется уменьшением содержания металлов в рудах и одновременным увеличением объема твердых отходов, с которыми теряется значительное количество цветных металлов и железа. К такой категории отходов относится клинкер вельцевания цинковых кеков [1-3]. Цинковый кек получают после выщелачивания цинкового огарка – продукта обжига цинковых концентратов в печах кипящего слоя при температуре 950-1000°C. Продуктами вельцевания являются вельц-окись и медистый клинкер. Клинкер является продуктом высокотемпературного обжига цинкового сырья и последующего выщелачивания электролитом, что предопределяет его сложный многокомпонентный состав и нахождение большей части ценных металлов в форме твердых растворов.

В клинкерах представлен широкий спектр ценных компонентов: породообразующие (Si, Mg, Al, K, Na, и др.); рудообразующие (Fe, Cu, Zn, Pb, Mo, As, Sb, S); благородные (Au, Ag, Pt, Pd) и редкометалльные (Se, Re, Hg, Ga, Ge, Bi, Cd) составляющие. [4]

Типичными для клинкеров являются минеральные, изоструктурные и входящие в состав минералов изоморфные формы нахождения основных ценных элементов: серебра, золота, меди, цинка, железа, никеля, кобальта, свинца, мышьяка и висмута. Благородные металлы в клинкерах находятся в основном в силикатных структурах и свободном состоянии. Извлечение меди из клинкеров проводится флотацией магнитной фракции клинкера.

Химический фазовый анализ и микроскопическое изучение форм нахождения меди в магнитной фракции клинкеров Челябинского (КЧ) и Риддерского (КР) заводов показало, что техногенные минералы меди и металлическая медь находятся в окислах железа (гётите, гидрогётите,

гематите), фаялите и ферритах. Техногенные минеральные фазы меди представлены халькопиритом, борнитом, халькозином и ковеллином.

Массовая доля меди в них от общей меди, приходящаяся на борнит, ковеллин и халькозин для Риддерского клинкера составляет 38,35% для Челябинского – 69,79%, данные представлены в таблице 1.

Медь в магнитной фракции Риддерского клинкера присутствует в виде сложных ассоциаций «борнит – халькозин – ковеллин – халькопирит-металлическая медь», размеры которых колеблются от 10 до 0,7 мм.

Металлическая медь в виде округлых зерен до 0,2 мм и зерен неправильных форм мощностью до 0,5 мм в фаялитах и ферритах; тонких (менее 0,001 мм) и мелких прожилок в оксидах железа и в борните длиной до 0,3 мм. В свою очередь в магнитной фракции Челябинского клинкера металлическая медь присутствует в виде более мелких зерен (0,002-0,007мм) в силикатах и ферритах.

Таблица 1 – Результаты фазового анализа соединений меди в пробе

| Магнитная фракция клинкера | Содержание меди, % | Общая | Первичная | Вторичная    | Окисленная | Сульфидная |
|----------------------------|--------------------|-------|-----------|--------------|------------|------------|
| КР                         | Абсолютное         | 2,54  | 1,359     | 0,974        | 0,207      | 0,00008    |
|                            | Относительное      | 100,0 | 53,497    | <b>38,35</b> | 8,15       | 0,003      |
| КЧ                         | Абсолютное         | 5,28  | 1,535     | 3,685        | 0,0568     | 0,0047     |
|                            | Относительное      | 100,0 | 29,04     | <b>69,79</b> | 1,07       | 0,09       |

Халькозин присутствуют в пробе клинкера РК в виде ксеноморфных выделений в фаялитах и ферритах размерами до 0,4 мм и часто образует каемки вокруг борнита. Борнит находится в виде крупных ксеноморфных выделений и прожилок размерами до 0,65мм и чаще всего имеет включения халькозина, ковеллина и халькопирита от 0,001 до 0,02 мм. Ковеллин присутствует в виде каемок до 0,01 мм и эмульсионных включений 0,001-0,005 мм в сложных борнит-халькопирит-магнетит-металлическая медь –фаялитовых ассоциациях. Халькопирит представлен в виде эмульсионных (менее 0,001 мм), пойкилитовых (0,002-0,005 мм), а также округлых и ксеноморфных включений (0,01-0,3 мм) в фаялитах и борните. Массовая доля железа в клинкере 24,04%.

Минералы меди ЧК представлены халькопиритом, борнитом, металлической медью и редко зернами халькозина (до 0,010 мм). Они присутствуют в пробе клинкера в виде сложных халькопирит-борнит-магнетит-металлическое железосиликатных ассоциаций (размеры медных минералов в таких ассоциациях редко достигают 0,004мм). Также минералы меди содержатся в пробе клинкера в виде: эмульсионных (менее 0,001 мм) и пойкилитовых (0,002-0,005 мм) округлых ксеноморфных включений (0,005- 0,06 мм) халькопиритовых и халькопирит-борнитовых растворов в металлическом железе, тонких (менее 0,001 мм) прожилок в магнетите, ксеноморфных, иногда округлых выделений халькопирит-борнитовых растворов в силикатах, ферритах от 0,003 мм до 4 мм и каемок вокруг растворов металлического железа и пустот. В отличие от магнитной фракции РК магнитная фракция челябинского клинкера более железистая (массовая доля железа 49,3%) и содержит значительное количество королек металлического железа.

Таким образом, был сделан вывод о более выраженной обособленности медьсодержащих фаз ЧК при значительно меньшем их размере, чем в РК. Отмечено более тесное взаимопрорастание медьсодержащих фаз в Риддерском клинкере при больших, чем в Челябинском размеров самих ассоциаций. Для РК характерным является наличие халькозиновых каемок вокруг борнита. Для ЧК наличие халькопирит-борнитовых каемок вокруг растворов металлического железа и пустот.

Эти данные позволили предположить, что при одной и той же тонине помола более качественный концентрат будет получен при флотации РК. Результаты флотационных опытов (табл.2) подтвердили это предположение.

**Таблица 2 – Результаты флотации магнитной фракции клинкера**

| Наименование<br>продукта                                                                     | Выход, % | Содержание, % |      | Извлечение, % |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|------|---------------|--------|
|                                                                                              |          | Cu            | Zn   | Cu            | Zn     |
| Помол по кл.-0,071 мм-91,36% , <u>коллект.флотация</u> рН=11,6 ∑БКК=250 г/т, ∑Т-92г/т=285г/т |          |               |      |               |        |
| Σ концентрат                                                                                 | 11,52    | 14,83         | 1,92 | 67,25         | 20,35  |
| хвосты                                                                                       | 88,48    | 0,94          | 0,98 | 32,75         | 79,65  |
| клинкер                                                                                      | 100,00   | 2,54          | 1,09 | 100,00        | 100,00 |
| ЧК Помол по кл.-0,071 мм-92,32%, <u>коллект.флотация</u> рН=11,3 ∑БКК=300 г/т, ∑Т-92=468г/т  |          |               |      |               |        |
| Σ концентрат                                                                                 | 37,65    | 5,94          | -    | 43,43         | -      |
| хвосты                                                                                       | 62,35    | 4,67          | -    | 56,57         | -      |
| клинкер                                                                                      | 100,0    | 5,15          | -    | 100,0         | -      |

Отмечено, что в случае ЧК при высоком помоле проба клинкера сильно шламовалась, вероятно из-за значительного содержания железных королек, выступающих в качестве дополнительных мелющих тел. Действие собирателя ослабевало, медь начинала плохо концентрироваться. Извлечение меди в грубом концентрате значительно снижалось.

Доизмельчения клинкера РД до 96,57% класса минус 0,074 мм позволило повысить содержание меди в концентрате до 17,41% при извлечении в него меди-64,96%.

### Список литературы

1. Технология переработки отхода цинковой промышленности с получением ферросплава и возгонов цветных металлов / А.С. Колесников, Б.А. Капсаямов, О.Г. Колесникова, Р.М. Кураев, И.А. Стрюковский // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallurgy. – 2013. – Т. 13. – №1. – С.34-39.
2. Орехова Н.Н., Глаголева И.В. Анализ практики извлечения ценных компонентов из вельц-клинкера // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2017. – С. 41-43
3. Аллабергенов Р.Д., Ахмедов Р.К., Ходжаев О.Ф. Комплексная переработка отходов цветной металлургии. – Ташкент: Изд-во «Университет», 2013. – 50 с
4. Технология извлечения свинца и цинка из лежалых клинкеров цинкового производства/ Козырев Е.Н., Кондратьев Ю.И., Хулелидзе К.К., Богомоллова Н.С.// Горный информационно – аналитический бюллетень. Изд. Общество с ограниченной ответственностью «Горная книга», Москва, 2005. №3. С. 280-282.

## ВЫБОР СОБИРАТЕЛЕЙ ДЛЯ ФЛОТАЦИИ ОКИСЛЕННЫХ СУЛЬФИДНЫХ РУД НА ОСНОВЕ КООРДИНАЦИОННОЙ ТЕОРИИ ФЛОТАЦИИ

**Горносталь Е.А., Соложенкин П.М.**

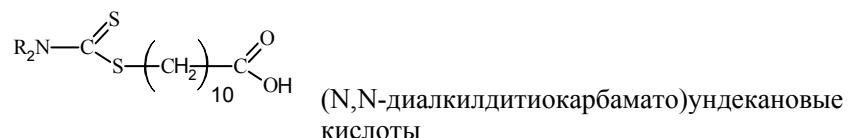
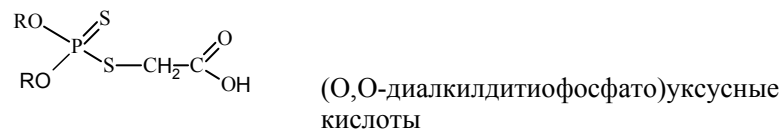
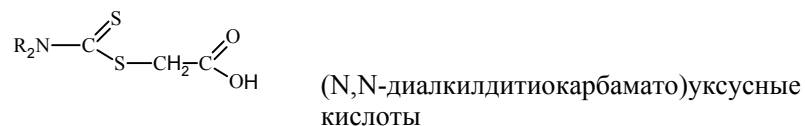
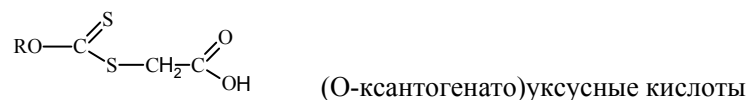
*Институт проблем комплексного освоения недр  
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Основным типом флотационных реагентов, применяемых для обогащения руд, являются собиратели электронодонорного типа [1] – сульфгидрильные и оксигидрильные реагенты и неионогенные производные сульфгидрильных реагентов. Механизм действия собирателей электронодонорного типа наиболее последовательно объясняет координационная теория флотации [4-6], согласно которой, хемосорбционное закрепление реагента-собирателя на поверхности минерала, происходит

за счет образования координационной связи между ионами металла на поверхности минерала и электронодонорными группами собирателя.

Оксисленные руды цветных металлов являются труднообогатимыми, и для их флотации применение ксантогенатов, дитиокарбаматов, дитиофосфатов даже при больших расходах не обеспечивает требуемых показателей обогащения. Решение проблемы повышения эффективности обогащения окисленных сульфидных руд может быть найдено на пути использования качественно новых реагентных режимов. Модификация карбоновых кислот различными заместителями и в различных положениях углеводородной цепи в общем случае приводит к увеличению их собирательной силы и селективности действия. Известен и второй прием повышения эффективности процесса при флотации окисленных сульфидных руд – совместное применение окси- и сульфгидрильных реагентов.

Нами исследованы строение и физико-химические свойства координационных соединений ионов некоторых тяжелых металлов с карбоновыми кислотами, модифицированными остатком сульфгидрильного реагента,



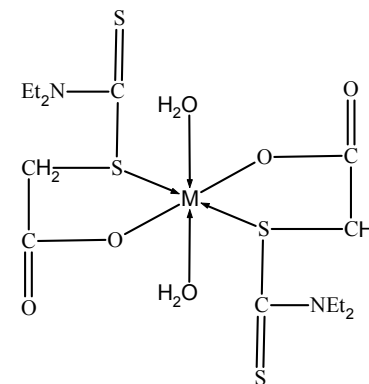
и активность таких карбоновых кислот во флотации руд цветных и благородных металлов. При исследовании флотационной активности карбоновых кислот, модифицированных сульфгидрильными реагентами, были объединены оба подхода к повышению эффективности флотации окисленных сульфидных руд:

1) введение серосодержащего заместителя в молекулу оксигидрильного собирателя;

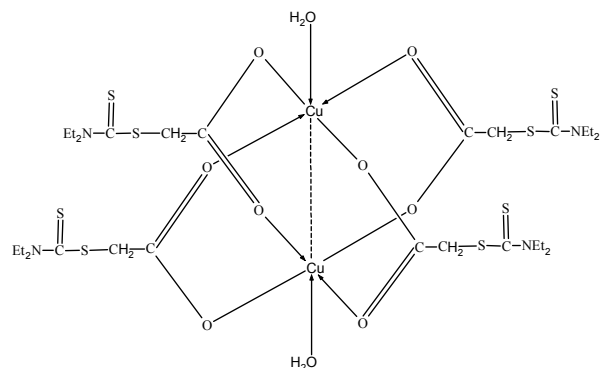
2) использование полученного модифицированного оксигидрильного реагента совместно с традиционным сульфгидрильным, что приводит к синергическому эффекту.

Синтез реагентов осуществлялся в реакции карбоксиалкилирования щелочных солей ксантогеновой, дитиокарбаминовой и дитиофосфорной кислот монохлорацетатом или ω-бромундеканатом натрия. Реакция протекает с высокими выходами при комнатной температуре, что позволило разработать методику получения растворов данных реагентов непосредственно в условиях обогатительных фабрик. Строение и свойства предлагаемых флотационных реагентов охарактеризованы методами электронной, ИК-, ЯМР- и масс-спектрологии.

Для интерпретации механизма взаимодействия исследуемых реагентов с поверхностью сульфидных и окисленных минералов были синтезированы и исследованы методами ИК-, электронной, ЯМР- на  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ , ЭПР-спектроскопии координационные соединения (диэтилдитиокарбамато)уксусной кислоты с  $\text{Co(II)}$ ,  $\text{Ni(II)}$ ,  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Pb(II)}$ . В синтезированных комплексах было установлено образование пятичленного хелатного кольца, включающего карбоксильный атом кислорода и атом серы дитиокарбаматного фрагмента:



(Диэтилдитиокарбамато)ацетат меди (II) имеет биядерное «фонариковое» строение с четырьмя мостиковыми карбоксилатами:



Используя молекулярно-орбитальный подход, следовало бы предполагать, что собиратели класса уксусных кислот, модифицированных дитиофрагментом, должны хорошо связываться с поверхностью окисленных минералов вследствие одновременного сродства карбоксильных атомов кислорода к кислородсодержащим анионам кристаллической решетки минерала, а атомов серы дитиокарбаматного фрагмента – к катионам металла и сульфид-анионам. Действительно, модифицированные уксусные кислоты проявляют собирательные свойства по отношению к окисленным сульфидным минералам сами или в синергистических смесях с ксантогенатами. (Диэтилдитиокарбамато)ундекановые кислоты благодаря большой длине углеводородной цепи и наличию гидрофобного дитиофрагмента могут выступать как аналоги жирных кислот, но более селективные.

Предлагаемые собиратели эффективны при флотации окисленных свинцово-серебряных и полиметаллических руд, перерабатываемых на Адрасманском свинцово-цинковом комбинате. В качестве собирателя испытаны сочетания бутилового ксантогената с (диметилдитиокарбамато)- и (диэтилдитиокарбамато)уксусной кислотой в различных соотношениях. Введение в процесс в качестве дополнительного собирателя (диалкилдитиокарбамато)уксусных кислот повышает извлечение свинца и серебра на величину до 11%, а извлечение железосодержащих минералов пустой породы остается на том же уровне, что и при применении исключительно бутилксантогената калия. Отсюда следует вывод о селективности (диалкилдитиокарбамато)уксусных кислот, которую можно объяснить предпочтительным связыванием их анионов с «мягкими» кислотами, какими являются легкополяризуемые катионы свинца и серебра.

(Диэтилдитиокарбамато)уксусная кислота была также испытана в основной флотации полиметаллической медно-свинцово-цинковой руды. В данном случае (диэтилдитиокарбамато)уксусная кислота действует как добавка, положительно влияющая на флотацию уже в незначительном количестве, повышая извлечение цветных металлов на 3-9%.

## ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СОРБЕНТОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ САПОНИТСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Миненко В.Г., Макаров Д.В., Самусев А.Л.

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

Месторождение им. М.В. Ломоносова в Архангельской области является крупнейшим источником алмазов на Европейской части РФ. Породы трубок месторождения практически полностью замещены глинистыми минералами преимущественно сапонитом, который является ценным товарным продуктом с широким спектром применения в различных отраслях.

Для осветления сапонитсодержащих техногенных вод алмазо-извлекательных фабрик в ИПКОН РАН был разработан и апробирован безреагентный электрохимический метод (электрохимическая сепарация), основанный на электрофоретическом извлечении сапонитсодержащего продукта на аноде и осмотическом выделении воды на катоде. Получаемый концентрат (электрохимически модифицированный сапонит) характеризуется более плотной упаковкой, развитой удельной поверхностью, более высоким содержанием сапонита (74.5 %), при снижении содержания кварца и доломита на 4% по сравнению с твердой фазой, отфильтрованной из исходной техногенной воды.

В последние годы уделяется большое внимание вопросам модифицирования глинистых минералов (сметитов) и материалов на их основе с целью улучшения их свойств и последующего использования для синтеза слоистых нанокомпозитов, в том числе сорбентов тяжелых металлов, радиоактивных элементов и нефтепродуктов. В связи с этим, представляло интерес исследование сорбционных свойств электрохимически модифицированного сапонита и продуктов его термической обработки.

В работе исследован процесс сорбции ионов меди и никеля из модельных (0,001 – 0,05N) растворов  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{NiSO}_4$  модифицированным сапонитом.

Установлено, что в результате термоактивации при 700 и 750°C сорбционная емкость электрохимически модифицированного сапонита возрастает: по ионам меди с 90 мг/г до 144 и 224 мг/г, соответственно; по ионам никеля с 40 мг/г до 78 и 189 мг/г, соответственно.

Методом РФА установлено, что новообразованные медьсодержащие фазы представлены нерастворимыми сульфатами: познякитом  $\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , зафиксированном после взаимодействия с исходным и обожженным при 700°C электрохимически модифицированным сапонитом; брошантитом  $\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$  характерным для образцов обожженных при 700 и 750°C.

При увеличении продолжительности контакта образцов (обожженных при 750 °C) с модельными растворами наблюдается различия в фазовом составе. Так, после 10 суток контакта появляются рефлексы гипса и фазы со структурой шпинели.

Методом РЭМ со съемкой энергодисперсионных спектров во всех образцах диагностируются самостоятельные зерна сульфатов меди с приблизительным соотношением  $\text{Cu}:\text{S} = 4.5\text{-}5.0:1$ , близким по стехиометрии к броншантиту или познякиту, но различным внешним видом кристаллов. Зерна необожженного сапонита покрыты агрегатами новообразованных кристаллов познякита (рис. 1, а). Обожженный при 700°C образцы содержат как тонкоигولهчатые кристаллы броншантита длиной до 1 мкм, прорастающие «комки» расслоившегося сапонита (рис. 1б), так и агрегаты пластинчатых кристаллов познякита (рис. 1; в). В образцах обожженном при 750°C броншантит наблюдается в виде «табличек» размером до 10 мкм (рис. 1, г, точки 3 и 4), содержащих расслоившийся сапонит в виде включений.

РФА образцов сорбентов максимально насыщенных никелем показал, что сорбция металла на необожженном сапоните вероятнее всего происходит по механизму катионного обмена с размещением катионов металла между пакетами структуры минерала. Кроме того, фиксируется образование фазы со структурой шпинели, возможно, никельсодержащей. Образование шпинели имеет место и после взаимодействия раствора сульфата никеля с термоактивированным при 700 и 750°C образцами. В этих случаях сапонит трансформируется в слоистую талькоподобную фазу, в которой также возможно размещение никеля в межпакетном пространстве структуры.

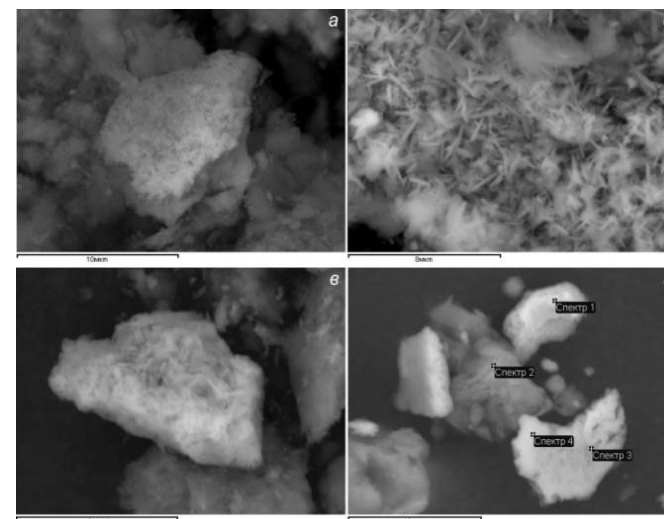


**Рис. 1. РЭМ изображение основных сульфатов меди. Кристаллы познякита на зернах необожженного сапонита (а); игولهчатые кристаллы броншантита (б) и агрегаты пластинчатых кристаллов познякита (в) на обожженном при 700°C сапоните; таблички броншантита, содержащие расслоившийся сапонит в виде включений (г)**

Методом РЭМ зафиксированы тонкодисперсные никель-сульфатные образования без явно-выраженной морфологии (рис. 2). Присутствие на поверхности исходных зерен каких-то вторичных фаз фиксируется только по данным качественного анализа.

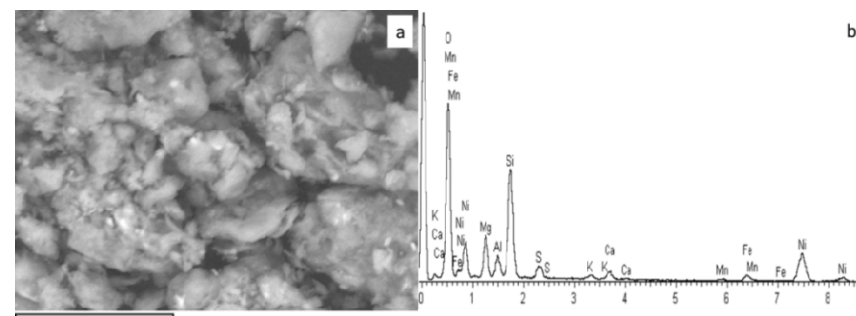


**Рис. 2. РЭМ изображение (а) и рентгеновский спектр (б) поверхности сорбента из обожженного при 700 °C сапонита после взаимодействия с раствором сульфата никеля**

Выполнены поисковые исследования по обратной десорбции катионов меди и никеля с модифицированного сапонита. Установлена возможность десорбции 80 % меди и 95 % никеля 1,5-10% растворами серной кислоты в следующих условиях: соотношение сорбента и раствора кислоты от 1:40 до 1:10, продолжительность взаимодействия от 15 до 120 минут. При этом промывные растворы характеризуются концентраций никеля более 5 г/дм<sup>3</sup>, меди – более 9 г/дм<sup>3</sup>.

Таким образом, электрохимически модифицированный сапонит, обладает высокой сорбционной емкостью по отношению к ионам меди и никеля, которая может быть дополнительно повышена путем обжига в интервале температур 700-750 °С.

Впервые научно обоснованы и экспериментально подтверждены эффективные методы модификации сапонитсодержащих отходов для получения сорбентов, характеризующихся высокой емкостью катионного обмена, обеспечивающих очистку техногенных вод от ионов тяжелых металлов. Показана возможность последующего извлечения из них растворами серной кислоты ионов меди и никеля.

## **КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОКИСЛЕННЫХ НИКЕЛЕВЫХ РУД**

**Бошняк М.В., Колмачихина О.Б.**

*ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»*

Потребление никеля в мире стабильно увеличивается и в 2018 году достигло порядка 2 млн. тонн. Основное количество никеля – 67 % потребления – пришлось на производство нержавеющей стали, 17 % на сплавы, 7 % на никелирование и 9 % на прочие нужды – аккумуляторы, порошковая металлургия и химические реактивы [1]. Сырьем для производства никеля являются сульфидные и окисленные руды. Соотношение никеля, произведенного из этих руд, оценивается в масштабах мирового производства как 40:60. В России на сегодняшний день практически весь никель производится из сульфидного сырья, хотя запасы ОНР в нашей стране достаточно велики. Окисленные руды представляют собой глинистую массу высокой влажности (до 30-35 %) и малого насыпного веса (1,1-1,3 т/м<sup>3</sup>). Для окисленных никелевых руд методы механического обогащения неприменимы, так как никель не образует отдельных зерен никелевых минералов и находится в руде либо в форме адсорбированных оксидов в массе разложившихся горных пород, либо входит в решетку кристаллических силикатов, изоморфно замещая главным образом магний или железо [2].

Низкое содержание никеля в отечественных рудах (порядка 1 %) и нерентабельность существующих пирометаллургических технологий вынуждает разрабатывать комбинированные методы переработки, позволяющие существенно повысить экономическую эффективность производства никеля из окисленных руд. Ситуацию усугубляет рост цен на кокс, который составляет три четверти в себестоимости продукции. Идея комбинированных способов переработки заключается в предварительном переводе связанных оксидов никеля в индивидуальные образования за счет реакций восстановления, сульфидирования или хлорирования [3].

Для устранения проблемы нехватки сырья для производства никеля можно также использовать перспективное техногенное сырье, которое можно перерабатываться как индивидуально, так и совместно рудами никелевых месторождений. На сегодняшний день существует огромное количество предприятий, занимающихся никелированием различных деталей и конструкций. Самое распространенное – гальваническое никелирование, при котором образуется большое количество сточных вод. Утилизация их производится в основном с помощью реагентного метода – тяжелые металлы удаляются известковым молоком в виде малорастворимых соединений. Полученный осадок представляет собой гальванический шлам, который захоранивают на специальных полигонах – шламохранилищах [4]. Содержание никеля в шламах гальванического производства составляет порядка 2-8 %.

Разработка совместной гидрометаллургической схемы переработки окисленных никелевых руд и шламов гальванического производства является очень интересной и актуальной задачей. Одним из вариантов гидрометаллургической переработки ОНР и гальваношламов может быть сульфатизация с последующим выщелачиванием.

Для проведения исследований выбрали пробу ОНР с содержанием никеля 0,93 % и гальваношламы с содержанием никеля 3,5 %. Физико-химическая сущность процесса сульфатизации окисленных никелевых руд основывается на образовании водорастворимых сульфатов цветных металлов и железа в следствие термической обработки руды с серной кислотой. По литературным данным, верхний температурный предел сульфатизации смеси окисленных руд и кислоты составляет 700 °С, потому как при дальнейшем повышении температуры происходит разложение сульфатов никеля и кобальта до оксидов в следствие чего снижается степень извлечения этих металлов при последующем выщелачивании. Смесь ОНР и шламов в разном соотношении спекали с концентрированной серной кислотой при температуре 270-420 °С. Расход кислоты варьировали в пределах 0,37-1,1 г/г. После спекания полученный полу-

продукт растворяли в дистиллированной воде, после чего проводили выщелачивание при температуре 20-50 °С.

Результаты данных опытов показали, что при расходе кислоты 0,7 г на 1 г руды и при температуре 420 °С достигается максимальное извлечение никеля в раствор – на уровне 80 – 82 %, pH полученных растворов находится в диапазоне 3-4. Дальнейшая переработка таких растворов предполагает предварительную их нейтрализацию. Предложенная схема нейтрализации имеющихся растворов шламами гальванического производства показала, что ими можно практически полностью нейтрализовать исходный раствор, а также повысить концентрацию никеля в несколько раз – до 10 г/дм<sup>3</sup>. Извлекать никель из полученных растворов можно сорбционными либо экстракционными методами. Поиск оптимальных технологических режимов является направлением дальнейших исследований.

### **Список литературы**

1. Букин В.И., Игумнов М.С. Переработка производственных отходов и вторичных сырьевых ресурсов, содержащих редкие, благородные и цветные металлы. Москва: Деловая столица, 2002. 224 с.
2. Марченко Н.В. Металлургия тяжелых цветных металлов. Красноярск: ИПК СФУ, 2009. 394 с.
3. Т.А. Трифонова, Н.В. Селиванова, О.Г. Селиванов. Утилизация гальваношламов сложного состава / Известия Самарского НЦ РАН, Т. 14, №4(3), 2012.
4. Макаров В.М. Комплексная утилизация осадков сточных вод гальванических производств (гальваношламов); автореф. Дис. Д-ра техн. Наук. – Иваново, 2001, 35 с.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПОПУТНЫХ СИЛЬНОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Курина А.В., Зелинская Е.В., Толмачева Н.А.**

*Иркутский национальный исследовательский  
технический университет*

Россия – страна, обладающая огромными запасами минерального сырья. На её территории действует более 10 тыс. горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий, на которых добывают топливно-энергетические ресурсы (нефть, газ, уголь, торф, уран и прочее), руду черных и цветных металлов, горнохимическое сырьё (фосфаты, апатит, калийные соли и прочее), драгоценных и полудрагоценных камней

и другое сырьё [1]. Одной из серьёзных проблем, объединяющей крупные горнодобывающие предприятия, вне зависимости от географического местоположения и добываемого сырья, является вскрытие попутных подземных минеральных вод.

Обводнение шахт и карьеров в процессе ведения горных работ усложняет вскрытие и эксплуатацию полезного ископаемого и создают неблагоприятную обстановку для работы механизмов и условий труда шахтеров. В некоторых угольных бассейнах и на отдельных шахтах затраты на водоотлив и осушение составляют 30-40% стоимости по добыче полезного ископаемого [2]. При этом потребление воды для нужд технологических процессов значительно меньше, чем забор воды при добыче полезного ископаемого.

Вследствие отработки близкорасположенных к поверхности земли запасов полезных ископаемых, происходит углубление ведения горных пород, и откачка вскрываемых при этом попутных вод приводит к увеличению затрат на их утилизацию.

При этом вскрываемые попутные природные высокоминерализованные воды действующих месторождений полезных ископаемых не только содержат тысячи тонн ценных микро- и макрокомпонентов, но и оказывают негативное воздействие на все составляющие природной среды, производственные фонды, здоровье людей. Воздействие от изливающихся подземных вод и сточных вод горных предприятий в несколько раз выше по сравнению с твердыми промышленными отходами за счёт повышенной миграционной способности.

Влияние подземных вод обусловлено их высокой минерализацией и повышенным содержанием большого числа элементов по сравнению с фоновым: Sr до 1500 мг/л; Br до 6000 мг/л; В до 1200 мг/л; Li до 245 мг/л; Rb до 25 мг/л; Cs до 0,04 мг/л; J до 17,5 мг/л и т.д. Оно проявляется в засолении и заражении почв микроэлементами при выбросе рассолов из гидрогеологических скважин и авариях на системе водоводов, в рассеянии в окружающей среде водо- и кислотнорастворимых соединений, присутствующих в обводненных и засоленных породах, хранящихся в отвалах и мигрирующих в окружающую среду под действием различных атмосферных и других факторов. В результате отмечаются значительные геохимические аномалии почв, биохимические аномалии растительности и загрязнение речной сети. Суммарная зараженность почв может изменяться в пределах от 3 до 6,5 геофона, однако максимальные значения по ряду элементов, таких как Zn, Cu, Pb и др., как показали исследования на одном из горно-обогачительных комбинатов достигают 22 единиц геофона.

Вскрываемые природные воды месторождений полезных ископаемых Сибирской платформы обладают минерализацией от 22 до 424 г/дм<sup>3</sup>, и многие из них можно отнести к рассолам [3]. Следует отметить, что промышленные высокоминерализованные воды в большинстве случаев могут быть отнесены к комплексному минеральному сырью и могут быть использованы для получения йода, брома, бора, лития, цезия, рубидия, стронция, калия, магния, различных солей.

При этом крепкие рассолы поликомпонетного состава по основным составообразующим ионам отвечают промышленным концентрациям. Концентрации минеральных веществ в подземных водах горных предприятий Сибирской платформы приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Концентрации минеральных веществ**

| Компонент | Промышленные<br>кондиции,<br>мг/дм <sup>3</sup> | Месторождения                           |                                                    |
|-----------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------|
|           |                                                 | карьер «Удачный»,<br>мг/дм <sup>3</sup> | Знаменское<br>месторождение,<br>мг/дм <sup>3</sup> |
| Mg        | 5000                                            | 13800                                   | 29200                                              |
| Li        | 10                                              | 150                                     | 415                                                |
| Br        | 150                                             | 4900                                    | 9300                                               |
| K         | 1000                                            | 12000                                   | 4300                                               |
| Sr        | 300                                             | 1170                                    | 620                                                |

Разработка подземных вод, как техногенного сырья не требует затрат на поиск и разведку месторождений полезных ископаемых, горно-капитальные работы и добычу. В связи с этим при осуществлении открытых и подземных горных работ совместное извлечение твердых и жидких полезных ископаемых потенциально рентабельно.

При истощении со временем месторождения твердого полезного ископаемого и снижения объема добычи, переработка техногенных подземных вод может существенно продлить срок эксплуатации горно-обогатительного предприятия.

Однако, на данный момент не существует единой корректной методики оценки промышленной ценности подземных вод. В связи с этим нет возможности точно оценить и внести в качестве балансовых подземные воды горных предприятий. В настоящее время при определении ценности месторождений полезных ископаемых, а также при оценке эффективности разработки месторождений учет такой важной составляющей как подземные воды реально отсутствует.

Методика определения ценности месторождения и экономической эффективности получения продукции должна содержать следующие основные моменты:

- включение в объем промышленной (извлекаемой) ценности месторождения ценность компонентов, присутствующих в подземных водах, учитывая их попутный характер;
- определение показателей кондиций месторождения с учетом полезных компонентов подземных вод;
- учитывать ущерб от недополучения продукции из подземных вод;
- определять ущерб от загрязнения окружающей среды загрязняющими компонентами подземных вод при их обратном попадании в окружающую среду (сброс в поверхностные водотоки, обратная закачка и т.д.);
- определять изменение эффективности использования (рентабельность отработки) месторождения.

При вовлечении дополнительных запасов, заключенных в попутных водах, возникают следующие наиболее важные экономические следствия:

- повышение извлекаемой ценности минерального сырья месторождения;
- увеличение величины экономической оценки минерального сырья;
- расширение сферы деятельности предприятия за счет выпуска новой продукции;
- создание новых рабочих мест;
- диверсификация капитала, что снижает производственный и коммерческий риск деятельности предприятия;
- увеличение рыночной ценности самого предприятия.

Экономический результат очевиден, как в случае вовлечения в переработку подземных вод, попутно вскрывающихся при разработке твердых, нефтяных и газовых месторождений, так и в случае извлечения дополнительных компонентов из перерабатываемых подземных вод на действующих предприятиях. В обоих случаях имеют место все из вышеперечисленных эффектов.

Выводы: При переработке минеральных вод возможно сократить количество и класс опасности отходов предприятия, снизить экологические риски и нагрузку связанную с компенсацией государству данных рисков, получить дополнительные единицы товарной продукции. Более того, после истощения «рудной части» предприятия и снижения рентабельности добычи, предприятие может быть перекалфицировано для добычи ПИ из гидроминерального сырья.

### Список литературы

1. Промышленное производство в России. 2016. // Стат.сб. Росстат. – М., 2016. – С. 16-17.
2. Долина Ж.И. Гидрогеология. / Долина Ж. И. // Донбасский государственный технический университет – 2004. – Алчевск, 2004 г. – С. 84-85.
3. Дроздов А. В. Разновидность природных систем подземных промышленных вод на сибирской платформе. /Дроздов А.В., Сухов С.С. // Водные ресурсы. – 2008 – Т.35, № 3 – С. 277-287.

### РАЦИОНАЛЬНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ (НА ПРИМЕРЕ КАШИРСКОЙ ГРЭС)

**Лавриненко А.А., Кунилова И.В., Гольберг Г.Ю., Лусинян О.Г.,  
Кравченко В.Н., Шимкунас Я.М.**

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

В настоящее время в России накоплено более 1,5 млрд. золошлаковых отходов [1], которые утилизируются в небольшой степени (по разным оценкам, от 7 до 13%), в основном в строительной отрасли и дорожном строительстве в качестве заменителя песка и наполнителя [2]. Наличие в золошлаковых отходах недожжённого углерода и неорганических примесей алюминия, железа, а также редких, в т.ч. редкоземельных, рассеянных элементов и благородных металлов, перешедших в окисленные соединения при сжигании углей, снижает качество строительного сырья и часто требует дополнительных операций по очистке от них. При этом происходит безвозвратная потеря всех ценных попутных компонентов, которые одновременно становятся потенциальными источниками загрязнения окружающей природной среды. Таким образом, проблема повышения эффективности переработки золошлаковых отходов является актуальной.

Цель данной работы – исследование процесса мокрой магнитной сепарации золошлаковых отходов для рациональной схемы более полного и комплексного извлечения из них ценных компонентов на примере Каширской ГРЭС.

Золошлаковые отходы (ЗШО) на Каширской ГРЭС образуются в результате сжигания каменных углей Кузнецкого бассейна. Они содержат соединения кремния (24,9%), алюминия (11,6%) и железа (6,03%), а также недожжённый углерод (11,6%). В качестве примесей в ЗШО находятся кальций (2,1%), калий (1,3%), титан (0,4%), фосфор (0,3%), марганец (0,1%), сера (0,1%), барий (0,1%). Ценными микропримесями яв-

ляются цирконий (0,05%), кобальт (0,04%), ванадий (0,02%), редкоземельные элементы – иттрий, церий, лантан и пр. (0,03%). Таким образом, золошлаковые отходы имеют многокомпонентный состав.

Выбор методов и технологий для рациональной переработки золошлаковых отходов базируется на оценке вещественного состава ЗШО и содержаний элементов, соответствующих промышленно значимым количествам полезных компонентов и ценных примесей, анализе существующих методов, технологий и схем переработки [3-5], а также исследованиях, необходимых для установления эффективности извлечения перспективных компонентов.

Проведенными ранее исследованиями показано, что золошлаковые отходы от сжигания углей Каширской ГРЭС содержат в основном алюмосиликаты переменного состава, силикаты, в частности, амфиболы и высокотемпературный кварц. Основными примесями являются полевой шпат, магнетит, гидрослюда, оксид кальция. Исследуемые ЗШО – это преимущественно тонкодисперсный материал крупностью -40 мкм (43,4%) и -71+40 мкм (32,0%), в которых концентрируются редкие и рассеянные элементы – цирконий, церий, иттрий, лантан, ниобий, тантал, а также кобальт, ванадий, хром. Ранее проведенными исследованиями электронно-микроскопическим методом с рентгеновским микроанализом в образцах ЗШО было установлено, что содержащие окисленное железо частицы часто имеют сферическую форму с шероховатой и пористой поверхностью, частиц неправильной формы мало. Также было установлено наличие сростков железосодержащих частиц с немагнитным материалом и в виде слоя, осажденного на алюмосиликатной частице неправильной формы. Это обуславливает снижение возможности получения высококачественного магнитного концентрата.

Рациональная переработка ЗШО Каширской ГРЭС может включать фракционирование и доизмельчение, методы извлечения магнитного железосодержащего концентрата, углеродсодержащего концентрата, комплекс гидрометаллургических методов для коллективного извлечения ценных микроэлементов и их группового разделения, выделения алюминия и отделения нерастворимого кремнеземного остатка.

Мокрая магнитная сепарация проб ЗШО и его фракций проводилась на лабораторном сепараторе ИТОМАК ММС-0,1ПМ при частоте вращения барабана 100 об./мин. Проведение исследований по выделению железосодержащего концентрата с использованием магнитной сепарации показало, что мокрая магнитная сепарация дает возможность получить за одну операцию концентрат с выходом 2,6% при содержании железа в концентрате 47,5% и извлечении 23,7%. Извлечение железа выше в более тонком классе -71+40 мкм (табл.1).

**Таблица 1 – Показатели мокрой магнитной сепарации проб ЗШО**

| Магнитный концентрат из материала | Выход, % | Содержание, % |      |      | Извлечение, % |      |     |
|-----------------------------------|----------|---------------|------|------|---------------|------|-----|
|                                   |          | Fe            | Mn   | Ti   | Fe            | Mn   | Ti  |
| Исходных ЗШО                      | 2,6      | 47,5          | 0,81 | 0,07 | 23,7          | 25,3 | 0,4 |
| Фракции - 100+71 мкм              | 2,8      | 45,2          | 0,83 | 0,09 | 20,8          | 21,2 | 0,6 |
| Фракции - 71+40 мкм               | 5,5      | 45,7          | 0,87 | 0,09 | 39,8          | 40,0 | 0,9 |

Рентгенофазовый полуколичественный анализ показал, что концентрат магнитной сепарации содержит порядка 50% магнетита и 10% гематита. Также в концентрате содержится порядка 5% кварца и составляющие рентгеноаморфную фазу алюминий- и кремнийсодержащие кислородные соединения переменного состава (36%). Полученный магнитный концентрат может быть использован для получения агломерата при выплавке стали и чугуна, ферросплавов вместо магнетита или измельченной окалины; в качестве утяжелителя минеральной суспензии при тяжелосреднем обогащении полезных ископаемых; для получения материалов с шумозащитными свойствами и пр.

В полученных хвостах магнитной сепарации содержание Fe 4,1%, а также: Si 44,2%; Al 20,8%; Ca 1,8%, Ti 0,45%, Mn 0,06%; Co 0,03%; V 0,03%, Zr 0,04%, Y 0,005%. Рентгенофазовый полуколичественный анализ показал, что хвосты содержат 77% рентгеноаморфной фазы, 10% кварца, 10% муллита, 1% кальцита, 0,8% магнетита, 0,3% гематита, 0,2% периклаза, 0,2% рутила. Также в хвосты магнитной сепарации переходит недожженный уголь. Ранее проведенными исследованиями флотации хвостов магнитной сепарации, содержащих 10,9% углерода, получен углеродный концентрат с выходом 7% и содержанием углерода около 60%. Он может быть использован как дополнительное топливо на ТЭС или предприятиях по получению ферросплавов. Из камерного продукта флотации путем механохимической активации и последующего двухстадийного выщелачивания получены продуктивные растворы для последующего выделения алюминия и редких элементов известными методами. Кремнеземный остаток после выщелачивания может быть применен в строительной отрасли.

Авторы выражают благодарность за проведение аналитических исследований сотрудникам Центра изучения природного вещества и лаборатории ЭКОН ИПКОН РАН, а также ООО «Тескан» за исследования

на сканирующем электронном микроскопе TESCAN MIRA3 и ООО «Мелитек» за исследования на рентгеновском дифрактометре D2 PHASER.

### Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». – М.: Минприроды России; НИИ-Природа. – 2017. – 760 с.
2. В.В. Зырянов, Д.В. Зырянов. Зола уноса – техногенное сырье. – М.: ИПЦ «Маска». – 2009. – 320с.
3. Г.Б. Мелентьев, Е.Н. Малинина. Угольное сырье и отходы его переработки как источник промышленно ценных и токсичных элементов-примесей: состояние изученности и перспективы комплексного использования в интенсификации и экологизации углепотребления // Экология промышленного производства. – 2008. – №3. – с. 41-53.
4. Т.Г. Черкасова, Е.В. Васильева, А.В. Тихомирова, А.А. Бобровникова, А.В. Неведров, А.В. Папин. Угольные отходы как сырье для получения редких и рассеянных элементов // Вестник Кузбасского ГТУ. – 2016. – №6. – с. 185-189.
5. Литвинцев С.А., Чернышева В.И. Золошлаковые отходы как перспективное сырье для получения редких и редкоземельных элементов // Аспирант. Приложение к журналу Вестник ЗАБГУ. – 2014. – №2. – с. 181-185.

## БРИКЕТИРОВАНИЕ МЕЛКИХ КЛАССОВ АНТРАЦИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЛИГНОСУЛЬФОНАТА В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩЕГО

**Попов Е.М., Лавриненко А.А.**

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

Добыча антрацита во многих шахтах происходит преимущественно угольными комбайнами, в результате чего значительную часть рядового угля составляют мелкие угольные частицы размером до 6 мм – сорт АШ, называемый штыбом.

На шахте «Обуховская» Ростовской области при добыче и обогащении антрацита образуется большое количество угольной мелочи – высокозольные штыбы и шламы с высокой влажностью, которые в настоящее время мало востребованы.

Антрацитовые штыбы, являясь углями низкого сорта, имеют ограниченный сбыт, однако обладают хорошей теплотворной способностью. Они находят применение после предварительной сушки и измельчения

в качестве добавки в поток газа или в вихрь кипящего слоя [1], создавая комбинированное топливо, тем самым повышая его теплотворную способность. В отличие от штыбов антрацитовые шламы, с крупностью частиц не более 0,1 мм, характеризуются высоким содержанием золы до 40 % и низкой теплотой сгорания 3550 ккал/кг, что затрудняет их сбыт и использование. Антрацитовые шламы имеют повышенную влажность, которая может достигать 39 % [2]. Предварительная сушка нецелесообразна из-за высоких энергетических затрат. С целью утилизации шлама была исследована возможность его сочетания с антрацитовым штыбом в брикетном топливе.

Традиционные связующие, такие как нефтебитумы, не могут быть использованы для брикетирования влажных штыбов и шламов, прежде всего, по причине их гидрофобности. Для влажных штыбов и шлама нужны гидрофильные связующие, которые при разбавлении водой не теряют своих связующих свойств. К таким связующим относятся модифицированные лигносульфонаты (МЛС), в которых массовая доля сухих веществ больше, чем в обычных технических лигносульфонатах (ТЛС) [3].

В лаборатории было исследовано влияние количества воды в связующем МЛС на вязкость и содержание сухих веществ (рис. 1).

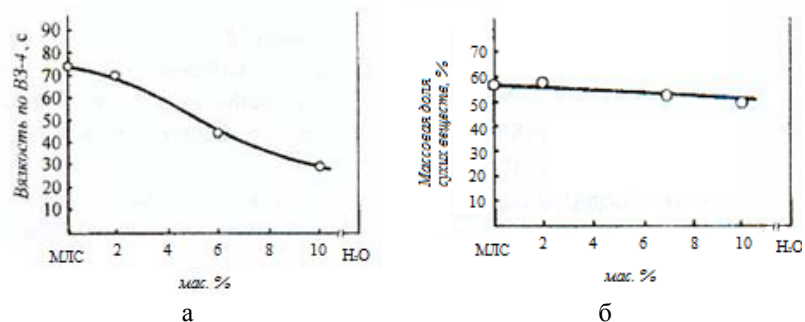


**Рис. 1. Влияние содержания воды на вязкость (а) и содержание сухих веществ (б) в связующем МЛС**

Добавление 10 % воды уменьшила вязкость модифицированных ТЛС с 73 до 30 с, т. е. почти в 2,5 раза. Однако это практически не повлияло на содержание сухих веществ в связующем МЛС (рис. 1, б). При том же количестве воды содержание сухих веществ уменьшилось всего на 10 %. Следовательно, увеличение воды в составе связующего МЛС мало влияет на его связующую способность.

В связи с этим можно предположить, что связующее МЛС будет хорошо сочетаться с влажными штыбом и шламом и сообщать брикетам достаточную для их складирования и эксплуатации прочность после их тепловой обработки.

В формовочную угольную смесь штыб–шлам добавляли всего 3 % связующего МЛС. За счёт высокой исходной влажности штыба и особенно шлама (25 %), реальное количество МЛС в шихте, без снижения связующей способности, увеличивается в разы. Отформованные брикеты были подвергнуты тепловой обработке при  $220 \pm 10$  °С в течение 2 часов. После суточного пребывания на воздухе брикеты испытывали на прочность. Данные по изучению прочностных свойств брикетов из антрацитовой системы шлам – штыб представлены на рис. 2.

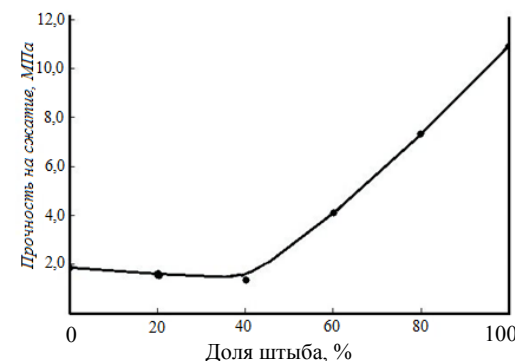


**Рис. 2. Зависимость прочности стандартных брикетов на сжатие антрацитовой системы шлам – штыб, содержащей 3 % связующего МЛС**

Из рис. 2 следует, что в системе шлам – штыб имеет место отрицательное отклонение кривой прочности образцов-брикетов от предполагаемого аддитивного взаимодействия между ними. Эта несовместимость в антрацитовой системе достигает минимального значения при составе 60 % шлама и 40 % штыба. При дальнейшем увеличении в угольном наполнителе штыба прочность брикетов неуклонно возрастает.

Полученные данные показывают, что антрацитовые брикеты с добавкой от 10 до 30 % шлама имеют прочность от 6 до 9 МПа, достаточную для различных манипуляций с ними без последующего разрушения. Прочность брикетов из штыба больше прочности брикетов из шлама более чем в 5 раз. Прочность брикетов зависит не только от химической природы и состава угольного наполнителя, но и от размеров,

как исходных частиц, так и образующихся после тепловой обработки вторичных частиц.

Проведены также исследования по определению калорийности брикетов антрацитовой системы шлам – штыб. Низшая теплота сгорания исходного шлама с влажностью 39 % и зольностью 40 % составляла 3550 ккал/кг. Теплота сгорания термообработанного брикета из шлама увеличилась на 1521 ккал/кг и составила 5071 ккал/кг [2].

Исследование теплоты сгорания штыба до и после брикетирования показало, что теплота сгорания исходного штыба с влажностью 14 % и зольностью 15 % составляет 5650 ккал/кг, а после брикетирования – 6100 ккал/кг [2].

Предполагая, что калорийность является аддитивным свойством угольного наполнителя, можно предположить, что теплота сгорания антрацитовых брикетов с добавкой шлама от 10 до 30 % будет находиться в интервале от 5800 до 6000 ккал/кг. Эти предположения были подтверждены экспериментально в лабораторных условиях шахты «Обуховская». На основе этих данных получена зависимость калорийности брикетов от соотношения компонентов в антрацитовой системе штыб – шлам (рис. 3).

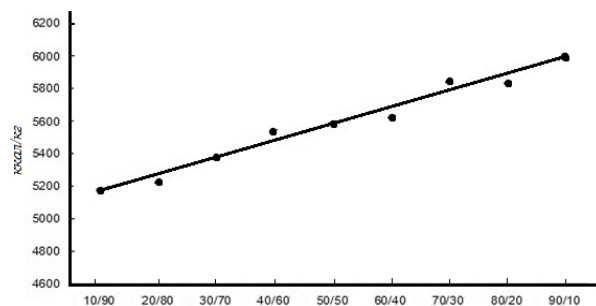


Рис. 3. Зависимость теплоты сгорания брикетов от соотношения штыба и шлама

Из данных, представленных на рис. 3 следует, что последовательное увеличение содержания штыба в антрацитовой смеси на 10 % повышает теплотворную способность брикетов примерно на 100 ккал/кг.

Таким образом, показана возможность получения высококачественных брикетов из влажной смеси штыба и шлама с использованием модифицированного лигносульфоната в качестве связующего, что обеспечивает брикетам достаточную для их складирования и эксплуатации прочность без применения дорогостоящей операции сушки.

## Список литературы

1. Бурдуков А.П., Матузов С.В. Сжигание отходов углепереработки в котле кипящего слоя // Уголь. – 2012. – № 12. – С. 69-71.
2. Евстифеев Е.Н., Попов Е.М., Рассохин Г.И. Переработка антрацитовых шламов и штыбов в топливные брикеты // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 10. – С. 118-120.
3. Евстифеев Е.Н., Кужаров А.С., Попов Е.М.. Разработка нового связующего для производства бездымных брикетов из антрацитовых штыбов // Уголь. – 2014. – № 4. – С. 68–70.

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ДОИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ФЛОТАЦИОННОМ ОБОГАЩЕНИИ СУЛЬФИДНЫХ РУД

Гетман В.В., Каркешкина А.Ю.

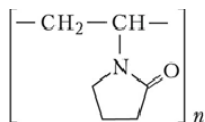
*Институт проблем комплексного освоения недр  
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Термочувствительные полимеры были открыты в начале 60-х годов прошлого века. Полимеры, восприимчивые к внешним воздействиям в последнее время привлекают внимание многих исследователей благодаря своим свойствам – под действием незначительных изменений во внешней среде происходят относительно большие и резкие изменения физических и химических свойств полимеров[1].

Водорастворимые полимеры (ВП) обладающие термочувствительностью завоевали прочное положение во многих областях науки и техники [2]. Некоторые ВП зарекомендовали себя в качестве флотационных регуляторов, обладающих флокулирующей или депрессирующей активностью.

Среди широко известных водорастворимых, термочувствительных полимеров необходимо, прежде всего, выделить высокомолекулярные соединения на основе N-винилкапролактама (ВК) и N-винилпирролидона (ВП) в связи с их доступностью, нетоксичностью, экологической безопасности, высокой гидрофильности, способностью к комплексообразованию со многими органическими и биологическими объектами [3].

Поливинилпирролидон (ПВП). Синтетический полимер-гамма-виниллактam N-аминомасляной кислоты, известен также, как поливидон или повидон. Структурная формула ПВП:



Согласно исследованиям, в обычных условиях поливинилпирролидон не обладает термочувствительностью. Однако введение ряда неорганических соединений способствует появлению у ПВП термочувствительности [4]. В качестве объекта исследований был использован высокомолекулярный ПВП с молекулярной массой 360000. Для снижения температуры фазового перехода приготовлен раствор  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  с концентрацией 0,25 моль/л и ПВП- $2,8 \cdot 10^{-5}$  моль/л. Переход из водорастворимого в твердое состояние определяли визуально, по помутнению раствора при нагревании. Установлено, что фазовый переход раствора ПВП в присутствии соли происходит при температуре  $30^\circ\text{C}$ .

Важное свойство ПВП, как возможного реагента для флотации руд содержащих микро и наночастицы благородных металлов, исследовано в работе [5]. Для обнаружения взаимосвязи ПВП с золотом использовали метод электронной зондовой микроскопии. Частицы пирита, с искусственно нанесенным золотом [6] обрабатывали 1% раствором ПВП. На микрофотографиях (рисунок 1а) на поверхности пирита обнаружены темные образования ПВП, рентгеновский спектр данного участка (рисунок 1б) показал пик углерода, который обычно не наблюдается на поверхности чистого пирита. Пика золота не обнаружено, по-видимому, из-за слишком тонкой пленки золота на поверхности пирита.

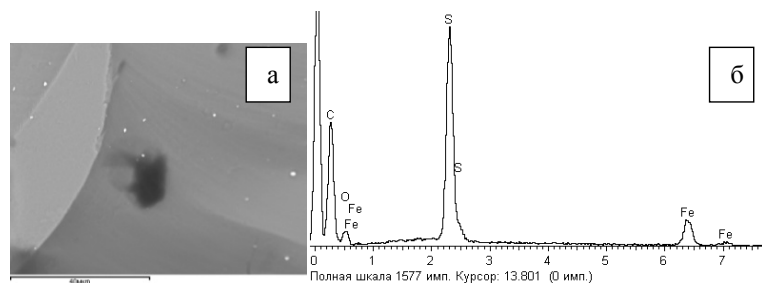
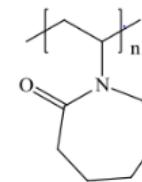


**Рис. 1. Изображение частицы пирита, с нанесены золотом, после контакта с раствором ПВП – а, рентгеновский спектр – б**

Поливинилкапролактam (ПВК) типичный и хорошо изученный термочувствительный полимер, является аналогом ПВП. Его молекула отличается от молекулы ПВП лишь тем, что боковой заместитель – лактамный цикл – содержит на две метиленовые группы больше по сравнению с ПВП. Структурная формула ПВК:



В работе использовался 0,1 % раствор ПВК в дистиллированной воде, установлена температура фазового разделения-  $32^\circ\text{C}$ . Свойства ПВК изучены методом электронной зондовой микроскопии на частицах пирита с искусственно нанесенным золотом. На микрофотографиях (рисунок 2а) на поверхности пирита с золотом отчетливо видно темное пятно ПВК непосредственно на участке с большим скоплением пленок Au и на рентгеновском спектре данного участка (рисунок 2б) обнаружен пик углерода характерный для ПВК и пик золота.

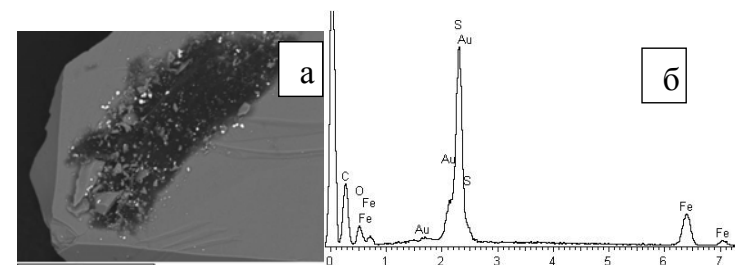


**Рис. 2. Изображение частицы пирита, с нанесены золотом, после контакта с раствором ПВК – а, рентгеновский спектр – б**

Обнаруженные селективные свойства водорастворимых полимеров по отношению к наночастицам благородных металлов позволяют сделать вывод о целесообразности исследований ВП в качестве возможных флотационных реагентов для доизвлечения ценных компонентов при флотационном обогащении сульфидных руд.

### Список литературы

1. Калдыбеков Д.Б. Термоморфные полимеры на основе N-винилкапролактама: синтез, характеристики, перспектива, области применения. Дисс. докт. фил. Наук. Казахстан, Алмааты. 2014.
2. Низова С.А., Чепикова М.В. Водорастворимые полимеры. Структура, получение, свойства, применение РГУНиГ им Губкина. Материалы учебного пособия, Москва 2011 г.
3. Кирш Ю. Э. Поли-N-винилпирролидон и другие поли-N-виниламины. М.: Наука, 1998. 254 с.

4. Нахманович Б.И., Пакуро Н.И., Ахметьева Е.И., Литвиненко Г.И. и Арест-Якубович А.А. Термочувствительность растворов поли-N-винилпирролидона в водно-солевых средах Высокомолекулярные соединения, Серия Б, 2007, том 49, № 5, с. 941-944.

5. Оленин А.Ю., Крутяков Ю.А., Лисичкин Г.В. Российские Нанотехнологии. вып. 5. № 5-6, 128 (2010).

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

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОБОГАТИМОСТИ И КОМПЛЕКСНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛИНИСТЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ПЕСКОВ (НА ПРИМЕРЕ РОССЫПЕЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ)**

**Никоненко Т.В.**

*Забайкальский Государственный Университет  
(ЗабГУ) г. Чита*

Забайкальский край исторически является один из ведущих регионов по добычи россыпного золота, но многолетняя разработка и переработка россыпных месторождений привели к истощению природных ресурсов. За последние десятилетия в эксплуатацию вводятся сложные горно-геологические объекты, с высоким содержанием илесто-глинистых отложений и органики.

Статистика последних лет действующих предприятий по переработке россыпных месторождений Забайкальского края показывает, что проблема высокого содержания илесто-глинистых включений наблюдается повсеместно. Богатые легкообогащаемые месторождения россыпного золота уже отработаны и в эксплуатацию вводятся труднообогащаемые и техногенные отвалы.

Печальное наследие от ведущих золотодобывающих компаний, заброшенные отвалы и пруды накопители, изменившие до неузнаваемости не только рельеф, но и вещественный состав вмещающих минералов, характер золота с высоким содержанием илесто-глинистых частиц. В некоторых случаях применялись реагенты (флокулянты, коагулянты), для снижения самостоятельно не оседающей взвеси, что привело к образованию модифицированных илесто-глинистых осадков.

В отработанных россыпных месторождениях остаются остаточное количество золота, средние содержания которого не превышает  $0,1-0,5 \text{ г/м}^3$ ,

отрабатывать такие россыпные месторождения очень сложно. Основная причина высоких потерь золота и попутных ценных компонентов, низкая эффективность технологического оборудования, связаны с рыхлыми илесто-глинистыми отложениями и элювия. Россыпные месторождения Забайкальского края относятся к труднопромывистым золотосодержащим илесто-глинистым пескам.

Технологическая оценка на обогатимость металлоносных песков забайкальского края позволила заключить, что золотосодержащие глинистые пески относятся к труднообогащаемым [2] с наличием в них вязкой глины. Анализ технологических проб показал, что в мелких классах (минус 0,315 мм) содержится свободное золото, которое не в состоянии уловить гравитационное оборудование [3]. Содержание глинистой фракции в классах минус 0,05+0,005 и минус 0,005 мм, составило: алеврита – 23...65,7 %, пелита – 22,7...30 %. Для минералогических исследований глин применялся комплекс методов: рентгенофазовый; термический анализ; инфракрасная спектроскопия [1]; электронная микроскопия; петрографический анализ.

Комплексное исследование вмещающих глин металлоносных песков Забайкалья относятся к полиминеральным, основным минералом которых является гидрослюда с различным количеством монтмориллонита и каолинита. Реже в глинистых песках встречаются разновидности глин монтмориллонито-гидрослюдистого типа с примесью галлуазита и каолинита.

Анализ экспериментальных данных, полученных на объектах россыпной золотодобычи Забайкальского края, подтвердили, что к основным факторам, определяющим уровень технологических потерь, относятся пески с содержанием глины и частный выход мелких классов крупности золота минус 0,315 мм и минус 0,25 мм. При этом подтверждено что, мелкое пластинчатое «плавающее» золото класса минус 0,1 мм полностью не извлекается в потоке воды, текущей по наклонной плоскости.

Установлено, что технологические потери золота, происходят за счёт накатывания поверхностью глинистых окатышей свободного золота еще на предварительном этапе при промывке и дезинтеграции песков. Технологические потери золота с эфельной фракцией в обогатительных аппаратах проявляются уже при содержании глины в песках более 20 %.

Глина с золотосодержащими песками поступает в гравитационные аппараты в виде комочков округлой формы. И обволакивая липкой поверхностью зёрна золотин, происходят потери с хвостами при складировании в отвал [3, 4].

Технология обогащения труднообогатимых илисто –глинистых золотосодержащих песков с использованием традиционных гравитационных аппаратов, являются низкоэффективными приводящее к большим потерям золота и других ценных компонентов. Основной задачей для снижения потерь при разработке золотосодержащих песков является совершенствование традиционной технологии за счет внедрения развитых комбинированных схем с заменой низкоэффективных гравитационных аппаратов на новые аппараты для улавливания тонкого, плавучего золота, и попутных ценных компонентов.

Необходимым условием подготовки золотоносных песков к обогащению является освобождение их зернистой части от глинисто – шламовых составляющих (дезинтеграция) и удаление крупных фракций пустой породы (грохочение).

Таким образом, можно заключить, что проблема дезинтеграции и размыва глинистых пород в промывочных барабанных грохотах остаётся нерешённой до сих пор. Поэтому на практике для повышения эффективности размыва и дезинтеграции глинистых песков применяют многооперационные технологические схемы и поточные линии с использованием корытных моек, скруббер-бутар, землесосов и гидромониторов, однако это ведёт к увеличению удельных расходов электроэнергии и снижению производительности транспортно-обогажительных комплексов [8]. По нашему мнению, в первую очередь при построении технологических линий необходимо реализовать ресурсосберегающую концепцию с выводом глины в голову технологического процесса, исключив её попадание в процесс гравитационного выделения из массопотока для извлечения золота. Последующее обогащение обезглинистых металлоносных песков в технологических линиях по отдельным классам крупности минеральных фракций [7, 9]. Реализация данной концепции нашла практическое применение в патентнозащищённых технических решениях и заявок на выдачу патентов на предполагаемое изобретение, заявителем которых является Забайкальский государственный университет.

Проблема комплексного освоения недр в общепринятом понимании заключается в максимальном извлечении учтенных запасов из недр, максимальное извлечение полезных компонентов из добытой руды и максимально возможном использовании отходов (вскрышных пород, хвостов обогащения) в строительную и иную индустрию. Все это относится к учтенным запасам [6]. Проблема неучтенного металла во вмещающих породах практически не рассматривается. Реальные потери тонкого и мелкого золота, в зависимости от сложности россыпи (крупность золота, форма, вмещающие илисто-глинистые породы, обводнен-

ность), составляет 30-80 %. Огромные потери ценного металла, как правило, остаются не учтенными.

Илисто-глинистые золотосодержащие пески россыпных месторождений Забайкальского края представляют технологический и экономический интерес.

Технологическая оценка комплексности использования илисто-глинистых золотосодержащих песков, как полиметаллического сырья, содержащего рудные и нерудные минералы, практически не проводилось. В лабораторных и полупромышленных условиях есть возможность дополнительного получения кроме золота и других концентратов на основе использования разделительных признаков вмещающих минералов. Сбор чёрных и серых шлихов с объектов старательской золотодобычи Забайкалья и централизованная переработка собранных шлихов на обоганительной фабрике с использованием развёрнутых технологических схем на основе комбинации различных методов обогащения по разделительным признакам минерального сырья [5, 6].

Для дальнейшей проработки вопроса комплексности использования вмещающего сырья илисто-глинистых золотосодержащих песков требуется проведение укрупнённой технико-экономической оценки получения готовой продукции из вмещающих глин и пустых галечных пород. Необходимо также провести комплексную экологическую оценку по влиянию заскладированных глинистых и галечных пород на компоненты окружающей природной среды. Это направление работ является одним из перспективных.

### Список литературы

1. Анашкина Н.Е. Оценка технологических свойств и качества алмазного сырья из россыпей Нижне-Ленского района (Якутия) методом ИК-спектроскопии // X Конгресс обогатителей стран СНГ: сборник материалов. М., 2015. Т.1. С.60-63.
2. Баликов С.В., Дементьев В.Е. Золото: свойства. Геохимические аспекты. Иркутск: Иргиредмет, 2015. 327 с.
3. Бордунов С.В., Бордунов В.В., Данилов А.П. Извлечение тонкого золота из техногенного сырья в высоком содержании глин // X Конгресс обогатителей стран СНГ: сборник материалов. М., 2015. Т. 1. С. 365-368.
4. Бордунов С.В., Бордунов В.В., Данилов А.П. Извлечение тонкого золота из техногенного сырья в высоком содержании карбонатов // X Конгресс обогатителей стран СНГ: сборник материалов. М., 2015. Т. 1. С. 362-365.
5. Гоосен Е.В., Каган Е.С., Никитенко С.М. Развитие научных основ готовности Российских ресурсов регионов к комплексному освоению недр: количественная оценка // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2018. Т.5, №1. С.19-24.

6. Спирин В.И., Башлыкова Т.В. Создание геотехнологического центра для разработки наилучших доступных технологий обогащения руд природных и техногенных месторождений // X Конгресс обогатителей стран СНГ: сборник материалов. М., 2015. Т.1. С. 269-272.

7. Субботин Ю.В., Овешников Ю.М., Авдеев П.Б. Водоснабжение драг и очистка технологической воды при разработке россыпи «Средняя Борзя» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. №2. С. 58-68.

8. Ширман Г.В. Влияние криогенной обработки глинистых агрегатов на процесс их дезинтеграции в промывочном барабане // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2018. Т.5, №1. С. 232-241.

9. Ярыгина А.А., Ермолаев С.В. Обезвоживание осадков, шламов, илов с применением геотубов для решения экологических задач // X Конгресс обогатителей стран СНГ: сборник материалов. М., 2015. Т.1. С. 563-567.

### О ПРИМЕНЕНИИ РЕАГЕНТОВ- КОМПЛЕКСООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ФЛОТАЦИИ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

Каменева Ю.С., Черноусенко Е.В., Базарова Е.А., Митрофанова Г.В.

*Горный институт КНЦ РАН*

Для разделения сульфидов цветных металлов и минералов пустой породы применяют реагенты различного строения, преимущественно сульфгидрильные собиратели: ксантогенаты и аэрофлоты [1]. Основные направления для создания новых реагентов – это разнообразные модификации сульфгидрильных собирателей или введение в состав молекулы комплексообразующих группировок [2,3].

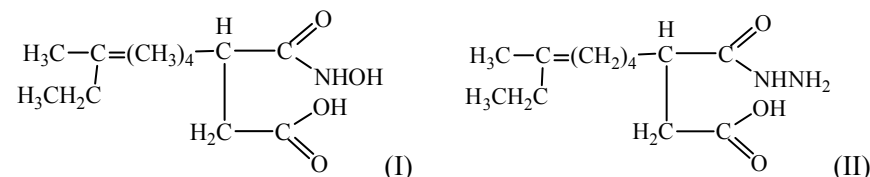
В последнее время все большее внимание привлекают реагенты, способные образовывать хелатные соединения с ионами цветных металлов. Наличие в кристаллической решетке сульфидных минералов атомов металлов с частично заполненными электронными орбиталями обуславливает их способность к взаимодействию с органическими лигандами на минеральной поверхности.

Среди комплексообразующих реагентов привлекают внимание соединения с азотсодержащими группировками, широко используемые в аналитической химии для обнаружения и связывания ионов переходных металлов в растворах. Подобные соединения были опробованы в качестве собирателей при флотации руд цветных металлов. Так, была показана возможность использования гидроксамовых кислот [4] и гидразидов карбоновых кислот [5]. Способность гидроксамовых кислот и гидразидов образовывать прочные комплексы с ионами переходных металлов, обуславливающая избирательность их действия, и доступность синтеза этих реагентов определяют перспективность их использования для флотации руд цветных металлов.

Известно, что наличие двух функциональных группировок в молекуле реагента определяет его способность образовывать прочные хелатные соединения. Центральный атом в таких соединениях связан с органическим лигандом силами как главной, так и побочной валентности. Примером таких соединений, способных образовывать хелатные комплексы с ионами меди и никеля, являются аминокислоты, в состав которых входит карбоксильная и аминная группировки.

В настоящей работе в качестве собирателей исследованы бифункциональные соединения, представляющие собой монопроизводные дикарбоновой кислоты – моногидроксиамид и моногидразид алкенил-антарной кислоты. Наличие второй функциональной группировки кислотного характера обеспечит дополнительное взаимодействие с неоднородной поверхностью минерала и увеличит эффективность флотации.

В качестве реагентов-собирателей для флотации сульфидных медно-никелевых руд в работе рассмотрены монопроизводные алкенил-антарной кислоты: моногидроксиамид 2-этилгексенил-антарной кислоты – SLR-1 (I) и моногидразид 2-этилгексенил-антарной кислоты – SLR-2 (II), синтезированные в процессе исследования:



Ранее проведенными исследованиями [6] было показано, что азотсодержащие производные карбоновых кислот, а именно гидразиды и алкилгидроксамовые кислоты, могут быть использованы в качестве дополнительного собирателя в сочетании с ксантогенатом при флотации сульфидных медно-никелевых руд. Поэтому, при флотационных испытаниях исследуемые моногидроксиамид и моногидразид 2-этилгексенил-антарной кислоты использовали вместо аэрофлота в сочетании с ксантогенатом.

Оценку флотационных свойств исследуемых реагентов проводили на пробе тонковкрапленной медно-никелевой руды одного из месторождений Печенгского рудного поля с содержанием Ni – 0.495% и Cu – 0.211%. Минеральный состав, определенный методом рентгенофазового анализа показал, что доля главных сульфидных минералов в руде составляет 4.5%, в том числе: пирротина 2.6%, пентландита 1.4%, халькопирита 0.5%. Породообразующие минералы представлены серпентином, пироксеном, амфиболами, тальком и оливином.

Оптимальная крупность измельчения для данного типа руды составила 97 % класса -0,071 мм. Опыты осуществляли в открытом цикле с проведением основной (ОФ) и контрольной флотаций (КФ). Необходимое значение pH создавали с помощью кальцинированной соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), подаваемой в измельчение. В качестве активатора сульфидных минералов использован медный купорос. Основной собиратель – бутиловый ксантогенат (Кх) также подавали в измельчение.

На рисунке представлены сравнительные показатели флотации в зависимости от расхода исследуемых реагентов. Расход ксантогената во всех опытах оставался постоянным и составил 130 г/т. Из полученных результатов видно, что реагент SLR-2 характеризуется большей собирательной способностью по отношению к никельсодержащим минералам, в сравнении с SLR-1 и аэрофлотом. По отношению к медьсодержащим минералам реагенты аэрофлот и SLR-2 сравнимы между собой. Моногидроксиамид 2-этилгексенйлантарной кислоты в данной серии опытов оказался несколько менее активным. Реагент SLR-2 ввиду своей высокой активности обеспечивает более полное извлечение никеля в пенный продукт основной флотации и как следствие, в контрольной флотации в пенный продукт переходит уже меньшее количество никеля.

Таким образом, проведенные флотационные испытания комплексобразующих реагентов из классов монопроизводных алкенилантарной кислоты показали, что подобные соединения могут рассматриваться как перспективные собиратели для флотации медно-никелевых руд. Большой эффективностью действия характеризуется реагент SLR-2 (моногидразид 2-этилгексенйлантарной кислоты), его применение в сочетании с ксантогенатом обеспечивает прирост извлечения никеля в черновой концентрат и снижение потерь его с хвостами флотации.

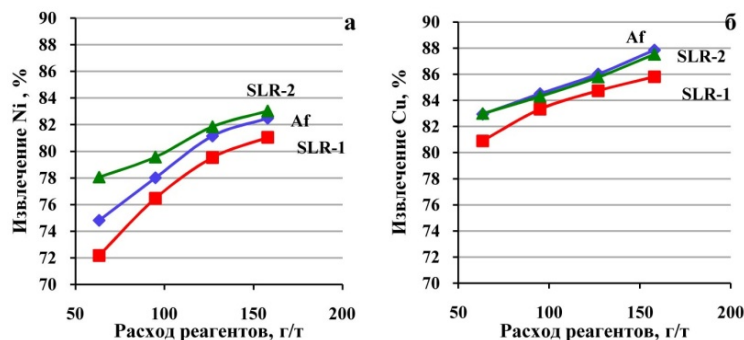


Рис. Влияние расхода реагентов на извлечение никеля (а) и меди (б) в черновой концентрат (пенный продукт основной и контрольной флотаций)

## Список литературы

1. Абрамов А.А. Технология переработки обогащения руд цветных металлов: учеб.пособие для вузов в 2 кн. – Кн. 2 : Pb, Pb-Cu, Zn, Pb-Zn, Pb-Cu-Zn, Cu-Ni, Co-, Bi-, Sb-, Hg-содержащие руды. А. А. Абрамов. – М. : Изд-во Моск. гос. горн.ун-та, 2005. – 344 с.
2. Соложенкин П.М., Копица Н.И., Современное состояние и перспективы развития теории флотации / П.М. Соложенкин, Н.И. Копица. – М.: Наука, 1979. – с. 94-106.
3. Рябой В.И. Проблемы разработки и использования новых флотореагентов в России // Цветные металлы. – 2011. – № 3. – с. 15-24.
4. Daixiong Chen, Jun Xiao, Chunming He, Xiaodong Li. Copper oxide flotation using the combined collectors of benzolhydroxamic acid and butyl xanthate // IMPC 2016 XXVIII Intrnational Mineral Processing Congress, 11-15 September, 2016, Qubec.
5. Тимошенко Л.И., Чеканова Л.Г., Маркосян С.М. Реагенты класса гидразидов для флотационного обогащения вкрапленных медно-никелевых руд// Химическая технология. – 2014. – Т.15, №8. – С.488-492.
6. Черноусенко Е.В., Митрофанова Г.В., Каменева Ю.С., Вишнякова И.Н. Оценка действия комплексобразующих реагентов при флотации медно-никелевых руд // Цветные металлы. – 2019, №1, С.7-12.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ РУД НА ОСНОВЕ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

Арданаева С.А.

Забайкальский государственный университет, г. Чита

В настоящее время большинство зарубежных и отечественных золотоизвлекательных фабрик работает по схеме «уголь в пульпе». Тенденция к расширению масштабов использования такой технологии нарастает все больше. В связи с этим большое внимание в России и за рубежом уделяется операции десорбции золота и серебра с насыщенного в процессе сорбции благородными металлами угля. Особое место в мировой золотодобывающей промышленности занимают такие процессы как «сорбция», «десорбция». В процессе сорбции активированный уголь, двигаясь в противотоке пульпы или технологических растворов, насыщается не только золотом и серебром, но и другими сопутствующими анионами цветных металлов и железа. При использовании угля в обороте, т. е. в цикле сорбция-десорбция благородных

металлов в угле происходит накопление примесей — органических, карбонатных и серосодержащих соединений, которые забивают поры угля, занимают активную поверхность, что вскоре приводит к снижению скорости сорбции золота, уменьшению рабочей емкости сорбента и, в конечном счете, к увеличению потерь драгметаллов с хвостами сорбции.

Вследствие высокой стоимости активированного угля способ его обработки после процесса сорбционного выщелачивания должен предусматривать не только глубокое извлечение драгоценных металлов в раствор, но и, возможно, полную регенерацию, т.е. восстановление первоначальных сорбционных свойств и, прежде всего, рабочей емкости сорбента по золоту и серебру.

Восстановление сорбционных свойств и выделение угольной мелочи на грохоте, является актуальной задачей на сегодняшний момент, в связи с чем и выбрана тема для научно-производственной конференции.

Сорбционные технологии широко применяются в мировой практике при переработке легкообогатимых кварцевых руд. Типичный пример использования данных технологий использован на ряде месторождений ООО «Омолонская золоторудная компания». В качестве основного сорбента по извлечению золота из пульпы используется активированный уголь марки, GOLDCARB 207C. С учетом того, что на предприятии перерабатываются руды с разных месторождений и с разным вещественным составом. Основным недостатком активированного угля, является снижение сорбционных свойств, что ведет к потерям ценного компонента.

На некоторых предприятиях с применением цианисто-сорбционного процесса не всегда уделяют должное внимание регенерации угля, а в некоторых случаях даже при наличии соответствующего оборудования не проводят такие важные операции, как кислотная обработка угля и его термическая реактивация. Перечислим основные виды примесей в насыщенных углях, которые являются вредными в сорбционном процессе, снижающие сорбционную способность сорбента.

*Органические примеси.* К ним относятся минеральные масла, которые попадают в пульпу в виде проливов при работе мельниц, дробилок, пульповых насосов и другого оборудования, а также реагенты органического происхождения, применяемые в процессе флотации: собиратели — ксантогенаты, олеиновая кислота и др., пенообразователи — аэрофлот, сосновое масло, ИМ-68, Т-66 и др.

*Известь*, используемая в качестве защитной щелочи в технологическом процессе и сорбционном цианировании, вызывает ин-

тенсивную кальцинацию пор угля, т.е. на стенках пор и на поверхности угля осаждается карбонат кальция. С течением времени поры угля полностью зарастают карбонатом кальция, и уголь перестает работать.

*Примеси цветных металлов.* В большинстве золотосодержащих руд содержатся окисленные и первичные сульфиды, а также оксиды цветных металлов — меди, цинка, свинца, никеля, — которые в процессе цианирования в той или иной степени переходят в раствор. И хотя активированный уголь считается селективным по золоту, растворенные цветные металлы также сорбируются на уголь в виде цианистых анионных комплексов  $[\text{Cu}(\text{CN})_3]^{2-}$ ,  $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$ ,  $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$ , занимая активные места в угле, что приводит к их накоплению и, как следствие, к снижению сорбционной способности по благородным металлам.

*Ртуть.* В некоторых золотосодержащих рудах встречается ртуть в виде минерала киновари  $\text{HgS}$  (сульфид ртути) или ртуть присутствует в самородном виде, а также в виде оксидов  $\text{HgO}$ .

Основное направление работ в дальнейших исследованиях заключаются в следующем:

1. Определить количество примесей на активированных углях.
2. Оптимизировать процесс кислотной обработки активированного угля.
3. Изучить влияние извести, подаваемой в процесс, на сорбционные свойства углей.
4. Изучить кинетические характеристики активированного угля используемого в процесса, после десорбции а так же после его реактивации.
5. Выявление и повышение псевдокинетической константы скорости сорбции.
6. Провести исследования на щелочаемость руды. Рассмотреть возможность применения натра — каустической соды вместо извести. Посчитать сколько натра потребуется на переработку руды, для экономического эффекта.

Проведенный анализ позволяет говорить о актуальности темы восстановления сорбционных свойств активированного угля в гидрометаллургическом процессе «сорбция» «десорбция» как о наиболее важном и необходимом приеме для гидрометаллургической переработки руд, с целью уменьшения потерь с хвостами продукции и повышением извлечения, а также с экономической и технологической точки зрения.

### Список литературы

1. Барченков В.В., Чита: 2004.-242 с. Технология гидрометаллургической переработки золотосодержащих флотоконцентратов с применением активных углей.
2. Барченков В.В., Основы сорбционной технологии извлечения золота и серебра из руд. М.: «Металлургия», 1982.-128 с.
3. Масленицкий И.Н. Металлургия благородных металлов. М.: Металлургии, 1987.-432 с.
4. Хабиров В.В. Прогрессивные технологии добычи и переработки золотосодержащего сырья. М.: Недра, 1998. – 272 с.
5. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1984.
6. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1981. – 416 с.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ КИМБЕРЛИТОВЫХ РУД НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛМАЗОВ

Подкаменный Ю.А.<sup>1,2</sup>, Двойченкова Г.П.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт проблем комплексного освоения недр  
им. академика Н.В.Мельникова РАН*

<sup>2</sup>*Политехнический институт (филиал) СВФУ, Мирный, Россия*

На поверхности алмазов и минералов из различных источников (эндогенные, экзогенные условия, среда в процессе переработки руды) по различным механизмам формируются скопления минеральных фаз, называемых минеральными образованиями, пленками. Степень загрязнения алмаза зависит от множества факторов, таких как поверхностные свойства контактирующих фаз, ионный состав водной фазы, температура, давление и др. Наличие минеральных образований различного состава и структуры на поверхности минералов изменяют гидрофобно-гидрофильные свойства кристаллов алмазов и влияют на эффективность их извлечения при липкостной сепарации.

На исследуемых алмазах посторонний материал представлен минеральными образованиями различной площади, толщины и степени связи с подложкой. Поверхностные гидрофилизирющие образования могут быть представлены покрытиями значительной размеров или сконцентрированы в локальных трещинах, впадинах и также во входящих углах смежных поверхностей (рисунок 1).

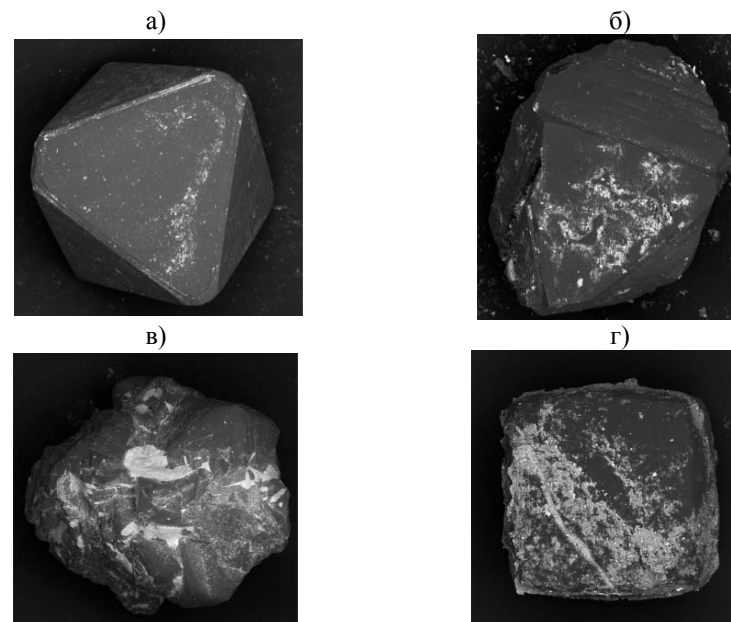


Рис.1. Минеральное вещество на поверхности алмазов, где: а, б – локализация шламового материала на алмазах; в – локализация сросшегося материала; г – смешанные образования

Внешний вид поверхностных образований разнообразен и может быть условно разделен на шламовые покрытия большой площади (рисунок 1 а,б), массивные рельефные образования (рисунок 1 в), комбинированные минеральные образования (рисунок 1 г).

Анализ изображений показывает, что минеральные покрытия на алмазах сложены скрыто и микрокристаллическим материалом, где диагностированы микрозерна (до 20 мкм) кимберлитовых минералов (пиропы, пикроильмениты, оливин), а также хлорит, флогопит, пирит, апатит, доломит, гидроокислы Fe (гетит и др.), сульфаты (нередко гипс), карбонаты (в основном кальцит, редкие точки с карбонатами железа).

Исследования поверхностных минеральных образований на кристаллах алмаза в режимах электронного микроскопа показали наличие гидрофильных шламовых примазок, распределенные относительно равномерным слоем.

Наиболее часто встречающимися поверхностными минеральными образованиями на кристаллах алмаза являются шламовые смешанные силикатно-карбонатные примазки состава SiO<sub>2</sub> (26,3%); MgO (11,7%); FeO (6,2%); K<sub>2</sub>O (5,7%); Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (8%); TiO<sub>2</sub> (2,4%).

В спектрах ИК-поглощения гидрофобных алмазов зафиксированы весьма слабые полосы, которые могут быть определены как наложение полос гипса и силикатов. В отличие от них, на гидрофильных алмазах наблюдаются отчетливые полосы гипса, силикатов (среди них тальк), карбонатов (рисунок 2).

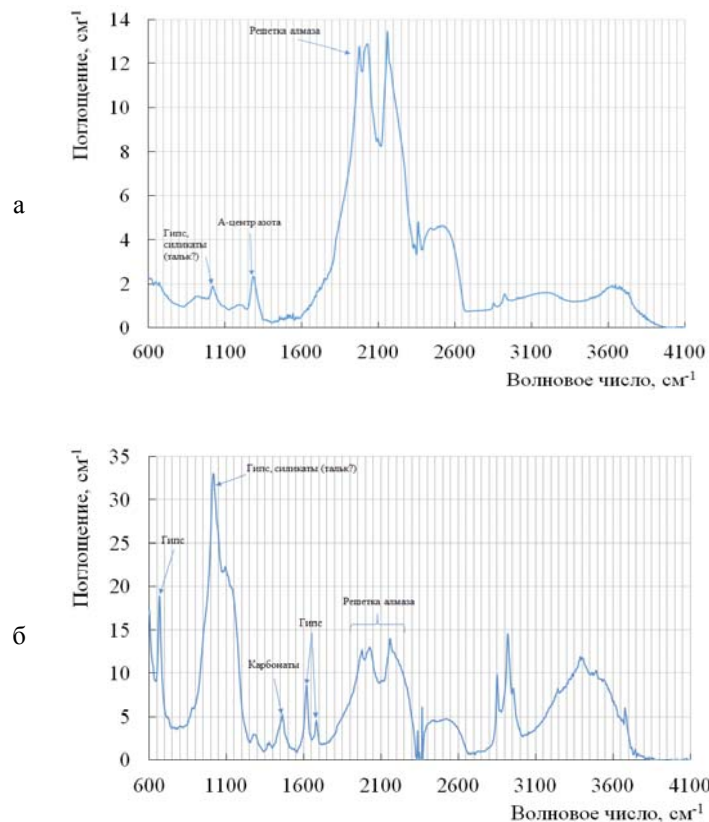


**Рис. 2. Спектр ИК-поглощения чистого гидрофобного (а) и гидрофильного (б) алмаза с минеральной пленкой на поверхности**

Наличие на кристалле алмаза минеральной пленки существенно изменяет его такие технологические свойства, как гидрофобность поверхности. Уменьшение величины краевого угла смачивания поверхности алмаза с минеральной пленкой показывает снижение его гидрофобных свойств (таблица 1) и, соответственно возможность потерь такого типа кристаллов с хвостами липкостной и пенной сепараций.

**Таблица 1 – Оценка гидрофобности поверхности кристалла алмаза**

| Вода             | Угол смачивания |        |         |        |
|------------------|-----------------|--------|---------|--------|
|                  | 1 грань         |        | 2 грань |        |
|                  | левый           | правый | левый   | правый |
| дистиллированная | 70,1            | 73,3   | 72,5    | 75,5   |
| техническая      | 61,9            | 64,7   | 64,3    | 67,1   |
| оборотная        | 52,6            | 52,5   | 50,6    | 50,8   |

Таким образом, рентгеновскими и ИК-спектральными исследованиями установлено, что гидрофилизующие шламовые поверхностные образования на алмазах преимущественно представлены адгезионно закрепившимися шламовыми конгломератами силикат-карбонат-фосфатного и тальк-сметитового состава, относительная доля которых достигает 59,1 и 60,4%.

Измерение краевого угла смачивания на коллекции алмазов различных типов показало, что высокая степень гидрофилизации алмазных кристаллов (краевой угол смачивания 50,8 – 52,6°) может быть причиной потерь этих кристаллов в операциях липкостной и пенной сепарации.

## ОЦЕНКА АГРЕССИВНОСТИ ОБОРОТНЫХ ВОД ДЛЯ ПРОЦЕССА ТЯЖЕЛОСРЕДНОЙ СЕПАРАЦИИ

Тимофеев А.С., Двойченкова Г.П.

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

В последние годы одним из основных методов обогащения алмазо-содержащего сырья является процесс тяжелосредной сепарации (ТСС), эффективность которого зависит от стабильности реологических свойств суспензии утяжелителя и физико-химических параметров используемых технических водных систем.

На алмазоизвлекающих фабриках в качестве утяжелителя используется гранулированный ферросилиций, характеризующийся высокой устойчивостью к истиранию, коррозии и низкими потерями в процессе его регенерации.

Изменение pH и окислительно-восстановительного потенциала технической водной среды в сторону значений, при которых происходит окисление и разрушение ферросилиция, приводит к нарушению реологических свойств суспензии, потерям ферросилиция в процессе регенерации на магнитных сепараторах и, соответственно, снижению в целом эффективности процесса ТСС [1, 3, 4].

При этом вовлечение в промышленную переработку россыпных и техногенных месторождений, а также месторождений, кимберлиты которых подверглись активному вторичному изменению, влияет на формирование ионного состава и физико-химической характеристики оборотной воды и, соответственно, на состояние гранул ферросилиция в водных системах. [2, 4]

Разработанная в данной работе математическая модель окисления гранул ферросилиция позволяет оценить агрессивность минерализованных водных систем по отношению к ферросилицию.

### 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  $J_s^0$ . Тогда, эта частица в окисленном состоянии в момент времени  $t$  имеет диаметр равный  $D - 2\Delta$  и намагниченность насыщения  $J_s$  [5]. Данный факт обуславливается переходом в раствор железа ферросилиция в виде трехвалентного железа [7].

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, Ам<sup>2</sup>/кг;  $J_s$  – намагниченность насыщения окисленной частицы ферросилиция, Ам<sup>2</sup>/кг.

Предположим, что скорость окисления постоянна ( $u = \text{const}$ , мкм/сутки), тогда окисленная часть  $2\Delta$  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):

$$\frac{J_s}{J_s^0} = \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} W(D) \left( 1 - \frac{3ut}{D} + \frac{3(ut)^2}{D^2} - \frac{(ut)^3}{D^3} \right) dD; \quad (3)$$

где  $D_{\max}$  – максимальный диаметр частицы ферросилиция;  $D_{\min}$  – минимальный диаметр частицы ферросилиция;  $W(D)$  – плотность вероятности для случайной величины диаметра частиц ферросилиция.

Исходя из полученной зависимости (3), можно оценить агрессивность минерализованных вод по отношению к ферросилицию, подставляя известные экспериментальные значения  $\frac{J_s}{J_s^0}$  и  $t$ .

### Оценка скорости окисления ферросилиция марки DMS Powder в минерализованных водах различной агрессивности

Предложенная модель апробирована для оценки скорости окисления ферросилиция марки DMS Powder в минерализованных водах действующих алмазоизвлекающих обогатительных фабрик (Таблица 1). Для расчета использованы экспериментальные данные намагниченности насыщения исходного ферросилиция и после нахождения в исследуемых водах различной агрессивности (Таблица 2).

Таблица 1 – Характеристика исследуемых минерализованных водных систем

| № проб<br>оборотных вод | pH   | Eh,<br>мВ | Сухой<br>остаток,<br>г/дм <sup>3</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ,<br>г/дм <sup>3</sup> | K <sup>+</sup> ,<br>г/дм <sup>3</sup> | Na <sup>+</sup> ,<br>г/дм <sup>3</sup> | Mg <sup>2+</sup> ,<br>г/дм <sup>3</sup> | Ca <sup>2+</sup> ,<br>г/дм <sup>3</sup> | Cl <sup>-</sup> ,<br>г/дм <sup>3</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,<br>г/дм <sup>3</sup> |
|-------------------------|------|-----------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 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<br>оборотных<br>вод | Намагниченность насыщения, Ам <sup>2</sup> /кг |                             | Скорость<br>окисления $u$ ,<br>мкм/сутки |
|----------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|
|                            | исходной<br>суспензии                          | суспензии через<br>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                                    |

На основе анализа данных о скорости окисления ферросилиция (Таблица 2) и ионном составе оборотных вод фабрик АК «АЛРОСА» (Таблица 1) были определены типы ионов, концентрация которых в оборотных водах оказывает наиболее существенное влияние на интенсивность процессов окисления ферросилиция (Таблица 3).

**Таблица 3 – Парный коэффициент корреляции скорости окисления ферросилиция марки DMS Powder и ионного состава вод**

|                               | Скорость окисления | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | Li <sup>+</sup> | Mg <sup>++</sup> | Sr <sup>++</sup> | Ca <sup>++</sup> | Cl <sup>-</sup> | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
|-------------------------------|--------------------|------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Скорость окисления            | 1,00               |                              |                |                 |                 |                  |                  |                  |                 |                              |                               |                              |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | -0,56              | 1,00                         |                |                 |                 |                  |                  |                  |                 |                              |                               |                              |
| K <sup>+</sup>                | 0,33               | -0,03                        | 1,00           |                 |                 |                  |                  |                  |                 |                              |                               |                              |
| Na <sup>+</sup>               | 0,84               | -0,57                        | -0,24          | 1,00            |                 |                  |                  |                  |                 |                              |                               |                              |
| Li <sup>+</sup>               | 0,53               | -0,42                        | 0,90           | 0,03            | 1,00            |                  |                  |                  |                 |                              |                               |                              |
| Mg <sup>++</sup>              | 0,40               | -0,21                        | 0,92           | -0,11           | 0,95            | 1,00             |                  |                  |                 |                              |                               |                              |
| Sr <sup>++</sup>              | 0,63               | -0,36                        | 0,89           | 0,12            | 0,92            | 0,81             | 1,00             |                  |                 |                              |                               |                              |
| Ca <sup>++</sup>              | 0,58               | -0,21                        | 0,94           | 0,04            | 0,93            | 0,91             | 0,96             | 1,00             |                 |                              |                               |                              |
| Cl <sup>-</sup>               | <b>0,97</b>        | -0,64                        | 0,15           | 0,91            | 0,39            | 0,22             | 0,51             | 0,42             | 1,00            |                              |                               |                              |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  | 0,51               | -0,42                        | 0,38           | 0,28            | 0,44            | 0,16             | 0,67             | 0,44             | 0,55            | 1,00                         |                               |                              |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 0,80               | -0,31                        | 0,05           | 0,80            | 0,19            | 0,23             | 0,20             | 0,29             | 0,75            | -0,04                        | 1,00                          |                              |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | -0,29              | 0,49                         | 0,34           | -0,47           | 0,09            | 0,28             | -0,03            | 0,11             | -0,42           | -0,28                        | 0,00                          | 1,00                         |

### Выводы

1. Разработана математическая модель окисления ферросилиция, позволяющая определить значение скорости процесса окисления.
2. Определены значения скорости окисления ферросилиция марки DMS Powder в минерализованных водах, которые позволяют выполнить оценку агрессивности вод по отношению к ферросилицию.
3. Установлено, что скорость окисления ферросилиция в наибольшей степени зависит от концентрации хлорид ионов, что позволяет определить рост концентрации хлоридных ионов как важную причину ухудшения технологических свойств ферросилициевой суспензии.

### Список литературы

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. Колмогоров А.Н. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Наука, 1986. – 534 с.

7. Эванс Ю.Р. «Коррозия и окисление металлов. Теоретические основы и их практическое приложение» // 1962. 856 с.

### ВЛИЯНИЕ РЕАГЕНТОВ НА СМАЧИВАЕМОСТЬ КОМПОНЕНТОВ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

**Кузнецова И.Н., Лавриненко А.А., Саркисова Л.М., Шрадер Э.А.**

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

Вкрапленные медно-никелевые малосульфидные платинометаллные руды являются важным источником металлов платиновой группы в России. Трудности получения качественных коллективных платинометаллических сульфидных концентратов из этих руд связаны с невысокой флотуруемостью минералов благородных металлов, обуславливающей потери с хвостами, и присутствием в этих рудах флотоактивных силикатов, в частности талька, разубоживающих концентраты и осложняющих процесс их пирометаллургической переработки. Одним из направлений решения этих задач является изыскание эффективных реагентов и реагентных режимов.

При флотации платинометаллной малосульфидной медно-никелевой руды Мончегорского плутона повышение извлечения ценных компонентов было достигнуто применением композиции (1:1) бутилового ксантогената и Aerophine 3416 компании Cytec, представляющего смесь диизобутилмонотиофосфината и диизобутилдитиофосфината[1], а снижение извлечения флотоактивных силикатов в концентрат применением депрессора компании AkzoNobel- Depramin 347 (карбоксиметилцеллюлоза)[2].

Оценка эффективности действия при флотации указанных выше собирателей, их композиции и депрессора проводилась по их способности изменять гидрофобность поверхности основных сульфидов медно-никелевой руды – пирротина, пентландита и халькопирита, а также талька путем измерения сил отрыва пузырька воздуха от шлифов минералов в щелочной среде (pH 9), создаваемой NaOH. При дей-

ствии депрессора его эффективность зависит от морфологии пленки полимера, ее толщины, степени покрытия поверхности, содержания в пленке связанной воды[3], что определяет гидрофобность поверхности.

С увеличением расхода собирателей гидрофобность поверхности сульфидов возрастает для пирротина и пентландита до концентрации собирателей 40 мг/л, что соответствует расходу при флотации 120 г/т, для халькопирита увеличение силы отрыва получено во всем интервале испытанных концентраций. До концентрации 30 мг/л (расход при флотации 90 г/т) по величине повышения гидрофобности поверхности собиратели располагаются в ряд: бутиловый ксантогенат < Aerophine 3416 < композиция бутилового ксантогената и Aerophine 3416 в соотношении 1:1. Эти данные согласуются с результатами флотации руды. [1]. Следует отметить, что большую гидрофобность поверхности имеет халькопирит, обладающий более легкой флотуемостью.

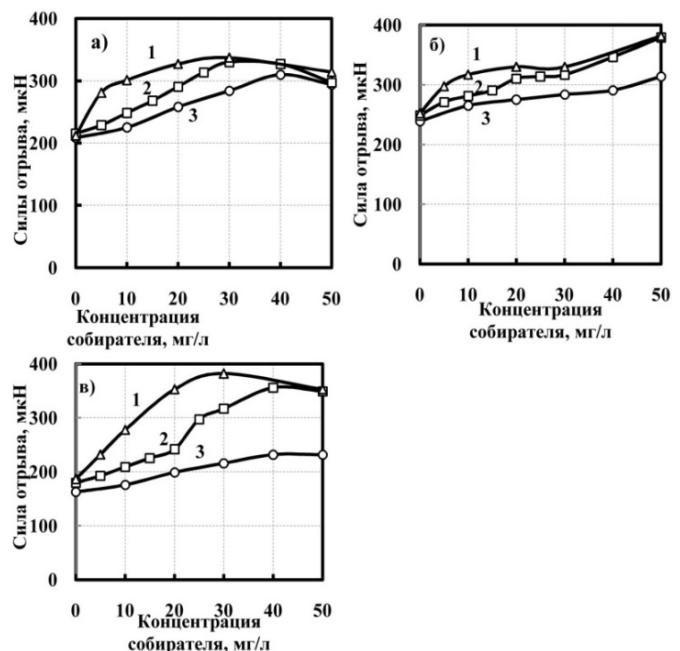


**Рис.1. Влияние концентрации собирателей на гидрофобность шлифов пентландита (а), халькопирита (б) и пирротина (в):**  
1 – композиция (1:1) бутилового ксантогената и Aerophine 3416,  
2 – Aerophine 3416, 3 – бутиловый ксантогенат

Исследовано влияние концентрации Dergamin 347 на смачиваемость поверхности талька, пирротина и пентландита в присутствии композиции указанных выше собирателей и без композиции собирателей (рис.2). Dergamin 347 практически не влияет на гидрофобность сульфидов в присутствии композиции собирателей при концентрации 30 мг/л, тогда как без композиции собирателей их гидрофобность снижается с увеличением расхода депрессора. В случае талька депрессор снижает его гидрофобность как в отсутствие, так и в присутствии композиции собирателей.

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности использования Dergamin 347 для повышения селективности разделения сульфидов и талька.

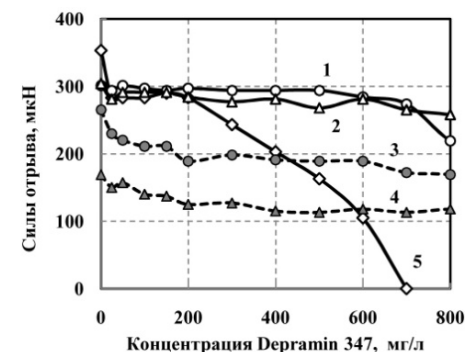


**Рис.2. Влияние концентрации Dergamin 347 на смачиваемость пирротина (1) и пентландита (2), талька (5) в присутствии композиции собирателей и пирротина (3), пентландита (4) в отсутствие композиции собирателей**

### Список литературы

1. Лавриненко А.А., Макаров Д.В., Шрадер Э.А., Саркисова Л.М., Кузнецова И.Н. Флотация малосульфидной платинометаллической медно-никелевой оталькованной руды // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: XXIII Международная научно-техническая конференция (Екатеринбург, 10-23 апреля 2018 г.). – Екатеринбург: Издательство «Форт Диалог-Исеть», 2018. – С. 25-29
2. Кузнецова И.Н., Лавриненко А.А., Шрадер Э.А., Саркисова Л.М. Снижение извлечения флотоактивных силикатов в коллективный концентрат при флотации малосульфидной платинометаллической руды // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 5. – С. 200-208. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-200-208.

3. A. Mierczynska-Vasilev, J.Ralston, D.A. Beattie. Adsorption of Modified Dextrins on Talc: Effect of Surface Coverage and Hydration Water on Hydrophobicity Reduction. Langmuir, 2008, 24, 6121-6127

## ПРОЦЕССЫ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ, ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫЕ РУДЫ ХИБИНСКОГО МАССИВА

**Артемов А.В.**

*Горный институт – обособленное подразделение  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр  
Российской академии наук» (ГоИ КНЦ РАН)*

Процессы обогащения минерального сырья неразрывно связаны с технологическими операциями, требующими значительного расхода воды. В процессе переработки образуется большое количество сточных вод, загрязненных механическими примесями, водорастворимыми солями минералов и флотационными реагентами.оборотное водоснабжение – наиболее прогрессивный способ снабжения водой промышленных предприятий, который обеспечивает максимальное сохранение водных ресурсов и окружающей среды. Использование оборотного водоснабжения в горно-перерабатывающей отрасли, в настоящее время, является обязательным условием работы обогатительных фабрик.

Однако наряду с неоспоримыми преимуществами, внедрение системы оборотного водоснабжения имеет ряд проблем, оказывающих отрицательное влияние на технологический процесс. При использовании оборотных вод для флотации апатит-нефелиновых руд Хибинского массива особую роль играет ионный состав воды. Этот состав определяется реагентами, применяемыми при флотации, растворимостью минералов в технологических процессах и химическими реакциями, происходящими в хвостохранилищах. Например, при внедрении оборотного водоснабжения на АНОФ-2 уже при 45 %-ном водообороте было отмечено накопление ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и их отрицательное влияние на флотацию. Практически это выражалось в снижении селективности действия реагентов-собирателей, снижении скорости флотации, увеличении пенообразования, изменении структуры пены и повышении ее устойчивости, что приводило к существенному снижению технологических показателей флотации и обезвоживания [1].

Установлено, что основными компонентами оборотной воды являются катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  и анионы  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ , а также шламы и органические компоненты [1].

Практика работы предприятий и многочисленные исследования [1-3] показывают, что из всех компонентов оборотных вод наибольшее влияние на изменение поверхностных свойств минералов, входящих в состав апатит-нефелиновых руд, оказывают взвешенные вещества и катионы  $\text{Ca}^{2+}$ . Крупность взвешенных веществ находится в диапазоне 0,1-300 мкм, т.е. от грубодисперсных до коллоидных частиц. Отрицательное воздействие шламов на процесс флотации заключается в сорбции на себя собирателя, изменении ионного состава пульпы и загрязнении апатитового концентрата за счет механического выноса шламов в пену [3]. Изучение влияния катионов  $\text{Ca}^{2+}$  на флотацию апатита показало, что они взаимодействуют с мылами жирных кислот с образованием труднорастворимых солей в виде коллоидно-дисперсных образований, снижают ККМ собирателей. При флотации они активируют поверхность минералов, вызывая нарушение селективности процесса, и приводят к ухудшению качества концентрата [2]. Выполненными ранее работами установлено, что предельное значение содержания катионов кальция во флотационной воде не должно превышать 20 мг/л [1]. По опыту работы обогатительных фабрик оптимальное количество взвешенных – до 900 мг/л.

В таблице 1 представлена характеристика оборотных вод предприятий, перерабатывающих апатит-нефелиновые руды Хибинского массива. Разница в значениях продиктована продолжительностью использования и величиной объема пруда отстойника.

**Таблица 1 – Характеристика оборотных вод предприятий, перерабатывающих апатит-нефелиновые руды Хибинского массива**

| Предприятие       | pH  | Взвеш. | $\text{Ca}^{2+}$ | $\text{SO}_4^{2-}$ | $\text{CO}_3^{2-}$ | $\text{HCO}_3^-$ |
|-------------------|-----|--------|------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| АНОФ-2            | 8,9 | 700    | 15,8             | 420                | 7,4                | 160              |
| АНОФ-3            | 8,2 | 250    | 11,4             | 105                | 0,7                | 140              |
| ОФ «Олений ручей» | 8,9 | 1145   | 16,7             | 125,3              | 8,0                | 240              |

Традиционно в практике работы горно-обогатительных предприятий для очистки технологических вод с целью их дальнейшего применения используют отстойники хвостохранилища, где осветление воды происходит под действием гравитационных сил. Однако, для достижения равновесия процессов, протекающих в хвостохранилище, требуется значительное время и объемы пруда отстойника. Хвостохранилища занимают огромные площади, перекачиваемые объемы пульпы требуют больших энергетических затрат.

Анализ опыта работы обогатительных фабрик, перерабатывающих апатит-нефелиновые руды показывает, что в настоящее время технологические возможности компенсации отрицательного воздействия оборотной воды на процесс обогащения без применения специальных методов водоподготовки представляются практически исчерпанными. Наиболее перспективным решением проблемы является разработка технологии водоподготовки с вовлечением в процесс предварительно очищенных технологических вод без транспортировки их в хвостохранилище. Однако, целесообразно производить водоподготовку не всех технологических стоков фабрики, а только стоков превышающих допустимые концентрации по катионам кальция и взвешенным частицам.

Технологические воды, образующиеся при обогащении апатит-нефелиновых руд, можно разделить по составу на две основные группы. Первая группа представляет собой жидкую фазу хвостов, которая характеризуется небольшой жесткостью, повышенным содержанием шламов (до 10 г/л) и относительно невысокой концентрацией солей. Вторая группа – сливы сгустителей и фильтраты вакуум фильтров, отличающиеся вследствие использования неорганического коагулянта высокой жесткостью, повышенной концентрацией поливалентных ионов и высоким содержанием взвешенных веществ.

Слив сгустителя апатитового концентрата является самым «загрязненным» технологическим продуктом, перекачиваемым в хвостохранилище. Изучение в течении года характеристик слива сгустителя апатитового концентрата обогатительной фабрики, перерабатывающей апатит-нефелиновую руду месторождения Олений ручей, показало, что средние значения содержания в нем «вредных примесей» (таблица 2) превышают предельно допустимые значения в несколько раз.

**Таблица 2 – Характеристика слива сгустителя апатитового концентрата**

| Содержание $\text{Ca}^{2+}$ , мг/л | Содержание взвешенных веществ, г/л |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 52,2                               | 27,363                             |

Выполненными ранее работами [4] исследовался вопрос возможности использования слива сгустителя апатитового концентрата в формировании оборотной воды за счет его очистки с помощью органических флокулянтов. Была показана возможность достижения оптимальных показателей по содержанию взвешенных частиц и катионов кальция в сливе сгустителя апатитового концентрата и перспективность использования подготовленной таким образом воды для флотации апатита без длительного отстаивания в хвостохранилище.

## Список литературы

1. Голованов В.Г., Петровский А.А., Брыляков Ю.Е., Внедрение оборотного водоснабжения на АНОФ-2 // Горный журнал. – 1999. – № 9. – С. 48-50.
2. Брыляков Ю.Е. Развитие теории и практики комплексного обогащения апатит-нефелиновых руд Хибинских месторождений : Дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.13: Кировск, 2004 358 с.
3. Классен В.И., Розанова О.А. Влияние тонких шламов и жидкого стекла на флотацию апатита // Химическая промышленность. – 1953. – № 8. – С. 23-28.
4. Артемьев А.В. Оценка эффективности применения флокулянтов при подготовке технологических вод для обогатительной фабрики // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 7. С. 203-210.

## ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВЕННО-КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

**Конгар-Сюрюн Ч.Б.**

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»*

### Введение

Минеральные (природные) ресурсы – основа современной индустрии и научно-технического прогресса. Человечество постоянно испытывает потребность в минеральных ресурсах. Объемы потребления полезных ископаемых с каждым годом возрастают и исчисляются миллиардами тонн. Это приводит к быстрому развитию горнодобывающей промышленности [1],[2].

Чтобы рационально использовать минеральные ресурсы планеты, необходимо постоянно работать над совершенствованием способов добычи и переработки всех полезных ископаемых. Наибольший интерес в изучении вызывает содержание полезного компонента в руде. Задача исследования – добиться минимальных колебаний качества руды, поступающей на обогатительную фабрику. Также в данной работе рассмотрен алгоритма формирования баз данных и параметра, который необходимо спрогнозировать для своевременного управления процессом переработки сырья и прогнозирования работы производства [3].

Особенность горнодобывающей промышленности заключается в том, что сырье можно добывать на одном и том же месторождении, но с

разных блоков и участков. Такое сырье характеризуется нестабильностью физико-механических свойств и минералогического состава. Если руда поступает из нескольких месторождений с различным обогащением, то нестабильность возрастает. Истощение запасов месторождения приводит к необходимости расширения сырьевой базы этого месторождения. Это означает, что существует необходимость вовлекать в переработку твердых руд и руд вредными веществами[2].

Итак, можно выделить некоторые особенности сырьевой базы горнодобывающей промышленности:

- нестабильность физико-механических свойств;
- нестабильность гранулометрического состава;
- различный минералогический состав;
- различная обогатимость;
- отработка труднообогатимых руд;
- отработка руд с вредными примесями.

### Технологический процесс обогащения

Колебания физико-механических свойств и минералогического состава, как правило, требуют оперативного изменения или перестройки технологического процесса обогащения продукции. В противном случае это приводит к потерям сырья и увеличению доли некачественной продукции.

Контроль технологического процесса обогащения является одной из важнейших операций на обогатительной фабрике. Эта операция способствует достижению максимально возможной производительности и заданных показателей качества обогащения. Информация о качестве сырья и продуктов обогащения должна быть четкой, объективной и оперативной для эффективной системы контроля [3].

Есть факторы, которые влияют на переработку руды:

- материальный состав руд;
- распределение ценного компонента в руде;
- контрастность полезного ископаемого;
- содержание полезного компонента в руде;
- гранулометрический состав.

В настоящее время перерабатывающие заводы перерабатывают сырье, которое имеет сложный материальный состав и технологические свойства.

Разница в химическом и минеральном составе обогащения приводит к следующим недостаткам:

- оказывает негативное влияние на технологические показатели обогащения;

- затрудняет контроль технологического процесса;
- приводит к снижению технико-экономических показателей работы фабрики;
- приводит к увеличению расхода реагента;
- приводит к увеличению энергопотребления;
- ухудшает качество конечного продукта.

Исходя из вышеизложенного, можно отметить, что постоянный мониторинг содержания полезного компонента в руде позволяет достичь наилучших технологических и экономических показателей. Целью данной работы является формирование алгоритма построения математической модели для прогнозирования работы производства с учетом неточностей баз данных.

### Общепринятые критерии технологического процесса

Выбор ложных точек осуществляется путем расчета общепринятых критериев технологического процесса. В частности, существуют такие показатели, которые не могут быть больше или меньше определенных значений. Одним из таких показателей является извлечение полезного компонента, значение которого по определению не может превышать 100%. Показатель извлечения рассчитывается следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{\beta\gamma}{\alpha}$$

где  $\gamma$  – выход,  $\beta$  – содержание полезного компонента в концентрате,  $\alpha$  – содержание полезного компонента в рудной шихте. Также, к примеру, значение выхода, рассчитанного по теоретическим качественным показателям, не может превышать выхода, рассчитанного по весовым характеристикам.

$$\gamma_{\text{теор}} = \frac{\alpha - \theta}{\beta - \theta}$$

где  $\theta$  – содержание полезного компонента в хвостах обогащения,

$$\gamma_{\text{теор}} = \frac{Q_{\text{руд}}}{Q_{\text{кон}}}$$

где  $Q_{\text{руд}}$  – вес переработанной шихты,  $Q_{\text{кон}}$  – вес полученного концентрата из шихты.

Подготовив базу данных, можно приступить к построению математической модели, которая из себя представляет некую функцию  $F$  – па-

раметр, который необходимо спрогнозировать для технологического процесса, для своевременного управления процессом переработки сырья и ряда переменных, которые представляют собой некие параметры шихты, поступающей в переработку.

Искомая функция имеет общий вид:

$$F = f(x_1, x_2 \dots x_n)$$

После построения математической модели можно проверить ее адекватность путем вычисления коэффициента корреляции между фактическим  $F_{\text{факт}}$  и расчетным  $F_{\text{расчет}}$ . Коэффициент корреляции при условии качественной подготовки базы данных и наличия физических взаимосвязей между выбранными переменными и расчетного показателя должен составлять не менее 70%.

#### Список литературы

1. Хайрутдинов М.М.: Применение отходов горного производства в качестве закладочного материала для снижения вредного воздействия на окружающую среду, Горный журнал. 2009. № 2. С 64-66;
2. Каплунов Д. Р., Мельник В.В., Рыльникова М.В.: Комплексное освоение недр /учебное пособие/; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». – Тула : Изд-во ТулГУ, 2016. – 332 с
3. Чантурия В.А. Современные проблемы обогащения минерального сырья в России // Обогащение руд. 2000. – №6. – С.3-8.

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР

### ВОПРОСЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Латыпов Д.В.

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

В промышленности строительных материалов (ПСМ) функционирует порядка 4 тыс. горных предприятий различной мощности и разных форм собственности (96,7 % – негосударственные), добывающих сырье для производства строительных материалов.

С неэффективным менеджментом связаны большинство текущих трудностей предприятий ПСМ: реализация готовой продукции нестабильна; недостаточно налажены системы: комплексного освоения минеральных ресурсов месторождений, управления качеством продукции, организации выпуска продукции с новыми свойствами; большинство сотрудников аппарата управления в недостаточной степени владеют основами современного менеджмента, а система экономического образования медленно осуществляет их переподготовку.

Уровень и качество управления предприятием могут быть измерены способностью руководства принимать наиболее рациональные решения, организовать их выполнение в необходимые сроки, а результативность работы управленческого персонала должна определяться путем сопоставления затрат с выручкой от реализации продукции, то есть прибылью, экономическим эффектом использования производственных фондов предприятия. [10]

Менеджмент в каждой из его функций и процедур предусматривает использование разнообразных специфических способов, приемов и методов, которые обеспечивают выполнение непосредственно функций управления, обоснование и принятие управленческих решений. [10]

На добывающих и перерабатывающих предприятиях ПСМ необходим систематический контроль переменных и постоянных затрат, оценка экономического эффекта от изготовленной и реализованной продук-

ции каждой номенклатуры для обоснованной подготовки решений по производственной и коммерческой деятельности предприятия. [10]

Вопросы технологии анализа хозяйственной деятельности, получения для ее проведения необходимой учетной информации должны занимать одно из важных мест в системе управления предприятием. [8, 9]

В создавшихся условиях рынка реализация продукции горных предприятий ПСМ должна быть стабильной. Для этого необходимо радикально изменить подсистему управления реализацией готовой продукции, чтобы она обеспечивала равномерность производства даже при неритмичном спросе. [6]

Система экономического управления предприятием должна обеспечивать своевременность и обоснованность принимаемых руководством решений по управлению его производственной, сбытовой, финансовой деятельностью на современном этапе и должна базироваться на экономико-математических методах и моделях, отражающих основные параметры ее функционирования и возможности оптимизации управленческих решений. [8, 10]

На горных предприятиях ПСМ решение таких актуальных вопросов как оптимизация инвестиционного портфеля, оценка и управление финансовыми рисками, также должны быть связаны с применением в практике руководителей количественных методов менеджмента. При этом в структурах управления использование статистических и количественных методов бизнес прогноза является неотъемлемой частью маркетинговых исследований и определяет выработку стратегии предприятия. [10]

Руководители горных предприятий ПСМ в условиях рыночной среды должны полагаться на маркетинг как на основное комплексное средство наблюдения за рынком и происходящими на нем изменениям. Маркетинговая концепция управления предполагает не только установление плановых объемов производства на основе потребностей рынка на конкретную продукцию в течение года, но и изменение принципов, методов и структуры управления. [7]

В современных динамичных условиях рыночной экономики нужны крупные и стабильные объекты хозяйствования, что определяет необходимость совершенствования производственных и управленческих структур горных предприятий ПСМ: использование организационно-управленческих структур более высокого порядка, объединяющих отдельные предприятия в компании и способствующих их устойчивому экономическому росту. В настоящее время отмечается только создание холдинговых компаний по добыче и обработке природного камня. [10]

Таким образом, на современном этапе основные направления повышения эффективности управления производством на горных предприятиях ПСМ следующие:

1. Формирование адаптированной под потребности и специфику предприятия системы управления: совершенствование существующей системы и методов управления, системы экономического анализа и построение системы экономического управления предприятием.

2. Переход от производственно-ориентированной концепции к маркетинговой концепции управления производством, которая позволит руководству предприятия на основе потребностей рынка принимать решения экономически более обоснованные: по номенклатуре и объемам производства, по формированию конкурентной и ценовой политики для обеспечения спроса и повышения эффективности сбыта продукции.

3. Формирование по объему производства продукции организационных структур более высокого порядка: объединять отдельные малые предприятия в компании.

#### Список литературы

1. Виханский О.С., Наумов А.И. Менеджмент. 4 изд., доп. и перераб. – М.: Экономист, 2006.
2. Дафт Р. Менеджмент. 6-е изд. / пер. с англ. – СПб.: Питер, 2004.
3. Управление организацией: Учебник / Под ред. А.Г. Поршнева, З.П. Румянцевой, Н.А. Саломатина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2008.
4. Стивенсон Вильям Дж. Управление производством. Пер. с англ. Под ред. проф. Ю.В. Шленова. – М.: БИНОМ, 1999.
5. Томпсон А., Формби Дж. Экономика фирмы. Пер. с англ. Под ред. проф. Ю.В. Шленова. – М.: БИНОМ, 1998.
6. Эйрих В.И., Никулин А.М. Производственный менеджмент в горной промышленности. Учебное пособие. – М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2009.
7. Латыпов Д.В. Проблемы и задачи совершенствования управления на камнеобрабатывающих предприятиях на современном этапе. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2009. – №11. – С. 65-69.
8. Латыпов Д.В. Требования к инструментарию и технологии экономического управления предприятием в условиях рынка. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2009. – №12. – С. 52-55.
9. Латыпова М.М. Современные тенденции в развитии структуры управления на горных предприятиях. // Научный вестник Московского государственного горного университета, 2014. – №3. – С. 101-108.

10. Латыпова М.М. Задачи совершенствования системы менеджмента на горных предприятиях промышленности строительных материалов. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2018. – № 10. – С. 207-212.

11. MSG. MANAGEMENT STUDY GUIDE. Principles of Managerial Economics. – Электронный ресурс: <http://www.managementstudyguide.com/principles-managerial-economics.htm> – Проверено: 05.02.2018.

12. Free, open online courses for people everywhere. Principles of Management. – Электронный ресурс: <https://www.saylor.org/site/textbooks/Principles%20of%20Management.pdf> – Проверено: 05.02.2018.

13. Allied Academies. Academy of Strategic Management Journal Volume 15, Special Issue 1, 2016. – Электронный ресурс: <http://www.alliedacademies.org/articles/asmj-special-issue-1.pdf> – Проверено: 05.02.2018.

## **РОЛЬ ГОСУДАРСТВА, БИЗНЕСА И ОБЩЕСТВА ПРИ ВНЕДРЕНИИ ТЕХНОЛОГИЙ СЕКВЕСТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА**

**Евсеева О.О., Ильинова А.А.**

*Санкт-Петербургский горный университет*

Технологии секвестрации углекислого газа сегодня являются одним из ключевых направлений в сокращении эмиссий CO<sub>2</sub>, и активный интерес к их развитию предъядвляется со стороны ряда развитых и развивающихся стран. Позитивные изменения в энергоэффективности и экологии в результате реализации CCS (carbon capture and storage) проектов доказаны более чем 20-летним практическим опытом. Сегодня CCS-проекты реализуются в угольной промышленности, производстве стали, переработке газа, в нефтегазодобыче; потенциально перспективным направлением является использование данной технологии в цементной промышленности. Помимо промышленных CCS-проектов реализуются проекты в области НИОКР, направленные на технологическое развитие и поиск новых направлений для внедрения CCS-технологий.

Основной целью использования CCS-технологий является ее способность снижать выбросы парниковых газов в различных секторах, включая производство электроэнергии, промышленность и теплоэнергетику. Инвестирование в CCS является стратегическим вложением, широко признанным в мировой практике в качестве меры, необходимой для эффективного достижения целей по сокращению эмиссий парниковых газов. Анализ стратегий снижения воздействия на климат показал, что стоимость достижения целевых показателей сокращения выбросов в сценариях, где применение CCS невозможно, в среднем более чем в 2 раза выше последнего[1]. Кроме того, в подавляющем большинстве

исследований делается вывод о том, что достижение целевых показателей по смягчения воздействия невозможно без широкого распространения CCS, поскольку альтернатив по сокращению эмиссий CO<sub>2</sub> в нефтегазовой, цементной и металлургической промышленности нет.

Нынешние темпы внедрения технологии CCS не соответствуют тем, которые необходимы для достижения целей в области эмиссии парниковых газов, приводящих к изменению климата. Кроме того, что данные проекты являются сложными с технологической точки зрения, существует ряд проблем организационно-управленческого и экономического характера. В большинстве случаев проекты секвестрации углекислого газа не являются коммерчески эффективными, осуществляются полностью за счет средств государства либо со значительной поддержкой с его стороны, а также требуют согласования интересов достаточно широкого круга стейкхолдеров (заинтересованных сторон, таких как государство, бизнес, общество, природоохранные организации и т.д.) [2]. Также, как было доказано ранее, такие проекты отличаются низкой степенью осведомленности общественности о технологиях секвестрации, что актуализирует проблему их реализации с точки зрения возможного противодействия общества таким проектам. С учетом того, что такие проекты направлены на секвестрацию углекислого газа из промышленных источников (техногенного CO<sub>2</sub>), а также потенциальных возможностей применения углекислого газа в различных производствах (в том числе для увеличения нефтеотдачи), роль бизнеса в таких инициативах также велика.

Согласно мировому опыту реализации проектов секвестрации углекислого газа, роль государства, бизнеса и общества в CCS проектах различна, но каждая из этих ключевых групп стейкхолдеров является критической (особо важной) для таких проектов. В связи с вышесказанным вопросы ролей и силы влияния ключевых заинтересованных сторон на проекты секвестрации углекислого газа имеют особое значение. Успех и реализуемость проектов секвестрации во многом зависят от стратегий их взаимодействия, интересов ключевых стейкхолдеров и возможностей их согласования, ожиданий и потенциального вклада в разработку и реализацию таких проектов, что, в конечном счете, определяет силу влияния и важности каждой группы стейкхолдеров на проекты CCS.

В связи с тем, что проекты CCS могут быть направлены на захват и захоронение углекислого газа, а также на захват, захоронение и использование углекислого газа, необходимо отметить, что роли государства, бизнеса и общества для обоих случаев могут быть различными, так как интересы первых двух групп стейкхолдеров будут различаться. Что касается общества, здесь можно предположить, что интересы будут одинаковыми. Кроме того, роль основных трех групп стейкхолдеров будет различна в зависимости от стадии проекта (Таблица 1).

Таблица 1 – Общая схема этапов развития CCS проектов (адаптировано на основе [3])

| Стадии / Продолжительность                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                    |                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2                                                                                                                                                                                                                                       | 3                                                                                                                                                                                                   | 4                                                                                                  | 5                                                                                                                                                                                | 6                                                                                                                                                           |
| Выбор места захоронения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Планирование проекта                                                                                                                                                                                                                    | Строительство                                                                                                                                                                                       | Эксплуатация                                                                                       | Закрытие проекта и постэксплуатационный мониторинг                                                                                                                               | Постэксплуатационное ответственное руководство                                                                                                              |
| Сбор и анализ исходных данных, предварительное исследование технической осуществимости проекта и ключевых экономических параметров, подробное исследование характеристик потенциального места захоронения (с разрезением на выполнение изыскательских работ и проведение специальных геологических тестов для оценки емкости хранения и герметичности), пробная закачка | Разработка специализированного плана развития проекта, оценка рисков проекта, разработка плана действий в непредвиденных обстоятельствах, анализ и оценка ключевых стейкхолдеров проекта, обоснование финансовой осуществимости проекта | Строительство и обустройство объекта, развитие (адаптация имеющейся) инфраструктуры, проблемные пусконаладочные работы, дополнительные геологические исследования, тестирование целостности скважин | Закачка CO <sub>2</sub> , постоянный текущий мониторинг и валидация, актуализация подземной модели | Прекращение закачки CO <sub>2</sub> , закрытие эксплуатационной деятельности на объекте, консервация скважин, постэксплуатационный мониторинг, подача заявки на закрытие проекта | Мониторинг объекта до момента, когда он не представляет угрозу, сертификация закрытия, передача ответственности по объекту, долгосрочный мониторинг объекта |

Роль государства в таких проектах является основной на всех этапах их развития, особенно на этапе 1, 2 (стадия инициации), а также на этапах 5 и 6 (стадия закрытия). Роль бизнеса особенно важна на этапах 2,3,4 (стадия реализации, непосредственно эксплуатационная стадия). Роль общества – на этапе 1 (стадия инициации), этапе 4 (стадия реализации), этапе 6 (стадия после закрытия).

Для более точного понимания ролей государства, бизнеса и общества при реализации проектов CCS рассмотрим каждую группу стейкхолдеров по отдельности.

В таких странах, как США, Япония, Канада, Великобритания, Норвегия, Нидерланды, Австралия, ОАЭ, Китай и ряде других, которые активно развивают проекты CCS, государство играет определяющую роль для активизации деятельности в данном направлении. Существует целый набор механизмов, направленных на развитие и внедрение технологий CCS, а также различного рода поддержка их развития на всех этапах. Перечисленные страны потратили огромные средства на проведение данной политики, системно совершенствуя законодательство в данной области.

Что касается роли бизнеса, то она во многом зависит от тех государственных мер и инициатив, которые есть в той или иной стране, от уровня развития технологий в стране, а также степени понимания необходимости ведения социально и экологически ответственного бизнеса. В настоящее время CCS-проекты ориентированы в большинстве случаев на достижение только внешних эффектов – снижение эмиссии CO<sub>2</sub>, повышение имиджа стран на мировой арене, повышение имиджа бизнеса, а также на создание косвенных социально-экономических эффектов, таких как создание рабочих мест, поступление налогов и т.д. [4].

Наиболее активными бизнес-структурами в мировом масштабе, занимающимися технологиями CCS, являются нефтегазовые и энергетические компании, а именно британско-нидерландская нефтегазовая компания Shell, интегрированные энергетические компании-гиганты США Chevron, Exxon и NRG Energy, крупнейшая нефтегазовая компания Норвегии Statoil и ряд других.

Эффективное развитие технологий CCS по всему миру в большей степени зависит также от общественного восприятия и поддержки таких проектов со стороны общества. Мировой опыт свидетельствует о том, что общественное противодействие имеет достаточно сильное негативное влияние на реализацию проектов CCS. Примерами такого явления выступают такие проекты как проект SchwartzePumpe в Германии на угольной электростанции, проект по секвестрации CO<sub>2</sub> на заводе по производству этанола в Гринвилле, США, голландский проект Barendrecht и ряд других. Сопротивления со стороны населения были

связаны с мнением о том, что может произойти утечка CO<sub>2</sub>, что нанесет вред здоровью населения, а также опасения местных должностных лиц, представителей государственной власти и местного населения о том, что закачка CO<sub>2</sub> в геологические формации спровоцирует сейсмическую активность. То есть, основные опасения общества связаны с влиянием технологии на здоровье и безопасность местного населения, влиянием на окружающую среду, а также последствиями, не связанными непосредственно с технологиями CCS (например, повышение сейсмической активности) [5,6].

На основе проведенного анализа зарубежного опыта в таблице 2 представлена обобщенная роль государства, бизнеса и общества в реализации проектов секвестрации углекислого газа.

**Таблица 2 – Роль государства, бизнеса и общества при реализации проектов секвестрации углекислого газа**

| Государство                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Бизнес                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Общество                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Прямое финансирование проектов или значительная финансовая поддержка проектов (на всех стадиях от этапа R&amp;D до выхода действующего проекта на промышленные масштабы)</li> <li>• Создание благоприятных институциональных условий для реализации проектов</li> <li>• Формирование интереса бизнеса к CCS технологиям</li> <li>• Формирование общественного восприятия технологий CCS, ее популяризация</li> <li>• Создание стимулов и механизмов для вовлечения бизнеса и общества в проекты</li> <li>• Регулирование вопросов безопасности технологий, мониторинга хранилищ, выдачи разрешений</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Предоставление финансовых и иных ресурсов для реализации проектов</li> <li>• Проведение R&amp;D</li> <li>• Непосредственно реализация проектов</li> <li>• Поиск новых бизнес-направлений по вопросам использования CO<sub>2</sub></li> <li>• Содействие популяризации CCS технологий в обществе и промышленности</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Выдача «социальной лицензии на деятельность»</li> <li>• Кадровое обеспечение проектов</li> <li>• Открытость для формирования положительного мнения о технологии CCS</li> </ul> |

Интересы государства во многом направлены на достижение глобальных целей в рамках стратегического развития регионов и сохранения экологической устойчивости в долгосрочной перспективе.

Заинтересованность бизнеса во многом построена на приобретении коммерческой выгоды, что определяет необходимость уточнения реальных эффектов от внедрения таких технологий. Рост экологической ответственности бизнеса может существенно расширить само видение и понимание устойчивого развития, что будет способствовать более активному его участию в таких проектах.

Интересы общества в основном определяются возможностью получения открытой информации о проекте и технологии, что должно обеспечиваться как со стороны государства, так и со стороны компаний, а также желанием устойчивого социально-экономического развития регионов.

#### Список литературы

1. The value of CCS. [Электронный ресурс] URL: <https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/the-value-of-ccs/> (дата обращения 07.05.2019)
2. Чвилева Т.А., Ильинова А.А. Особенности взаимодействия с заинтересованными лицами при реализации проектов секвестрации углекислого газа // URL: <http://www.e-rej.ru/Articles/2018/Chvileva.pdf> (дата обращения 15.05.2019)
3. CCS and community engagement / WRI, 2010. URL: [http://www.wri.org/sites/default/files/pdf/ccs\\_and\\_community\\_engagement.pdf](http://www.wri.org/sites/default/files/pdf/ccs_and_community_engagement.pdf) (дата обращения 07.05.2019).
4. Череповицын А.Е., Васильев Ю.Н., Цветкова А.Ю. Оценка перспектив внедрения технологий секвестрации CO<sub>2</sub> // Риск: ресурсы, информация, снабжение, конкуренция, 2018, 2, стр. 86-89
5. Alina Ilinova, Alexey Cherepovitsyn, Olga Evseeva Stakeholder Management: An Approach in CCS Projects // Resources 2018, 7, 83; doi:10.3390/resources7040083
6. Евсеева О.О., Ильинова А.А., Череповицын А.Е. Согласование интересов ключевых стейкхолдеров при реализации проектов секвестрации CO<sub>2</sub> // Север и рынок: формирование экономического порядка, 2018, 4(60), стр. 133-141.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-18-00210 «Разработка методологии оценки общественной эффективности проектов секвестрации углекислого газа»).*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОЕКТНЫХ ФОРМ ОБУЧЕНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ ПОДГОТОВКЕ И ПОВЫШЕНИИ КВАЛИФИКАЦИИ ГОРНЫХ ИНЖЕНЕРОВ**

**Прокофьева Е.Н.<sup>1</sup>, Востриков А.В.<sup>1</sup>, Гончаренко С.Н.<sup>2</sup>,  
Коник П.В.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup> Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»*

*Московский институт электроники и математики  
им. А.Н. Тихонова*

*<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»*

Совершенствование образовательных методов и инструментов обучения и повышения квалификации горных инженеров в настоящий период базируется на активной реализации Стандарта глобального инженерного образования, формирующего комплексные условия, где обучающиеся инженеры должны уметь «Задумывать-Проектировать-Реализовывать» и «Управлять» системами в условиях командного взаимодействия для получения максимального синергетического эффекта. На базе ряда национальных университетов программы 5-100 сейчас создаётся открытое пространство инженерного образования, предполагающее формирование инновационной среды и инфраструктуры на основе современной техники (в том числе суперкомпьютеров), инженерной и цифровой составляющей в рамках образовательных и научно-исследовательских процессов подготовки востребованных специалистов. Реализация цифрового подхода и проектных принципов в профильном инженерном образовании направлена на формирование ключевых навыков исследовательской работы, проведение виртуальных экспериментов во взаимодействии и сотрудничестве с коллегами и экспертами [1-7]. Соответственно, разработка новых геоинформационных методов пространственного анализа данных в цифровом проектом инженерном обучении является важной задачей с учётом современных вызовов информационного общества и экономики. Если рассматривать развитие технологий цифрового обучения образования на базе международных курсов для дистанционного изучения проект в сфере массового онлайн-образования – платформы Coursera, Moodle и др.: здесь специализированные дисциплины для подготовки специалистов горно-инженерного профиля составляют порядка 20 %. При этом,

к сожалению, только не более 2-3 % от этих курсов представлено российскими университетами (приоритетным пока для нашей страны остаётся разработка русскоязычных онлайн-курсов, ориентированных на Национальную платформу открытого образования или внутриуниверситетские ресурсы). Но, в свою очередь, активно стараются продвигать новые дисциплины в заданном направлении не только такие лидеры отраслевых международных рейтингов, как Технический Университет «Фрайбергская горная академия», Горная школа Колорадо, Венский технический университет, Королевский технический университет г. Стокгольм, Университет г. Лейпциг, Грацский университет им. Карла и Франца, но и такие университеты, как Китайский горный Университет Пекина, Китайский университет наук и технологий, Корейский институт геологических наук и минеральных ресурсов (KIGAM), Израильский университет Тель-Авива, Университет Барселоны, Политехнический университет Мадрида, Технический Университет «Краковская горно-металлургическая академия», Школа горного дела и технологии Южной Дакоты, Высшая геологическая школа (г. Нанси) и др. Проектноориентированное и другие виды дуальной организации образовательного процесса также наиболее популярны в горнотехническом образовании, где важно изучение процессов на практике и работа с эмпирическими данными. В направлении «Mining» особенно популярен формат Mini-MBA как годовая программа профессионального повышения квалификации в области управления информационными и техническими процессами, оптимизирующая базовую теоретическую подготовку с усиленной направленностью на практические решения на основе международного экспертного опыта. Накопление и оценка полученных знаний и навыков организована на основе деловых игр и интерактивных тестов. Лидерами в этой области выступают университеты Великобритании, США, Нидерландов, Бельгии и Скандинавская школа [8,9].

В настоящий момент для обеспечения эффективных компетенций горных инженеров, основываясь на исследовании зарубежного опыта и российской специфики, можно сделать вывод, что целесообразен запуск и развитие дистанционных курсов и программ-тренажеров по следующим актуальным направлениям: Дизайн-мышление, управление пользовательским опытом в геоинформационных системах, Гибкие методы управления проектами, Развитие киберфизических систем: сенсоры, контроллеры, актуаторы, Методы интеллектуального анализа данных в системах геопространственного управления, Организационно-экономическое проектирование инновационных процессов и современные

методы принятия решений на горных предприятиях, Современные методы управления надёжностью и безопасностью горных разработок, Суперкомпьютерные технологии, технологическое управление и работа с данными на базе спутниковых навигационных систем, Machine Learning и нейросетевое управление в геоинформационных процессах предприятия, Нечеткие системы управления, Big Data и экспертно-аналитические системы по профильным направлениям подготовки горных инженеров, Параллельное и распределенное программирование и принципы перемещения в пространстве при цифровом проектировании горных разработок, Использование роботов, дронов и роботизированных технологий, Проектирование 3-D объектов в рамках горно-геологических разработок и др. Целью создания новых форматов горнотехнического образования выступает не просто разработка онлайн курсов на основе зарубежных практик, а комплексной информационно-аналитической платформы, интеллектуальных баз знаний и программ-тренажеров с возможностью для обучающихся дистанционно непосредственно участвовать в анализе и решении реальных инженерных задач. Таким образом, в соответствии с современными вызовами информационного общества возрастает спрос на оперативные, интеллектуальные, чётко ориентированные технические решения важнейших проблем реального сектора, которые, в свою очередь должны интегрировать комплексный опыт и экспертные системные знания в области анализа геопространственных данных, а процесс подготовки таких специалистов представляет большую сложность для организации не только для отечественной, но и зарубежной образовательных практик. Этот вопрос может быть решён за счёт создания интегрированных функциональных баз знаний на основе организации смешанных форм обучения и дуальных практик, то есть основываясь на комплексном прикладном подходе к развитию цифровых технологий при внедрении проектного инженерного обучения для совершенствования геоинформационных методов анализа данных с учётом эффективного применения существующей технической базы, запросов рынка и интересов обучающихся.

#### Список литературы

1. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (утв. Правительством РФ 3 января 2014 г.); URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70484380/#ixzz4aP1zXHny> (дата обращения: 27.03.2019).
2. Стратегия развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014 – 2020 годы и на перспективу до 2025 года; URL:

<http://government.ru/docs/8024/> (Распоряжение Правительства РФ от 01.11.2013 N 2036-р (ред. от 18.10.2018) дата обращения: 27.03.2019).

3. Ералин Ж.М., Гончаренко С.Н. Разработка моделей решения ключевых проблем стратегического развития уранодобывающего предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 4. – С. 199–208. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04- 0-199-208.

4. Прокофьева Е. Н., Востриков А. В. Оценка качества управления информационными потоками в организациях // Вестник РМАТ. 2017. № 2. С. 45-48.

5. Prokofeva E. N., Vostrikov A. V., Fernandez E., Borisov N. Navigation satellite systems as the audit foundation for mining companies // Eurasian Mining. 2017. No. 1. P. 30-32.

6. Prokofeva E. N., Vostrikov A. V., Shapovalenko G. N., Alvarez A. The development of effective geomonitoring for mining area with industrial review // Eurasian Mining. 2017. No. 2. P. 61-63.

7. Портал «Всё о горном деле. Добывающая промышленность» URL: <http://industry-portal24.ru> (дата обращения: 5.04.2019).

8. Экспертный доклад «12 решений для нового образования» URL: <https://www.hse.ru/news/expertise/217884372.html> (дата обращения: 27.03.2019).

9. Развитие проектного образования в инженерных подразделениях URL: [https://miem.hse.ru/project\\_office/project\\_list](https://miem.hse.ru/project_office/project_list) (дата обращения: 17.11.2018).

### МОДЕЛИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

**Прокофьева Е.Н., Востриков А.В., Стебенев А.Ю.,  
Волчков Д.М.**

*Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»  
Московский институт электроники и математики  
им. А.Н. Тихонова*

Ключевым вектором развития инноваций в горном деле является создание и внедрение технологических решений по безлюдной выемке и транспортной логистике минеральной продукции при использовании программно-аппаратных инструментов, образующих комплексную систему менеджмента производства. Большое значение здесь представляют

программы «Интеллектуального горного производства», где управление осуществляется дистанционно или полностью автоматически. Эффективность использования спутниковых навигационных систем (СНС) в горной промышленности выражается во многом: в обновлении и пополнении топографической базы для территориальных объектов горных предприятий; 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.

В России космические методы стали активно использоваться в геологоразведочных работах, в частности при поиске газовых и нефтяных месторождений во второй половине 1980-х годов, тогда появились качественные снимки с отечественных спутниковой серии «Космос» [1-3]. К сожалению, отсутствие активной конкуренции на предприятиях в плановой экономической системе не способствовало развитию качественно новых спутниковых технологий. Их производство и использование было высокочрезвычайно затратным. В период 1990-х годов, несмотря на относительно высокую доходность предприятий горнодобывающей промышленности по сравнению с прочими отраслями, не могло быть обеспечено должное эффективное техническое развитие и сокращение издержек в производстве космических аппаратов и применении спутниковых навигационных систем. Учитывая высокую стоимость проектирования и запуска оборудования, на десятилетие сохранялось отставание от передовых образцов, сужалось применение СНС в экономике страны.

Практика применения спутниковых навигационных систем в горном деле

Рассмотрим наиболее результативные примеры применения СНС в крупнейших компаниях ресурсного сектора экономики России и за рубежом.

Навигационная информационная система «Dispatch» в США, разработанная фирмой Modular Mining Systems, была испытана и ныне применяется на карьере Tiron. В результате её использования производительность погрузочно-транспортного оборудования возросла на 11 %.

На отечественном рынке сформировалось несколько компаний, разрабатывающих многообразные автоматизированные информационно-навигационные системы для горных предприятий. Например, система «КАРЬЕР» успешно используется в более чем 40 горнодобывающих комплексах России, Казахстана, Монголии. Систему использует ряд

горных предприятий, входящих в холдинги «Эрдэнэт», «Северсталь», «Мечел», «Сибуглемет». Процесс непрерывного поступления информации осуществляется посредством радиомодемов, применяемых WI-FI. Использование высокоточной спутниковой навигации совместно с действующими системами призвано осуществлять эффективную корректировку грузопотоков. Принимаемые информационно-технические решения позволяют повысить производительность оборудования на 15-20 %, обеспечить безопасность горных работ в условиях климатически неблагоприятных регионов, снизить затраты на производство и увеличить объем добычи полезных ископаемых.

Геологические службы предприятий компании «АЛРОСА» оснащаются высокоточной зарубежной и отечественной аппаратурой. СНС здесь 15 лет используют для обслуживания геолого-геофизического персонала, занятого на полевых работах. На карьерах компании применяют высокопроизводительную буровую технику: буровые станки LF-90 (Канада), УБ -3,5 (РФ). Спутниковое позиционирование станков в карьере проводится с целью более точной ориентации взрывных скважин и более рационального использования взрывчатых веществ. Поступающая информация о текущей глубине и скорости бурения, давлении в гидросистеме позволяет судить об энергоёмкости бурения породного массива в различных точках скважин. Результаты геологоразведочных работ, проводимых с применением СНС, показывают перспективность и возможность открытия новых алмазоносных месторождений [4-6]. Общие тенденции развития инновационных систем управления состоят в следующем: применение высокоскоростных и высокоустойчивых беспроводных средств радиосвязи, которые обеспечивают передачу больших объемов телеметрической и видеoinформации; использование высокоточных СНС, которые позволяют вести позиционирование оборудования с сантиметровой точностью; внедрение профессиональных программных платформ и средств с целью автоматизированной диспетчеризации горнотранспортного оборудования. В настоящее время большой интерес проявляется к созданию и использованию малых космических аппаратов — адекватной замене больших космических аппаратов. Это объясняется многими преимуществами микро-спутников:

Сравнительно низкая цена, а также небольшое время, необходимое для разработки и изготовления микро-спутника.

Низкая цена запуска космического аппарата. Ракета-носитель, даже легкого класса, способна вывести на орбиту несколько микро-спутников.

Для запуска применяются конверсионные баллистические ракеты, которые, в соответствии с договорами, уничтожаются путем запуска в космос с полезной нагрузкой.

Легкие космические аппараты могут выводиться в качестве попутного груза на ракетах-носителях (РН) или в транспортных кораблях, доставляющих грузы на долговременные орбитальные станции.

Снижение риска больших финансовых потерь при гибели микро-спутника в случае аварии РН на старте или при неудачном выведении его на рабочую орбиту. Исследования, проведенные испанскими учеными по 233 организациям, показывают, насколько сильно организационный контекст (в виде переменных и факторов, особенно времени, размеров, ресурсов и конкурентной стратегии) влияет на развитие предприятий, в части их инновационности, активности на рынке и готовности к риску.

Формирующиеся инновационные транспортно-космические комплексы с целью эффективного качественного применения для горно-промышленной отрасли будут основываться на внедрении, а также модернизации ряда СНС. Развитие безлюдных интеллектуальных геотехнологий будет способствовать дальнейшему активному внедрению эффективных организационно-технических решений в области СНС ГЛОНАСС, автоматизированных программных платформ, робототехники и различной электроники для повышения эффективности протекания производственных процессов.

#### Список литературы

1. Ганицкий В. И., Даянц Д. Г., Воробьев А. Г., Эйрих В. И. О развитии инновационной деятельности и ее кадровом обеспечении в горнодобывающей промышленности // Горный журнал. – 2011.- № 12. – С. 27-30.
2. Прокофьева Е. Н., Востриков А. В. Оценка качества управления информационными потоками в организациях // Вестник PMAT. 2017. № 2. С. 45-48.
3. Prokofeva E. N., Vostrikov A. V., Fernandez E., Borisov N. Navigation satellite systems as the audit foundation for mining companies // Eurasian Mining. 2017. No. 1. P. 30-32.
4. Prokofeva E. N., Vostrikov A. V., Shapovalenko G. N., Alvarez A. The development of effective geomonitring for mining area with industrial review // Eurasian Mining. 2017. No. 2. P. 61-63.
5. Портал «Всё о горном деле. Добывающая промышленность» URL: <http://industry-portal24.ru> (дата обращения: 5.04.2019).
6. Zotov L., Frolova N., Shum C. Gravity Changes over Russian River Basins from GRACE, in: Planetary Exploration and Science: Recent Results and Advances. Berlin : Birkhauser/Springer, 2015.

## ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНО ИНТЕГРИРОВАННЫМИ НЕФТЯНЫМИ КОМПАНИЯМИ В РЕСПУБЛИКЕ КОНГО

Мупегну Нзусси К.Г.<sup>1\*</sup>, Moupegnou Cedric – De Felixandrin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов

<sup>2</sup>Université Tertiaire & Technologique LOKO

Koumassi Zone 4C Rue G 195 Benjamin Franklin, Abidjan,  
Côte d'Ivoire

#### Введение

С 1976 года нефтепереработка осуществляется в Пуэнт-Нуаре, экономической столице Конго. Он обеспечивает 90% государственных доходов и составляет ту же долю экспорта. Национальная нефтяная компания Конго SNPC является конголезским обществом публичного права, учрежденным конголезским законом 001-98 от 23 апреля 1998 года. Нефтяные ресурсы Конго управляются государственной нефтяной компанией (SNPC – Société nationale de spétroles du Congo), возглавляемой Маиксэнт Рауль Омингав 2018 году. Национальная нефтяная компания Конго SNPC является государственной нефтяной компанией, которая управляет нефтяными ресурсами республики Конго, город Браззавиль. Она возглавляется Маиксэнт Рауль Оминга с февраля 2018. SNPC была основана в 1998 году и родилась из золы энергетический компаний (Hydro-Congo). До сих пор она остается единственным конголезским государственным предприятием, осуществляющим нефтяную деятельность.

#### 1. Эволюционная концепция теории управления вертикально интегрированными нефтяными компаниями (ВИНК)

Созданная 23 апреля 1998 года Национальная компания по производству нефти в Конго SNPC является энергетическим и экономическим компонентом Республики Конго. Она в значительной степени способствует экономике страны и государственному бюджету более чем на 70 процентов.

Национальная научно-производственная компания SONAREP, его задачей является поиск, исследование и разработка месторождений необработанных углеводородов. SONAREP обеспечивает производство полей (Kundji) или совместно с SNPC (Tilapia). Со времени своего создания в 2002 году SONAREP руководит всей деятельностью группы по разведке, исследованиям, добыче и добыче углеводородов. Его деятельность действительно началась в 2005 году с Tilapia.

С целью совершенствования своей работы с логистической точки зрения она работала с 2014 года до 2015 года над приобретением оборудования тестирования скважины. Его первая инвестиция в нефтяное оборудование.

Эта операция тестирования скважины нацелена на достижение нескольких целей, в первую очередь на то, чтобы доказать потенциал резервуаров, определив их динамические свойства; подтвердить производительность каждой скважины и повысить производительность полей.

Конголезский нефтеперерабатывающий завод (CORAF – CongolaisedeRaffinage) является акционерной компанией с генеральным директором. 100-процентная дочерняя компания национальной нефтедобывающей компании Конго SNPC с номинальной производительностью

1 000 000 тонн в год, CORAF уделяет приоритетное внимание сырой конголезской продукции. Эта сырая нефть поступает в основном из нефтяного терминала в Djeno, расположенного в 25 километрах от нефтеперерабатывающего завода.

## **2. Эволюция естественных систем**

Рост SNPC также является ростом в Конго, поскольку его доходы от нефти реинвестируются на всей территории страны, в базовую инфраструктуру, такую как электричество, вода или дорожная инфраструктура. Она осуществляет исследования, производство, переработку, транспортировку и сбыт жидких или газообразных углеводородов в Конго и за рубежом непосредственно или через свои дочерние компании или в партнерстве с ними. Являясь государственным предприятием, она также содействует разработке государственной политики в области управления углеводородами. Компания осуществляет свою деятельность на Moho-Bilondo (15%), Nkossa (15%), M'Boundi (8.8%), Kitina (35%), Sendji (15%), Yanga (15%), Djambala (35%), Foukanda (35%), Mwafi (35%), Emeraude (49%), Yombo (44%), Tilapia (35%), Azurite (15%), Turquoise Marine-1 (15%) через свою дочернюю компанию «Конголезской Переработки» CORAF.

## **3. Эволюция экономических систем**

Конголезская экономика основана главным образом на добыче углеводородов вдоль Атлантического побережья, на которую приходится около 90% экспорта страны. Производство составляет порядка 240 000 баррелей в день, большая часть которых обеспечивается компаниями TOTAL (поля Nkossa, Libondo, и особенно Мохо-Билондо,

которые были введены в производство в апреле 2008 года), ENI и Mogel & Prom, в партнерстве с Национальной нефтеперерабатывающей завод CORAF. Разведка и добыча нефти, сосредоточенные на периферии Пуэнт-Нуар, делают ее экономической столицей Республики Конго. SNPC – Это государственное предприятие промышленного и коммерческого характера с юридическим лицом и финансовой самостоятельностью. Его капитал составляет 81.334.654.844 Франков КФА.

## **4. Проектирование вертикально интегрированными нефтяными компаниями (ВИНК)**

Группа SNPC имеет пять проактивных дочерних компаний (SONAREP, ILOGS, SFP, CORAF, SNPCD) и участие в нескольких исследовательских и производственных лицензиях по всей цепочке нефтяной промышленности, а также корпоративный фонд. Группа (холдинг и дочерние компании) насчитывает более 1053 агентов, и ее роль заключается в поиске, эксплуатации, оценке и распределении углеводородов в Конго. SNPC выполняет эту миссию в одиночку или в партнерстве со многими международными компаниями, базирующимися в Конго, а также активизирует сотрудничество в юге этом секторе.

SONAREP также планирует взять на себя ответственность за эксплуатацию Kundji путем окончательной установки производственных инструментов. Начатые в апреле 2013 года строительные работы по окончательным производственным установкам Kundji завершились в октябре 2014 года. Это современные установки, соответствующие современным международным стандартам в области добычи нефти. Они имеют три основные функции: стабилизация производства скважин на обеих платформах (PF100, PF200); хранение стабилизированного сырья в специальных бункерах на PF100 и загрузка автоцистерн для экспорта сырой нефти на нефтеперерабатывающий завод в CORAF. Важный проект-строительство операционной базы материально-технического снабжения площадью 11.000 м<sup>2</sup> в Djeno.

Компания по бурению нефтяных скважин (SFP – Société de Forages Pétroliers) является акционерным обществом. От имени SNPC компания буровой станок SNPC номер 1 управляет наземным буровым оборудованием с буровой мощностью 7000 метров. Эта установка, способная выполнять все виды скважин (вертикальные или горизонтальные), реализовала все скважины, просверленные SNPC до сих пор.

Проведя мобилизацию буровой станок MR 8000 в марте 2015 года, SFP ввела организационный план развертывания персонала на разре-

шениях Ngoki в департаменте Центрального унитаризма и Kundji в департаменте Кюлу. После этого был разработан еще один учебный план по приобретению и присвоению нового буровой станок MR 8000 за рубежом для руководящего и местного персонала для других сотрудников.

Интегрированные логистические услуги (ILOGS- Integrated Logistic Services) занимается нефтяной логистикой. Она предлагает интегрированные логистические услуги и услуги хранения высокого уровня для нефтяной промышленности. Его расположение в автономном порту Пуэнт-Нуар и размещение его базы материально-технического снабжения в портовом бассейне с доком площадью более 300 м<sup>2</sup> обеспечивают стратегическое положение в своей отрасли. Основным направлением деятельности CORAF является переработка сырья. Она обеспечивает энергетическую безопасность страны, предоставляя ей около 70% своих потребностей в готовой продукции. Своя, обрабатывая емкость 1.000.000 т / год. С 2009 года была создана новая схема переработки. CORAF уточняет светлое сырье Nkossa. Нефтеперерабатывающие заводы CORAF поступают из нефтяного терминала Djeno, который соединен с нефтеперерабатывающим заводом по трубопроводу на 25 километров. Кроме того, автоцистерны доставляют в CORAF сырые грузы с полей SNPC (МКВ и Tilapia). На 2014-2015 гг. CORAF приступила к реализации многих проектов, в том числе:

- строительство двух бункеров для хранения супер 5000 м<sup>3</sup> каждый (работает);
- remodelирование единиц для увеличения производственной мощности (работает);
- строительство диспетчерской (выполненный проект); строительство социально квартиры.

### Вывод

SNPC заключается в том, чтобы создать национальный опыт с высоким потенциалом в нефтяной промышленности через стратегию роста. SNPC управляет амбициозным портфелем активов, которые работают и не работают на шельфе и земле.

### Список литературы

1. <http://www.congo-info.com/company/48>.
2. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Société\\_nationale\\_des\\_pétroles\\_du\\_Congo](https://fr.wikipedia.org/wiki/Société_nationale_des_pétroles_du_Congo).
3. <https://www.snpc-group.com/fr/historique>.
4. [https://fr.wikipedia.org/wiki/République\\_du\\_Congo#Politique](https://fr.wikipedia.org/wiki/République_du_Congo#Politique).
5. <https://www.snpc-group.com/fr/societe-nationale-de-recherche-et-production-sonarep>.

6. <http://www.congo-info.com/company/1067>.

7. <https://www.snpc-group.com/fr/societe-des-forages-petroliers-sfp>.

8. Учрежденным конголезским законом 001–98 от 23 апреля 1998 года.

## МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА УПРАВЛЕНИЯ АФРИКАНСКИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ НЕФТИ

Мупегну Нзусси К.Г.<sup>1</sup>, Moupegnou Cedric – De Felixandrin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, РФ,

<sup>2</sup>Université Tertiaire & Technologique LOKO

Koumassi Zone 4C Rue G 195 Benjamin Franklin, Abidjan,  
Côte d'Ivoire

### Введение

Управления африканская производителей нефти (APPO – African Petroleum Producers Organization) является управлений африканских стран-производителей нефти. Он был создан 27 января 1987 года в Лагосе, Нигерия, чтобы служить платформой для сотрудничества и согласования усилий, сотрудничества, обмена знаниями и навыками между африканскими нефтедобывающими странами. Штаб-квартира организации находится в Браззавиле в Конго. В 2017 году организация сменила название с африканской Ассоциации производителей нефти на управление африканскую производителей нефти. Создание APPO было инициировано Нигерией в качестве усилия по смягчению зависимости страны от западных технологий и западных рынков для доходов от экспорта нефти. Целью APPO является развитие сотрудничества в области нефтехимических исследований и технологий.

### 1. Оценка управления африканская производителей нефти APPO в африканском нефтяном прогнозе

- Страны-члены APPO присутствуют во всех нефтяных зонах Африки, включая Северную Африку, Западную Африку (Гвинейский залив), Центральную Африку и Южную Африку;
- Запасы нефти стран-членов APPO на конец 2017 года оценивались в 118,67 млрд. баррелей из 119,11 млрд. баррелей запасов в Африке;
- В 2017 году APPO добывал в среднем 9,92 млн. баррелей в сутки, или более 99% африканской добычи (10,0 млн. баррелей в сутки).

## 2. SWOT – анализ АРРО

Таблица 1 – SWOT – анализ управления африканская производителей нефти АРРО

|               |             | ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               |             | СИЛЬНЫЕ СТОРОНЫ                                                                                                                                                                                                                                                                               | СЛАБЫЕ СТОРОНЫ                                                                                                                                                                                                                                                              |
| ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ | ВОЗМОЖНОСТИ | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сильные финансовые возможности</li> <li>2. Хорошая репутация организации</li> <li>3. Стойкое преимущество</li> <li>4. Сильная производственная мощность</li> </ol>                                                                                  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сильной производственной мощности нужен более высокий экспорт</li> <li>2. Затраты связаны с высокой производительностью</li> </ol>                                                                                                |
|               | УГРОЗЫ      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Быть более отзывчивым к социальным изменениям к более здоровым вариантам</li> <li>2. Расширение рекламы в том, чтобы быть более социально ответственным в окружающей среде</li> <li>3. Расширение бизнеса в новых развитых частях Африки</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Огромное количество сырой нефти завод открыты конкуренты</li> <li>2. Спад в экономике влияет на возможность покупать нефть как раньше</li> <li>3. Сильное загрязнение окружающей среды и отсутствие утилизации отходов</li> </ol> |

## 3. Аудит управления африканская производителей нефти

Миссия АРРО заключается в содействии сотрудничеству в области углеводородов его стран-членов и других глобальных учреждений в целях содействия плодотворному сотрудничеству и партнерству при использовании нефти в качестве катализатора энергетической безопасности, устойчивого развития и экономической диверсификации в Африке. АРРО стремится быть мировым справочным и ведущим учреждением по вопросам углеводородов Африки.

За 32 года своего существования АРРО, которая является основой для консультаций по различным темам, представляющим общий интерес, и содействует сотрудничеству между странами-членами, сыграла важную роль в развитии Африканского нефтегазового сектора. В этой динамике АРРО остается важным инструментом сотрудничества и будет способствовать ускорению развития нефтедобывающих регионов,

чтобы играть роль, возложенную на страны-члены. Африканская организация производителей нефти состоит из 18 стран: Алжир, Ангола, Бенин, Камерун, Конго, Кот-д'Ивуар, Габон, Нигер, Нигерия, Чад, Демократическая Республика Конго, Египет, Экваториальная Гвинея, Ливия, Мавритания, Южная Африка, Судан, Гана.

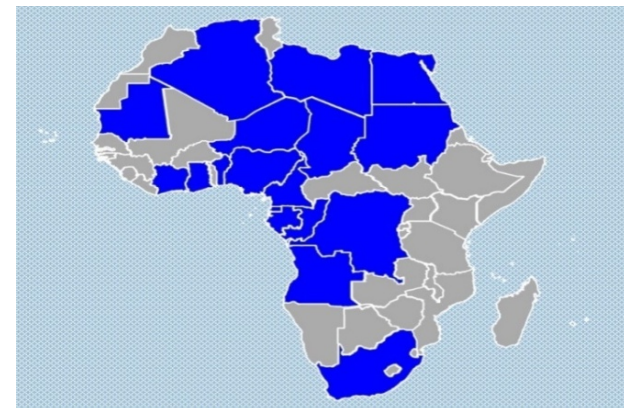


Рис.1. Карты стран-членов АРРО

Таблица 2 – Следующие африканские государства являются членами управления африканской производителей нефти

| Государство                      | Год вступления |
|----------------------------------|----------------|
| Алжир                            | 1987           |
| Ангола                           | 1987           |
| Бенин                            | 1987           |
| Чад                              | 1987           |
| Камерун                          | 2005           |
| Конго, Республика                | 1987           |
| Демократическая Республика Конго | 1989           |
| Кот-д'Ивуар                      | 1989           |
| Египет                           | 1989           |
| Экваториальная Гвинея            | 1996           |
| Габон                            | 1987           |
| Гана                             | 2011           |
| Ливия                            | 1987           |
| Мавритания                       | 2008           |
| Нигер                            | 2012           |
| Нигерия                          | 1987           |
| Южная африка                     | 2005           |
| Судан                            | 2008           |

#### **4. Лидерство и принятие решений**

Африканское руководство проводит ревизию осуществления флагманских энергетических проектов и инициатив на Африканском континенте, таких, как газовый Megahub Экваториальной Гвинеи, который свяжет национальные и трансграничные газовые проекты; LNG2Africa Экваториальной Гвинеи, содействующая торговле газом на континенте; сотрудничество Судана и Южного Судана по возобновлению добычи нефти; серия лицензий в Нигерии, Габоне и Демократической Республике Конго; а также флагманские экономические и инвестиционные реформы в Анголе.

Руководство APPO состоит из:

- Совет министров;
- исполнительный Совет;
- генеральный секретарь;
- управление директора национальной нефтяной компании.

#### **5. Финансирование местных предприятий углеводородного сектора**

- Определение местного бизнеса: компания со штаб-квартирой на территории на национальном или субрегиональном уровнях и по меньшей мере на 51% принадлежит гражданам ли субрегиональные. Вместе с тем иностранная компания вносит значительный вклад в передачу технологии в соответствии с национальным законодательством, может считаться национальным;
- критерии технической приемлемости местных PME и PMI для финансирования в соответствии с местным содержанием;
- налоговая политика, направленная на обучение и финансирование PME и PMI местные;
- участие национальных компаний в частных компаниях;
- льготный кредит, предоставленный специальным фондом.

#### **6. Области деятельности, наиболее доступные для стран с точки зрения технические требования и региональная и международная конкуренция**

- Логистика;
- восстановление на нефтяных месторождениях;
- дорожно-строительные работы;
- обработка материалов;
- дноуглубительных;
- производство запасных частей, требующих низкой технической оснащенности;

- производство оборудования безопасности;
- деятельность по буксировке и лоцманской;
- проверка грузов сырой нефти;
- обработка нефтяных данных.

#### **7. Года энергетики в Экваториальной Гвинее**

В конце августа 2018 года Министерство шахт и углеводородов, возглавляемое его превосходительством министром Габриэлем Мбагой Обиангом Лимой, инициировало инициативу «2019 год энергии в Экваториальной Гвинее». Цель этой инициативы состоит в том, чтобы позиционировать страну как энергетическую столицу африканского континента в течение 2019 года, чтобы оценить возможности, предоставляемые энергетической промышленностью Экваториальной Гвинеи и континента, продвигать местные предприятия и достижения Экваториальной Гвинеи, а также поддерживать инициативы других стран-производителей нефти и газа на африканском континенте. Для достижения этих целей в течение года в Экваториальной Гвинее будет проводиться несколько конференций и мероприятий, которые имеют признанный опыт организации местных и континентальных мероприятий и поощрения более тесных дипломатических связей с африканскими партнерами в энергетическом секторе. Правительство Экваториальной Гвинеи назначило Africa Oil & Power, ведущую платформу для инвестиций и энергетической политики на континентальном уровне, в качестве официального организатора программы мероприятий Года энергетики вместе с комитетом, назначенным Министерством горнодобывающей промышленности и углеводородного сырья.

#### **Выводы**

В настоящее время APPO проводит крупные реформы, направленные на то, чтобы дать Африке единый фронт на мировой энергетической арене. Организация стремится к расширению регионального сотрудничества в проектах добычи, инфраструктуры, нефтеперерабатывающих заводов и других ведущих проектов. Он также направлен на привлечение большего числа членов, в то время как африканские страны делают значительные открытия в области нефти и газа, увеличивая свои запасы. Законодательные и политические реформы необходимы в каждом конкретном случае. Такие страны, как Гана, Сенегал и Мозамбик имеют одни из самых конкурентных и конкурентных рыночных условий в мире. Африка оказалась страной колоссальных открытий, представляющих сокровища неиспользованных и неоткрытых возможностей.

### Список литературы

1. Petroleum reform talk: APPA to APPO: <https://www.vanguardngr.com/2017/07/petroleum-reform-talk-appa-appo>.
2. APPA Bulletin 9, Page 22: [http://www.appa.int/en/pub/Bulletin\\_APPA-n9\\_eng.pdf](http://www.appa.int/en/pub/Bulletin_APPA-n9_eng.pdf).
3. APPA Bulletin 9, Page 22: <http://www.appa.int/en/pmbres/ghana.html>.
4. African Petroleum Producers Association website: <http://www.appa.int/en/pmbres/pang.html>.
5. Year of Energy 2019 Ministry of mines and hydrocarbons, <https://yearofenergy2019.com>.
6. APPO CAPE VII, Malabo 2–5 Avril 2019, Présentation du guide APPO de promotion du contenu local dans les activités pétrolières et gazières en Afrique, Dr. Achille NGWANZA.

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДОЛГОСРОЧНЫХ ПЕРСПЕКТИВ ОСВОЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО ШЕЛЬФА АРКТИКИ

Ильинова А.А., Соловьева В.М.

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный  
горный университет*

Эффективное освоение шельфовых месторождений является одной из стратегически значимых задач в национальном масштабе, актуальность которой на сегодняшний день представляется очевидной [1,4].

Специфика нефтегазовых шельфовых проектов как объектов прогнозирования устанавливает принципиально новые требования к определению долгосрочных перспектив их реализации. К особенностям прогнозирования освоения углеводородных ресурсов шельфа Арктики следует отнести высокую степень неопределенности в рамках установления тенденций развития нефтегазовой отрасли, отсутствие упорядоченных статистических данных, уникальность каждого проекта, необходимость учета значительного числа управляемых и условно-управляемых факторов [1-3].

Современные методы долгосрочного прогнозирования условно можно разделить на две группы: экспертные и статистические методы. Основой экспертных методов выступает качественная информация, ввиду чего с их помощью нельзя однозначно ответить на вопрос, является ли тот или иной шельфовый проект перспективным, и какова его относительная «перспективность» по сравнению с другими проектами [2].

Использование статистических методов, несмотря на возможность построения прогнозов на основе количественных показателей, не позволяет учитывать многообразие факторов, непосредственно влияющих на реализацию шельфовых проектов. Кроме того, отсутствие статистических данных существенно ограничивает область их применения. Ввиду чего указанные методы могут быть использованы для прогнозирования отдельных значений некоторых количественных показателей, характеризующих перспективность проектов, с целью изучения их динамики и формирования опорных данных в виде прогнозных оценок [2-3].

Очевидно, что проблема определения реальных перспектив освоения углеводородных месторождений шельфа Арктики является сложной и требует системного подхода к ее решению. В связи с этим применение общенаучных методов и инструментов прогнозирования не представляется возможным. Авторами исследования был предложен комплексный подход к определению долгосрочных перспектив освоения нефтегазового шельфа Арктики, алгоритм которого построен на планомерном достижении поставленных задач путем задействования как экспертных, так и статистических методов, и оценок. Первым шагом, планируемым к осуществлению, является проведение специального опроса, позволяющего сформировать общие представления о возможностях и имеющихся направлениях освоения шельфовых ресурсов [3]. Разработанный авторами опросный лист включает в себя следующие разделы:

1. Общие вопросы развития нефтегазовой отрасли;
2. Перспективы освоения углеводородных ресурсов Арктического шельфа;
3. Сфера сотрудничества по вопросам освоения шельфовых ресурсов Арктики;
4. Задачи государства и бизнеса при реализации шельфовых проектов;
5. Вопросы финансирования и инвестиционной привлекательности шельфовых проектов;
6. Исследование технологических аспектов (специальная часть).

Так, в рамках раздела, посвященного изучению развития нефтегазовой отрасли, рассматриваются вопросы, связанные с характеристикой отечественного и мирового рынков нефти и газа, оценкой факторов, влияющих на отрасль, формированием общих прогнозов относительно ценовой конъюнктуры. Следующие блоки предложенных вопросов охватывают широкую область исследования перспектив освоения ресурсного потенциала шельфа. Третий раздел посвящен непосредственно изучению влияния отдельных групп стейкхолдеров на реализацию углеводородных проектов, выявлению сфер взаимодействия и определению

перспективных стран партнеров. В рамках четвертого раздела рассматриваются аспекты, связанные с государственным регулированием, проблемами, с которыми сталкивается бизнес (нефтегазовые компании), а также задачами бизнеса и государства в данном направлении в целом. Отдельно исследуется вопрос о возможности либерализации допуска частных компаний к работе на российском шельфе.

Пятый раздел содержит в себе перечень вопросов, касающихся финансирования, инвестиционной привлекательности планируемых к реализации шельфовых проектов, анализа современных финансовых механизмов. Исследование технологических аспектов будет проведено на основе сотрудничества со специализированными организациями и компаниями, область деятельности которых непосредственно связана с нефтегазовым машиностроением.

Результаты опроса выступят базисом для проведения следующего этапа исследования, в рамках которого планируется формирование качественных и количественных показателей для создания средне- и долгосрочных прогнозов освоения нефтегазового шельфа Арктики. Заключительным этапом предлагаемого комплексного подхода станет проведение частных опросов с целью сбора и анализа мнений экспертов по прогнозам степени влияния конкретных показателей на перспективность реализации отдельных проектов [3].

Таким образом, определение долгосрочных перспектив освоения нефтегазового шельфа Арктики требует применения специальных инструментов и методов прогнозирования. Разработанный авторами настоящей работы комплексный подход на данный момент реализуется на практике: осуществляется сбор данных по сформированному опросу, ведется работа по выявлению и обоснованию перечня конкретных показателей деятельности компаний, осуществляющих работу на российском шельфе. Планируемые результаты связаны с построением целостных и научно-обоснованных долгосрочных прогнозов освоения углеводородных шельфовых ресурсов Арктики с целью преобразования имеющейся неопределенности в вероятностную характеристику.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-010-00734\18 «Разработка методологии технологического прогнозирования развития взаимосвязанных промышленных и социально-экономических систем при освоении углеводородных ресурсов Арктики»

#### Список литературы

1. Савинов Ю.А., Ганжинова С.А. Перспективы российских шельфовых проектов в Арктике // Мировая экономика. Российский внешнеэкономический вестник. 2017. № 4. С. 25–32.

2. Чанышева А.Ф., Ильинова А.А. Методические подходы к прогнозированию перспектив освоения углеводородных ресурсов Арктики // Север и рынок: Формирование экономического порядка. 2018. № 6 (62). С. 53–63.

3. Чанышева А.Ф., Ильинова А.А., Kourentzes N.N., Светульников И.С. Producing long-term forecasts of the development of Arctic shelf. / Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects/ под ред. Литвиненко В. С. // Потсдам, Германия: XI RUSSIAN-GERMAN RAW MATERIALS CONFERENCE COMMITTEE, Т 1, 2018. С 539–553.

4. Череповицын А.Е., Фадеев А.М., Ларичкин Ф.Д. и др. Особенности стратегического управления нефтегазовым комплексом и транспортировки углеводородной продукции при освоении морских нефтегазовых месторождений Арктики // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2017. №4. С. 742–754.

### КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИТУМИНОЗНЫХ БУРЫХ УГЛЕЙ ТЮЛЬГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГОРНОГО ВОСКА И ЕГО МОДИФИКАЦИЙ

Докучаева А.И.

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

Горный воск и его модификации обладают рядом ценных свойств (влаго- и кислотостойкостью, низкой электропроводностью и др.) и являются незаменимыми при точном литье по выплавляемым моделям, в изготовлении защитных и полирующих композиций для разнообразных покрытий, для приготовления органических удобрений, в химии и других областях [1]. В современных условиях по экспертным оценкам дефицит восков в России составляет около 5 тыс. тонн в год [2], который покрывается в основном за счет импорта из Германии. Комплексный химико-технологический подход к освоению этих ископаемых обеспечивает получение широкого класса химических веществ, которые могут использоваться в различных отраслях промышленности. В связи с этим возникает необходимость разработки эффективной технологии и организации производства восков на базе отечественных месторождений битуминозных бурых углей.

Целью работы является усовершенствование аппаратурно-технологической схемы процесса получения воска из битуминозного бурого угля. Кроме того, важным вопросом, требующим новых решений, остается аппаратурное оформление процесса, поскольку, исполь-

зуемые в настоящее время экстракционные аппараты, особенно ковшового типа, отличаются невысокой производительностью, металлоемки, а главное – позволяют извлекать всего 50-60% восковых компонентов. Поэтому анализ существующих и разработка новых технологий и аппаратов, обеспечивающих интенсивный массообмен в системе твердое тело-жидкость, весьма актуальны и имеют большую практическую востребованность.

Сырьевые ресурсы битуминозных углей в России весьма обширны. Среди разрабатываемых выделяются месторождения Южного Урала, особенно Тюльганское месторождение (запасы 213 млн т, выход битумов  $\geq 6,5\%$ )[3,4].

Были проанализированы экспериментальные данные, полученные при экстракции углей Тюльганского месторождения на лабораторной установке с горизонтальным экстрактором многократного погружения, обеспечивающим интенсивное перемешивание фаз с относительной скоростью движения фаз до 180 м/ч [1]. В качестве перерабатываемого сырья был принят уголь с рабочей влажностью после подсушивания 18-20% и битуминозностью 6,3-8,5%. В работе сравниваются бурые угли Тюльганского и Александрийского месторождений и методы получения горного воска из них.

В результате исследования отображены следующие преимущества восков, полученных из битуминозных бурых углей Тюльганского месторождения (Россия) над восками Александрийского месторождения (Украина):

1. Сырой горный воск из угля Тюльганского месторождения по внешнему виду и качеству отличается от воска из углей Днепровского бассейна. Он имеет более темную окраску из-за повышенного содержания смолистых веществ (до 43%) и полностью сплавляется с парафином.

2. Температура каплепадения южноуральского воска составляет 77-78°C, что на 4-6°C ниже, чем для восков из углей Александрийского месторождения. Кроме того, в южно-уральских восках содержится 24-25% неомыляемых соединений, а в восках александрийского угля – 19-20%, которые не образуют мыло при взаимодействии со щелочью, а потому положительно влияют на здоровье человека при применении в лечебных целях.

В процессе получения сырого горного воска из битуминозного бурого угля предлагается заменить ковшовый экстрактор на горизонтальный экстрактор многократного погружения и применить бензин-«нефрас» в качестве растворителя вместо бензол-бензиновой смеси.

Преимущества экстрактора многократного погружения по сравнению с промышленными ковшовыми экстракторами:

1. Значительно увеличивается поверхность контакта фаз за счет приближения условий экстракции к условиям протекания процесса во взвешенном состоянии, что в сочетании с большой скоростью перемешивания обеспечивает высокую скорость массообмена.

2. Происходит чередование стадий экстракция-отжим, поскольку уголь периодически выходит из растворителя и погружается в него в течение всего времени экстракции.

3. Тщательное перемешивание фаз обеспечивает быстрое выравнивание концентрации молекул воска на поверхности и внутри частицы угля.

Бензин-«нефрас» применяется в резиновой промышленности (отсюда и другое название бензин-«калоша»), в производстве труб, для приготовления резиновых клеев и др. Он является малоефективным по сравнению с обычным бензином, используемым в бензол-бензиновой смеси, что удешевляет затраты на аппаратный процесс экстракции и имеет более низкую температуру начала выпаривания, что позволяет снизить потери растворителя.

Предлагаемый в работе процесс получения горного воска экстракцией битуминозных бурых углей Тюльганского месторождения состоит из следующих основных стадий:

- подготовка угля экстракции, включая дробление, тонкое измельчение до получения необходимой для экстракции фракции угля 0,2-2,5 мм, подсушивание угля до влажности 18-20%;
- экстракция угля при 63-68°C в присутствии бензина-растворителя марки «нефрас» в горизонтальном экстракторе многократного погружения; концентрирование и дальнейшее упаривание раствора воска (мисцеллы) с получением товарного сырого горного воска;
- регенерация экстракционного бензина-растворителя.

Процесс получения восковых продуктов в экстракторе нового поколения (горизонтальный экстрактор многократного погружения) с применением бензина-растворителя марки «нефрас» позволяет получить воски более высокого качества для угледобывающих предприятий ОАО «Оренбургуголь» по сравнению с применением бензол-бензиновой смеси и малопродуктивных экстракторов ковшового типа (Украина):

1. Удельная производительность экстрактора многократного погружения по углю составляла 40,8 кг/м<sup>2</sup>·ч, что в 3,2 раза выше, чем для ковшовых экстракторов.

2. Экстракцию тюльганских углей в отличие от углей Днепровского бассейна можно вести при более низкой температуре 62-64°C, что важно, так как качество и степень извлечения восков при этом практически не изменяются, а потери бензина-растворителя значительно снижаются.

3. Реализация усовершенствованного процесса экстракции в промышленном масштабе позволит получать не только высококачественный сырой горный воск, но и обессмоленные рафинированные и эритрифицированные воски.

Таким образом, анализ экспериментально проведенных исследований и опубликованных данных по получению восковых продуктов из отечественных битуминозных бурых углей, свидетельствует о технической возможности получения сырого горного воска высокого качества экстракцией угля Тюльганского месторождения с применением в качестве растворителя малodeфицитного бензина марки «нефрас» в горизонтальном экстракторе многократного погружения.

#### Литература:

1. Малолетнев А.С., Наумов К.И., Юшина Т.И. Физико-химические методы переработки углей. Ч.2. Нетопливное использование углей. Учебн. Пособие. М.: Изд-во ООО «Ваш формат». 2016. – 170 с.

2. Головин Г.С., Зырянова Е.В., Гюльмалиев А.М. и др. Предпосылки создания в России производства горного воска // Рос. Хим. Журн. – 1994. – Т. XXXVIII. – №5. – 80с.

3. Яхимович В.Л. Тюльганская свита // Стратиграфический словарь СССР. Л.: Недра. 1982. – 436 с.

4. URL: <http://miningwiki.ru/wiki/Оренбургуголь> (Электронный ресурс. Дата обращения 15.05.2019).

## ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

### О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСНОГО СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЗОНЫ РАЗГРУЗКИ В УСЛОВИЯХ ВЫБРОСООПАСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ДОНБАССА

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

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

<sup>2</sup> *Донбасская национальная академия архитектуры и строительства (ДонНАСА), (Министерство образования и науки, г. Макеевка).*

Ведение горных работ на шахтах Донбасса и Российской Федерации на глубинах свыше 600 м характеризуется сложными горно-геологическими условиями: высокая тектоническая нарушенность горного массива, повышенная газоносность угольных пластов, рост горного давления и повышение потенциальной энергии горного массива. В результате воздействия этих факторов в горных выработках происходят внезапные выбросы угля и газа, которые приводят к аварийному загазированию выработок, к взрывам метана и угольной пыли, повреждению выработок, машин, механизмов и оборудования, являются причиной смертельного травматизма. В Донбассе за период 1946–2006 гг. зафиксировано: а) 2520 внезапных выбросов угля и газа; б) 4932 выброса угля и газа, которые произошли при буро-взрывных работах, проводимых в режиме сотрясательного взрывания; в) 4209 внезапных выбросов песчаника и газа. На шахтах Кузбасса за период 1943–1995 гг. произошло 228 внезапных выбросов угля и газа и 168 горных ударов. На шахтах Воркуты Печорского угольного бассейна с 1950 г. по 2000 г. произошло более 250 внезапных выбросов угля и газа, а также фиксировались горные удары. Анализ опыта ведения горных работ в Донбассе за последние 60 лет показал, что в сложных горно-геологических условиях текущий прогноз выбросоопасности угольных пластов, противовыбросные мероприятия, а также контроль их эффективности не всегда оказываются достаточно надежными и

эффективными, [1]. Согласно п. 6.3.6.5 [2], величина зоны разгрузки  $L_{разг}$ , м является весьма важным показателем, так как по ней рассчитывается безопасная глубина выемки угольного пласта:  $L_{без} = L_{разг} - L_{но}$ , где неснижаемое опережение –  $L_{но} = 1,3$  м. Согласно [2], текущий прогноз выбросоопасности угольных пластов (ТП) по начальной скорости газовыделения из шпуров –  $q_{нач}$  выполняется, на интервалах 1,5; 2,5 и 3,5 м, а контроль эффективности противовыбросных мероприятий (КЭ) по динамике  $q_{нач}$  выполняют на интервалах 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 м. Таким образом, контроль состояния призабойной части пологих выбросоопасных угольных пластов в Донбассе осуществляют более 40 лет, как правило, по одному параметру – по  $q_{нач}$  и только по длине шпура  $L_{шп} = 3,0 - 3,5$  м. При ведении ТП и КЭ в сложных горно-геологических условиях возникают ошибки 1-го рода, т.е. когда выбросоопасные участки угольных пластов относят к неопасным, эти ошибки приводят к авариям. Следует отметить, что применяемый в Донбассе способ контроля призабойной части пластов с помощью аппаратуры АПСС по параметрам сейсмоакустических сигналов [2] на выбросоопасных и особо выбросоопасных угольных пластах также характеризуется пониженной надежностью.

Поэтому, целями настоящей работы является повышение надежности и достоверности оценки степени выбросоопасности призабойной части пологих выбросоопасных угольных пластов Донбасса при проведении подготовительных и очистных забоев

Анализ опыта ведения горных работ на шахтах Донбасса [1] показал, что для более успешного и надежного определения величины зоны разгрузки  $L_{разг}$  необходимо использовать комплексирование различных методов геофизических измерений. Нами выбран оптимальный комплекс геофизических исследований, который включает поинтервальное измерение в скважинах глубиной 5,5–6, 0 м следующих параметров: а) начальной скорости газовыделения из шпуров – ( $q_{нач}$ , л / мин); б) температуры угля в скважинах – ( $T_{уг}$ , °С); в) кажущегося удельного электрического сопротивления – ( $\rho$ , ом). Поинтервальное измерение  $q_{нач}$  по длине скважины и во времени может выполняться предложенным нами двухсекционным шахтным герметизатором скважин – ШГС–2С, аналогом которого послужила конструкция герметизатора, приведенная в работе [3]. Анализ работы [4] показал, что параметр температура угольного пласта – ( $T_{уг}$ , °С) является важным информативным показателем и рекомендуется нами для дальнейшего применения в практике ведения горных работ. Термогазодинамический метод текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов Донбасса [4] является весьма перспективным, но к сожалению, он не нашел широкого применения в

практике ведения горных работ в странах СНГ по следующим причинам: распад СССР, разрыв экономических, научных и производственных связей.

Хорошо зарекомендовали себя в практике ведения горных работ способы шахтной электроразведки. Значительный вклад в развитие геоэлектрических методов исследования внесли работы Ямщикова В.С., Хмелевского В.К., Семенова А.С., Иванова В.В., Шиканова А.И., Зюзина Е.А., Левашова С.П., Якимчука Н.А., Корчагина И.Н. и многих др. С помощью электроразведочной станции с искробезопасными выходными цепями ШЭРС – 4 возможно определение величин удельного кажущегося электрического сопротивления в скважинах, пробуренных в угольных пластах на глубину до 6, 0-8, 0 м. Это позволит определять величину зоны разгрузки  $L_{разг}$  по изменению величин удельного кажущегося электрического сопротивления – ( $\rho$ , ом), измеренного в скважинах. Областью применения предлагаемого комплексного способа определения величины зоны разгрузки в призабойной части пологих угольных пластов являются шахты ДНР, ЛНР, а в дальнейшей перспективе шахты Российской Федерации (Восточный Донбасс, Кузбасс, Воркута), разрабатывающие выбросоопасные и особо выбросоопасные угольные пласты.

## Выводы

Применение комплексного способа контроля состояния призабойной части пологих выбросоопасных угольных пластов позволит более объективно и достоверно определять величину зоны разгрузки  $L_{разг}$  по пласту, что в свою очередь позволит повысить уровень безопасного ведения горных работ в сложных горно-геологических условиях: на глубинах свыше 600м; в зонах геологических нарушений; в зонах повышенного горного давления и т. д.

## Список литературы

1. Минеев, С.П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: [монография] / С.П. Минеев, А.А. Рубинский, О.В. Витушко, А.Г. Радченко // Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010. – 603 с.
2. СОУ 10.1.00174088.011 – 2005. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям / Киев, Минуглепром Украины. 2005. – 225 с.
3. Внезапные выбросы угля и газа и меры борьбы с ними на шахтах Воркутского месторождения / Ю. И. Умнов. В кн.: Борьба с внезапными выбросами в угольных шахтах // М., Госгортехиздат. 1962. – 603 с.

4. Рыженко И.А. Текущий прогноз выбросоопасности призабойной зоны пластов по температурному режиму / И.А. Рыженко, И.Я. Еремин, В.П. Черняк // 24-я Междунар. конф. научно-исследовательских институтов по безопасности работ в горной промышленности. — Донецк: 1991. Ч.1.— С. 541 – 547.

## ФОРМИРОВАНИЕ ЗОНЫ РАЗГРУЗКИ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЯХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ

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

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

<sup>2</sup> Донбасская национальная академия архитектуры и строительства (ДонНАСА), (Министерство образования и науки, г. Макеевка).

Согласно [1], выбросоопасность углей обусловлена совместным влиянием следующих факторов: а) физико-механических свойств угля; б) газа, содержащегося в угле; в) напряженного состояния угольного пласта. Анализ литературы показал, что аппаратура контроля метана – (АКМ) в выработках угольных шахт может успешно применяться при решении ряда задач: 1) контроль содержания концентрации метана в выработках; 2) исследования абсолютной и относительной величин газовыделения из разрушенного вынимаемого угля; 3) автоматизированный метод контроля эффективности противовыбросных мероприятий [2] и т. д. Следует отметить, что вопросам формирования величины зоны разгрузки и дегазации угольного пласта в подготовительных забоях в зависимости от фактора времени с помощью аппаратуры АКМ и других приборов и средств уделяется недостаточное внимание.

Поэтому, целью настоящей работы является рассмотрение особенностей формирования величины зоны разгрузки, зоны дегазации угольного пласта в подготовительных забоях в зависимости от фактора времени с помощью аппаратуры АКМ и других приборов, устройств и оборудования.

Проведение подготовительных выработок смешанным забоем по углю и по породе с помощью буровзрывных работ – (БВР) в ряде случаев (горно-геологические условия, технические, организационные причины и т. д.) сопровождается остановками забоев. Необходимо проанализировать, как при остановке забоев в результате перераспределения напряжений, с течением времени происходит дегазация угольного пласта и наблюдается рост величины зоны разгрузки –  $\ell_{раз}$ , м. Степень дегазации призабойной части угольного пласта может быть определена по изменению величины удельного газовыделения –  $Q_{уд}$ , определяемого в процессе проведения подготовительной выработки по следующей формуле:

$$Q_{уд} = Q_{возд} * \sum [(C_i - C_{фон}) * t_i] / 100 * M, \text{ м}^3/\text{т} \quad (1)$$

где:  $Q_{возд}$  – количество воздуха, подаваемого в выработку,  $\text{м}^3 / \text{мин}$ ;  $C_i$  – текущее значение концентрации метана, %;  $C_{фон}$  – фоновое значение концентрации метана, %;  $t_i$  – текущее значение интервала времени, мин;  $M$  – масса угля, вынимаемого за 1 цикл БВР, т.

Рассмотрим на конкретных примерах, как изменялось удельное газовыделение –  $Q_{уд}$  при отбойке угля с помощью буровзрывных работ в зависимости от промежутка времени между проходческими циклами. Исследования удельного газовыделения  $Q_{уд}$  были проведены в Донбассе в условиях шахты «Глубокая» ПО «Донецкуголь» в 4-м западном и 4-м восточном конвейерных штреках центральной части пласта  $h_8$ . Следует отметить, что на данном особо выбросоопасном угольном пласте  $h_8$  за период 1958–1980 гг. было зафиксировано 44 внезапных выброса угля и газа и 101 выброс, которые произошли при БВР, проводимых в режиме сотрясательного взрывания. Интенсивность выброшенного угля составляла от 3 т до 1040 т. Были проанализированы данные системы АКМ по выше указанным двум подготовительным выработкам за период с мая 1979 года по октябрь 1980 года. В течение этого периода по пласту  $h_8$  произошло 36 выбросов угля и газа, которые были спровоцированы взрывными работами [3]. В каждом цикле взрывания определялось относительное метановыделение в выработку, которое регистрировалось с помощью аппаратуры АКМ. На диаграммах записи содержания метана определялись следующие показатели: а) фоновые, текущие и максимальные значения концентрации метана в выработке – ( $C_{фон}$ ,  $C_i$  и  $C_{макс}$ ); б) подсчитывали площади газовыделения – ( $F$ ,  $\text{см}^2$ ), каждая из которых была ограничена кривой процентного содержания метана – ( $C$ , %) и осью времени – ( $t$ , час). Всего было проанализировано более 120 циклов взрывных работ.

С целью исключения влияния интенсивных газопроявлений, которые наблюдаются при выбросах угля и газа, спровоцированных взрывными работами, газовыделения при выбросах, а также газовыделения за один цикл до выброса и 1 цикл после выброса к учету не принимались. По полученным данным был выполнен корреляционно-регрессионный анализ изменения параметров  $C, \%$  и  $F, \text{см}^2$  в зависимости от времени между циклами выемки – ( $t_{\text{цикл}}, \text{час}$ ). В результате математической обработки исходных данных были получены следующие уравнения регрессии:

$$F = \frac{t_{\text{цикл}}}{0,086t_{\text{цикл}} - 1,02} ; \quad r = 0,91; \quad (2)$$

$$C = \frac{t_{\text{цикл}}}{0,85t_{\text{цикл}} - 9,34} ; \quad r = 0,74; \quad (3)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции.

Из приведенных уравнений (2) и (3) следует, что процесс дегазации и установления равновесного газодинамического состояния в призабойной части угольного пласта  $h_8$  фактически завершается за 60 часов или 2,5 суток – см. рис.1.

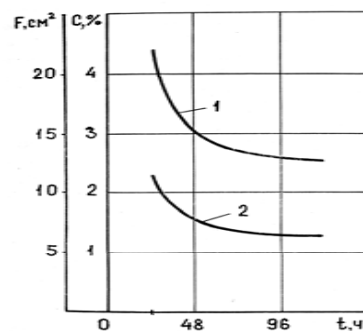


Рис.1. Обобщенные графики изменения площадей газовыделений  $F, \text{см}^2$  (1) и концентраций метана в выработках  $C, \%$  (2) в зависимости от промежутка времени между циклами БВР, час

### Выводы

При вынужденных остановках подготовительных выработок дегазация призабойной части пласта  $h_8$  завершается за 60 часов или 2, 5 суток. Для более точной и достоверной оценки состояния призабойной части выбросоопасных угольных пластов необходимо приме-

нять комплекс измерений, включающий: данные аппаратуры АКМ, измерения мощности, крепости угольного пласта, измерения величины выемки угля за цикл, определение величины зоны разгрузки пласта по методике измерения начальной скорости газовыделения из шпуров –  $q_{\text{нач}}$ , [4].

### Список литературы

1. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля, породы и газа / В.В. Ходот – М.: Госгортехиздат, 1961. – 363 с.
2. Ткачук С.П. Автоматизированный метод контроля эффективности противовыбросных мероприятий / С.П. Ткачук // Автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.26.01. – Макеевка – Донбасс, 1992. – 27 с.
3. Маевский В.С. Изменение газодинамического состояния призабойной части выбросоопасного пласта в зависимости от времени / В.С. Маевский, А.Г. Радченко // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело. – Научн. – технич. реф. сб. – ЦНИЭИуголь, 1982. – № 1. – С. 24 – 25.
4. СОУ 10.1.00174088.011 – 2005. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям / Киев, Минуглепром Украины. 2005. – 225 с.

### ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА В ДОНБАССЕ НА ПЛАСТАХ НАКЛОННОГО И КРУТОГО ПАДЕНИЙ

Радченко А. Г.<sup>1</sup>, Камбурова Л. А.<sup>1</sup>, Киселев Н. Н.<sup>1</sup>,  
Федотов С. М.<sup>1</sup>, Радченко А. А.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Донбасская национальная академия архитектуры и строительства (ДонНАСА), (Министерство образования и науки, г. Макеевка).

На шахтах Донбасса при ведении горных работ происходят внезапные выбросы угля и газа с различной интенсивностью выброшенного угля –  $Q_{\text{уг}}$  и выделившегося газа –  $Q_{\text{газ}}$ . С увеличением глубины ведения горных работ растут: а) потенциальная и кинетическая энергия горного

массива (угольных пластов и вмещающих пород); б) напряженно-деформированное состояние и давление газов в угольных пластах [1]. Выбросы угля и газа с высокой интенсивностью выброшенного угля –  $Q_{\text{уг}}$  часто приводят к нарушению крепи проводимых горных выработок, выводу из строя машин и механизмов, являются причиной аварий и повышенного травматизма. Следовательно, представляет значительный научный и практический интерес знание особенностей и закономерностей изменения интенсивности внезапных выбросов угля и газа в ряду метаморфизма углей и с ростом глубины в условиях наклонных и крутых угольных пластов Донбасса.

Поэтому, целями настоящей работы является установление общих закономерностей проявления внезапных выбросов угля и газа в условиях наклонных и крутых пластов Донбасса: 1) изменение количества внезапных выбросов в ряду метаморфизма углей и с ростом глубины; 2) изменение количества выброшенного угля, т. е. интенсивности выбросов –  $Q_{\text{уг}}$  в зависимости от марочного состава углей и с ростом глубины ведения горных работ.

По данным [2] и других работ был выполнен анализ внезапных выбросов угля и газа, произошедших на пластах наклонного и крутого падений в Донбассе за период 1946 – 2008 гг. В методическом плане, чтобы исключить влияние крупных выбросов на точность определения средних арифметических значений изменения интенсивностей выбросов угля –  $Q_{\text{уг}}^{\text{cp}}$  по статистическим группам, анализ был выполнен дифференцировано для следующих интервалов значений: 1)  $Q_{\text{уг}} = 1 - 300$  т; 2)  $Q_{\text{уг}} = 301 - 600$  т; 3)  $Q_{\text{уг}} = 601 - 900$  т; 4)  $Q_{\text{уг}}$  свыше 900 т. С целью краткого изложения приводим результаты исследований только по группе 1)  $Q_{\text{уг}} = 1 - 300$  т; см. табл.1.

Из табл. 1 следует, что имеется два максимума в изменении количества внезапных выбросов угля и газа –  $N_{\text{в}}$  в ряду метаморфизма (группы 2 и 4). В интервалах глубин 301 – 600 м наблюдается высокое количество внезапных выбросов угля и газа –  $N_{\text{в}}$  в группах 4, 5 и 6. А в интервалах глубин 601 – 900 м высокое количество внезапных выбросов угля и газа –  $N_{\text{в}}$  наблюдается в группах 4 и 5. Установлены два максимума в изменении средневзвешенных значений  $Q_{\text{уг}}^{\text{взв}}$ , т выброшенного угля в ряду метаморфизма (группы 3 и 7). Установлено, что с ростом глубины разработки угольных пластов в группах 2, 3, 4, 5 и 6 наблюдается увеличение средней интенсивности выброшенного угля –  $Q_{\text{уг}}^{\text{cp}}$ . В группах 4 и 5 с глубины 900 м наблюдается повышенный рост (более 33%) средней интенсивности выброшенного угля –  $Q_{\text{уг}}^{\text{cp}}$ .

**Таблица 1 – Изменение количества внезапных выбросов угля и газа –  $N_{\text{в}}$  и их средней интенсивности выброшенного угля  $Q_{\text{уг}}^{\text{cp}}$ . (выборка в интервале  $Q_{\text{уг}} = 1 - 300$  т) на пластах наклонного и крутого падений по группам метаморфизма за период 1946 – 2008 гг., (Донбасс)**

| Интервалы<br>глубин,<br>м                   | Группы метаморфизма     |                                  |                                  |                                  |                                  |                                 |                          |
|---------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
|                                             | 1-я                     | 2-я                              | 3-я                              | 4-я                              | 5-я                              | 6-я                             | 7-я                      |
|                                             | $V^{\text{daf}} > 35\%$ | $V^{\text{daf}} = 35,0 - 29,1\%$ | $V^{\text{daf}} = 29,0 - 25,1\%$ | $V^{\text{daf}} = 25,0 - 18,1\%$ | $V^{\text{daf}} = 18,0 - 13,1\%$ | $V^{\text{daf}} = 13,0 - 9,1\%$ | $V^{\text{daf}} < 9,0\%$ |
| 150–300                                     |                         |                                  |                                  | 1/21*                            |                                  | 1/17*                           | 7/110*                   |
| 301–600                                     | 23/68                   | 14/56                            | 23/68                            | 151/54                           | 153/52                           | 170/42                          | 53/68                    |
| 601–900                                     | 12/21                   | 76/49                            | 35/76                            | 142/75                           | 138/75                           | 31/102                          | 8/85                     |
| свыше 900                                   |                         | 29/75                            |                                  | 19/101                           | 10/117                           |                                 | 1/6                      |
| Сумма – $N_{\text{в}}$                      | 35/                     | 119/                             | 58/                              | 313/                             | 301/                             | 202/                            | 69/                      |
| $Q_{\text{уг}}^{\text{взв}}, \text{т}^{**}$ | 52                      | 56                               | 73                               | 66                               | 65                               | 51                              | 73                       |

\*Примечание: 1/21 – в числителе дано число выбросов –  $N_{\text{в}}$ , а в знаменателе средняя интенсивность выброшенного угля  $Q_{\text{уг}}^{\text{cp}}$ .

\*\*  $Q_{\text{уг}}^{\text{взв}}$  – даны средневзвешенные значения  $Q_{\text{уг}}$  по группам метаморфизма.

Проявление внезапных выбросов угля и газа на пластах наклонного и крутого падений имеет свои геомеханические особенности, гравитационные силы часто вызывают обрушения отдельных участков угольных пластов, которые затем перерастают во внезапные выбросы. Наибольшую поражающую способность и опасность для людей, машин и механизмов представляют выбросы с высокой интенсивностью выброшенного угля –  $Q_{\text{уг}}^{\text{макс}}$ . Поэтому, на втором этапе был выполнен статистический анализ изменения максимальных значений интенсивности внезапных выбросов угля и газа по группам метаморфизма –  $Q_{\text{уг}}^{\text{макс}}$ , см. табл. 2.

Анализ табл. 2 показал, что группы 2, 3, 4, 5, 6 и 7 отличаются весьма высокими показателями максимальных значений интенсивности выброшенного угля –  $Q_{\text{уг}}^{\text{макс}}$ . Установлено, что внезапные выбросы угля и газа с интенсивностью выброшенного угля  $Q_{\text{уг}}$  свыше 900 т происходят: а) в группах 2 и 3 на глубинах более 600 м; б) в группах 4, 5, 6 и 7 на глубинах более 300 м.

**Таблица 2 – Изменения максимальной интенсивности выброшенного угля  $Q_{\text{макс}}^{\text{уг}}$  при внезапных выбросах угля и газа на пластах наклонного и крутого падений по группам метаморфизма за период 1946 – 2008 гг., (Донбасс)**

| Интервалы глубин, м | Группы метаморфизма     |                                  |                                  |                                  |                                  |                                 |                          |
|---------------------|-------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
|                     | 1-я                     | 2-я                              | 3-я                              | 4-я                              | 5-я                              | 6-я                             | 7-я                      |
|                     | $V^{\text{daf}} > 35\%$ | $V^{\text{daf}} = 35,0 - 29,1\%$ | $V^{\text{daf}} = 29,0 - 25,1\%$ | $V^{\text{daf}} = 25,0 - 18,1\%$ | $V^{\text{daf}} = 18,0 - 13,1\%$ | $V^{\text{daf}} = 13,0 - 9,1\%$ | $V^{\text{daf}} < 9,0\%$ |
| 150–300             |                         |                                  |                                  | 21                               |                                  | 17                              | 300                      |
| 301–600             | 170                     | 227                              | 240                              | 1530                             | 980                              | 900                             | 1084                     |
| 601–900             | 80                      | 1510                             | 1700                             | 1300                             | 2000                             | 1360                            | 215                      |
| свыше 900           |                         | 490                              |                                  | 750                              | 265                              |                                 | 6                        |

### Выводы

В результате выполненного статистического анализа установлены: а) два максимума в изменении количества внезапных выбросов угля и газа –  $N_{\text{в}}$  в ряду метаморфизма (группы 2 и 4); б) два максимума в изменении средневзвешенных значений  $Q_{\text{уг}}^{\text{взв}}$ , т выброшенного угля в ряду метаморфизма (группы 3;7); в). Установлено, что с ростом глубины разработки угольных пластов в группах 2, 3, 4, 5 и 6 наблюдается увеличение средней интенсивности выброшенного угля –  $Q_{\text{уг}}^{\text{сп}}$ . Впервые установлено, что внезапные выбросы угля и газа с интенсивностью выброшенного угля  $Q_{\text{уг}}$  свыше 900 т происходят: а) в группах 2 и 3 на глубинах более 600 м; б) в группах 4, 5, 6 и 7 на глубинах более 300 м.

### Список литературы

1. Минеев С.П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: [монография] / С.П. Минеев, А.А. Рубинский, О.В. Витушко, А.Г. Радченко // Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010.– 603 с.
2. Выбросы угля, породы в шахтах Донбасса в 1906 – 2007 гг., справочник / Н.Е. Волошин, Л.А. Вайнштейн, А.М. Брюханов [и др.] – Донецк: СПД Дмитренко, 2008.– 920 с.

## О ВЛИЯНИИ ВЗРЫВОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Добрынин А.А.<sup>1</sup>, Добрынин И.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Современная научно-технологическая академия» (АНО ДПО «СНТА»)

<sup>2</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Газпром георесурс» (ООО «Газпром георесурс»)

Остановить глобальное потепление уже невозможно, отмечают исследователи, но мир должен сделать усилие и сдержать его на уровне не выше 1,5°C по сравнению с доиндустриальной эпохой. Этого порога Земля может достигнуть уже в 2030 г. Если температура продолжит расти, то Землю ожидают потери экосистем и катаклизмы планетарного масштаба [1].

Результатом воздействия экологических аспектов на окружающую среду являются запыление и загрязнение атмосферы рабочей зоны карьера и прилегающих территорий [2].

Крупными источниками пыли и ядовитых газов являются массовые взрывы на карьерах. Например, на предприятиях компании «Металлоинвест» – Лебединском и Михайловском горно-обогатительных комбинатах – ежегодный суммарный объем взрывных работ превышает 70 млн м<sup>3</sup>. Количество одновременно взрывааемых взрывчатых веществ (ВВ) составляет сотни тысяч тонн. Так, в 2015 г. на Лебединском ГОКе был произведен массовый взрыв с расходом ВВ 3155,2 т, а на Михайловском ГОКе – с расходом ВВ 2704,6 т [3]. Крупные массовые взрывы в карьерах названных ГОКов проводятся один раз в три-четыре недели. И хотя более частое производство небольших по массе взрывов ВВ наносит окружающей среде гораздо меньший урон, вряд ли на этих и на других горнодобывающих предприятиях будут что-то предпринимать в ущерб собственной экономике, прежде всего из-за простоев оборудования большой единичной мощности на время проведения взрывных работ. По мнению Г.Л. Подвойского, «одна из главных причин, почему наша природа сейчас оказалась в столь опасном положении, как раз в том, что корпорации, действуя самостоятельно, не выполняют свои социальные обязательства. Без эффективного регулирования и реальных платежей за загрязнение природы у нас не будет никаких причин надеяться на то, что эти корпорации начнут вести себя иначе, чем сейчас» [4].

Качество ВВ, самостоятельно изготавливаемых многими горными предприятиями, находится на низком уровне. Например, о каком качестве ANFO и продуктах его взрыва на карьерах УК «Металлоинвест» можно говорить, если в статье о совершенствовании взрывных работ представители компании сообщают, что у них «исключено использование дорогостоящей пористой аммиачной селитры в ANFO» [5]. Возможно, именно поэтому можно даже визуально – по фотографии, представленной в статье – констатировать в продуктах массового взрыва присутствие большое количество оксидов азота.

Наиболее распространенные токсичные газы, которые могут образовываться при взрывах плотнее воздуха, т. е. после взрыва они могут надолго задерживаться и накапливаться в нижних частях карьера, что, например, подтверждено результатами анализа данных спутникового мониторинга окружающей природной среды, разрабатываемого открытым способом Олимпиадинского месторождения [6].

При этом, по результатам проверок Ростехнадзор отмечает отсутствие в необходимом количестве средств индивидуальной защиты у работников и нефинансирование мероприятий по улучшению условий и охраны труда [7]. В большинстве случаев за нормативные 30 мин. концентрация токсичных газов и пыли в карьерах, которые в основном находятся ниже окружающей поверхности земли, не снижается до ПДК, а люди в этих условиях уже приступают к работе.

По данным ВОЗ (2017) в России от загрязнения воздуха ежегодно преждевременно умирают более 140 тыс. человек, что составляет около 5 % общего числа погибающих в мире (3 млн чел.), т. е. один из каждой тысячи российских граждан. Возможно, в таких удручающих результатах есть вина и горных предприятий потому, что здесь до сих пор применяются несбалансированные по кислородному балансу, грубодисперсные ВВ.

Известно, что из всех классов промышленных ВВ наиболее близкий контакт компонентов в жидких взрывчатых растворах (ЖВР), поэтому не исключено, что у данного класса ВВ в будущем могут открыться неплохие перспективы и, возможно, поэтому в течение последних лет в мире растет интерес ученых к вопросам исследования и практического внедрения в промышленность ЖВР [8-10]. Исследование ЖВР актуально, т.к. они, по сравнению с другими классами ВВ, имеют следующие неоспоримые преимущества:

- не сложный процесс изготовления стехиометрических составов на местах применения из невзрывчатых компонентов;
- высокие энергетические характеристики, значительно превосходящие характеристики многих современных промышленных ВВ;

- достаточно большая плотность получаемых ВВ;
- инициирование ЖВР возможно без применения опасных в обращении средств инициирования заводского изготовления, в состав которых входят инициирующие ВВ и/или ВВ, близкие к ним по чувствительности;
- не требуются специальные склады для хранения взрывчатых материалов (ВМ);
- снижение уровня безопасности погрузочно-разгрузочных операций и затрат на их организацию и выполнение;
- не требуется специальная вооруженная охрана для сопровождения ВМ заводского изготовления на всех этапах их транспортировки и обращения, начиная с химического завода до склада ВМ удаленного предприятия и объекта производства взрывных работ;
- упрощаются требования по перевозке груза, так как он уже не является взрывчатым и для него не нужен специальный транспорт; при этом отказ от перевозок ВМ существенно повышает защищенность общества в связи с возможной аварией с последующим несанкционированным взрывом ВМ, а также от террористической угрозы из-за возможной кражи готовых ВМ, диверсии или т.п. на любом из этапов обращения ВМ;
- возможность изготовления оперативно, ко времени, в полевых условиях небольших партий ЖВР из невзрывчатых компонентов открывает перспективу освоения мелких и/или удаленных месторождений полезных ископаемых, а также объектов строительства.

Данный класс ВВ интересен еще и с точки зрения развития перспективных технологий в горном деле, так как ЖВР, обладая хорошей текучестью, способны самотеком легко заполнять оболочки под заряды ВВ практически любой формы, что создает реальные предпосылки для возможности роботизации подобных, достаточно опасных процессов.

В заключение отметим, что техника и технологии XXI в. позволяют уйти от применения в горном деле несбалансированных ВВ 1-го класса – непригодных ВВ для взрывания только на земной поверхности [11]. Сегодня промышленность вполне может быть обеспечена ВВ со стехиометрическим соотношением компонентов в его составе, а следовательно, атмосфера на горных предприятиях и прилегающей территории может стать значительно чище.

### Список литературы

1. IPCC, 2018: Special Report Global Warming of 1.5 C. Available at: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/R15\\_SPM\\_version\\_stand\\_alone\\_LR.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/R15_SPM_version_stand_alone_LR.pdf).

2. Добрынин А.А. Взрывы промышленных ВВ – значимый экологический аспект // Рациональное освоение недр, 2019, № 1, с. 64-72.

3. Состояние и перспективы развития комплекса буровзрывных работ на предприятиях ООО УК «Металлоинвест» / А.А.Угаров О.Ю. Михайлов, Р.И. Исмагилов, Б.П. Бадтиев // Горный журнал. 2017. № 5. С. 102–106.

4. Подвойский Г.Л. ДАВОС-2018: Глобализация меняет лицо // Гуманитарные науки. Вестник Финансового университета. 2018. № 3. С. 50–58.

5. Совершенствование горных и взрывных работ в компании «Металлоинвест» / А.А. Угаров, О.Ю. Михайлов, С.И. Кретов, Р. И. Исмагилов, Б.П. Бадтиев // Горная Промышленность. 2018. № 3(139). С. 9–14.

6. Спутниковый мониторинг природной среды при открытой разработке Олимпиадинского золоторудного месторождения / Г.В. Калабин, Т.И. Моисеенко, В.И. Горный, С.Г. Крицук, А.В.Соромотин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. № 1. С. 177–184.

7. Выводы и предложения по результатам государственного контроля (надзора) // Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. 2015. № 4(79). С. 26.

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

9. Fullelove, I., Araos, M. and Onederra, I. (2017). Detonation performance of novel hydrogen peroxide and nitrate based hybrid explosives. In: R. Holmberg, Proceedings of 9th EFEE World Conference on Explosives and Blasting, 9th EFEE World Conference on Explosives and Blasting, Stockholm, Sweden, (197-208). 10 – 12 September, 2017.

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

11. О безопасности взрывчатых веществ и изделий на их основе: Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 028/2012: Приложение 1. Классы и группы взрывчатых веществ и условия их применения.

## АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПОЧВУ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Стефунько М.С.

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

Тяжелые металлы являются высокотоксичными поллютантами для природных экосистем, в том числе и гидросферы. Отличительной чертой тяжелых металлов является высокая биохимическая и физиологическая активность, способность не только аккумулироваться в различных средах, растениях и живых организмах, но и распространяться по пищевым цепочкам. В районах горнорудного техногенеза загрязнение

почв осуществляется преимущественно аэрогенным путем за счет массовых взрывных работ в карьерах, в меньшей степени – дефляции с отвалов, в процессе транспортировки руд и их переработки. В непосредственной близости от отвалов почвы дополнительно загрязняются инфильтрацией. Воздействие минерализованных вод на почвенный покров прилегающей к месторождению местности может привести к деградации растительного сообщества и нарушению экологической системы.

В качестве территории исследования выбран Сибайский горно-промышленный район. Почвы г.Сибай являются смешанными Литосолями и Черноземами обыкновенные – 77% (pH<4,5), Черноземы обыкновенными – 23% .( pH 6,0-7,0) [1]

Характерными загрязнителями для региона г.Сибай являются цинк, медь, кобальт, кадмий, свинец, марганец, никель, железо (таблица 1). Тяжелые металлы – это группа наиболее распространенных и опасных для биоты минеральных загрязняющих веществ. Загрязнение почвы тяжелыми металлами вызывает снижение продуктивности сельскохозяйственных культур. Медь является необходимым элементом для всех высших растений и животных. При избытке меди наблюдается проявление симптомов отравления растений (фитотоксичность). Это хлороз молодых листьев, при этом, жилки остаются зелеными; хлороз нижних листьев. Последний сопровождается появлением коричневой пятнистости и опадением листьев. Большинство растительных генотипов и видов обладает высокой степенью приспособляемости к избыточным

Таблица 1– Нормирование тяжелых металлов в почвах

| металл   | Валовое содержание в изучаемых почвах, мг/кг [2] | ОДК, мг/кг Кислые почвы, pH КС1 < 5,5; [4] | Содержание подвижных форм, мг/кг [2] | ПДК подвижных форм, мг/кг [3] | Класс опасности |
|----------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Медь     | 25,9-157,5                                       | 33                                         | 6,4-73,5                             | 3                             | 3               |
| Кобальт  | <b>10,5-20,1</b>                                 | -                                          | <b>1,9-3,7</b>                       | 5                             | 2               |
| Железо   | 25641,44                                         | -                                          | 697-3921                             | -                             | 4               |
| Марганец | 907-1354                                         | -                                          | 132,1-268,5                          | 700                           | 4               |
| Свинец   | 9,8-33,3                                         | 65                                         | 0-5,3                                | 6                             | 2               |
| Никель   | <b>28,3-41,6</b>                                 | <b>40</b>                                  | <b>6,3-13,6</b>                      | 4                             | 3               |
| Цинк     | 104,0-583,2                                      | 110                                        | 15,8-88,2                            | 23                            | 3               |
| Кадмий   | 2,7-5,2                                          | 1                                          | 0-0,9                                | -                             | 2               |

значениям цинка. Обычные симптомы переизбытка цинка – хлороз, особенно у молодых листьев, и замедление роста растений. В целом избыток закисных соединений железа отрицательно влияет на рост растений. Переизбыток марганца приводит к угнетению и даже гибели растений.

В почвенном покрове в черте г. Сибай отмечено повышенное валовое содержание Cu, Co, Pb, Zn и Cd, а также повышенный уровень подвижных форм Cu, Fe, Ni, Cd, Zn. По показателю  $Z_c$  уровень загрязненности почвы относится к высокоопасной и умеренно опасной категории.

По данным [5], емкость почв, характерных для Башкирии по металлам в зависимости от глубины залегания почвенного горизонта составляет от 18 до 34, 0 моль экв/кг. В среднем 26 моль экв/кг. Произведем несложные вычисления. Примем плотность почвогрунта  $1,5 \text{ г/дм}^3$  ( $1,4...1,6 \text{ г/см}^3$  – типичная плотность почв подпахотного горизонта). Следовательно в  $1 \text{ дм}^3$  почвы одновременно может аккумулироваться в среднем 39 моль экв. катионов, то есть в пересчете на ион железа (II) 1092 мг, или 1,1 гр. В минерализованных водах, такое количество токсичных тяжелых металлов приходится на  $1-100 \text{ дм}^3$  соответственно подтальных и рудничных вод. То есть при глубине почвенного горизонта 20 см почва на  $1 \text{ м}^2$  площади исчерпает свой буферный ресурс при инфильтрации через этот слой от 0,1 до  $10 \text{ м}^3$  загрязненных вод. После чего следующие порции фильтрующейся воды будут вымывать эти металлы, перенося их ниже или дальше по направлению от отвалов. В зоне депрессионной воронки загрязненная вода будет фильтроваться через стенки земляных водоотводных канав, транспортируя токсичные металлы на значительное расстояние в обе стороны от потока. В почвах тяжелые металлы присутствуют в водорастворимой, ионообменной и непрочно адсорбированной формах. Тяжелые металлы являются протоплазматическими ядами. По мере увеличения атомной массы их токсичность возрастает.

Для снижения концентрации подвижных форм тяжелых металлов наиболее эффективным является известкование кислых почв для увеличения pH. В связывании кадмия ведущим процессом является конкурирующая адсорбция на глинах [6], именно адсорбция, а не осаждение контролирует концентрацию кадмия в почвенных растворах выше величины pH 7,5. Нейтральные или содержащие карбонаты почвы поглощают тяжелые металлы из растворов в большей степени, чем кислые почвы. Карбонатные, богатые кальцием почвы лучше сорбируют тяжелые металлы, при этом ион кадмия образует малоустойчивые комплексы.

Для уменьшения поглощаемости растениями металлов возможно применение следующих мер:

- использование щелочного карбонатного геохимического барьера.
- применение хелатообразующих реагентов. При этом металлы переходят в лабильную форму и опускаются в почву на уровень ниже корневой системы. Но использование комплексообразующих реагентов приводит к загрязнению подземных вод.
- удаление загрязненного слоя
- для снижения биодоступности кадмия возможна насыпка поверх зараженной почвы слоя незараженной почвы толщиной 30 см.

### Список литературы

1. Электронный ресурс <http://национальныйатлас.рф>
2. Семенова И.Н., Ильбулова Г.Р. Оценка загрязнения почвенного покрова г. Сибай республики Башкортостан тяжелыми металлами // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 8-3. – С. 491-495;
3. ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве», утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 19 января 2006 года.
4. ГН 2.1.7.2511-09. «Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы»
5. Фридланд В.М., Носин В.А., Лебедева И.И. Черноземы СССР. Поволжье и Предуралье. – Москва: Колос, 1978. — 305 с.
6. В.Д. Утехиным «Первичная биологическая продуктивность лесостепных экосистем» М.: Наука, 1977. – 144 с.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ ГАЗА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В КОТ Д'ИВУАРЕ

Мупегну Нзусси К.Г.<sup>1</sup>, Moupegnou Cedric – De Felixandrin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, РФ,

<sup>2</sup>Université Tertiaire & Technologique LOKO  
Koumassi Zone 4C Rue G 195 Benjamin Franklin, Abidjan,  
Côte d'Ivoire

### Введение

Настоящее исследование воздействия на окружающую среду и социальное воздействие (EIES – Etude d'impact Environnemental et Social) касается проекта по прокладке двух новых трубопроводов (газопровода

и нефтепровода), проходящих через канал VRIDI, в рамках создания потенциала и стабилизации системы транспортировки природного газа FOXTROT International. Действительно, этот проект позволит FOXTROT International, которая производит около 70% природного газа из Республики Кот-Д'Ивуар, иметь эффективную и безопасную систему регулярной подачи природного газа из установок CIPREL, CIE и AGGREKO для отечественного производства электроэнергии. Таким образом, EIES осуществлялась компанией NEXON Consulting в соответствии с положениями природоохранного Кодекса Республики Кот-Д'Ивуар и в строгом соответствии с действующими правилами охраны окружающей среды.

1. Проект магистральных трубопроводов

Проект расположен в районе порта VRIDI. Местом реализации проекта является канал VRIDI с осадкой 12м и осадкой 11,8 м. График, показанный на рис.1, показывает, соответственно, маршрут трубопроводов по земной части и обрыв канала VRIDI. GPS – координаты маршрута указаны в таблице 1.



Рис 1. Аэрофотоснимок трубопровода

Таблица 1 – GPS–координаты точек

| ТОЧКИ                         | Координаты GPS в UTM |            |
|-------------------------------|----------------------|------------|
| Пункт 1: отправная точка      | X= 0388275           | Y= 0581146 |
| Пункт 2: точка выхода FHD     | X= 0387874           | Y= 0580682 |
| Пункт 3: конечная точка Земли | X= 0387617           | Y= 0580245 |

Пункт 1: начальная точка горизонтального направленного бурения (FHD)

Начальная точка магистрали находится более чем в 100 м от восточного берега канала VRIDI. Этот пункт представляет начало направленного горизонтального бурения (FHD), расположен в корпусе CIE. Этот сайт будет организован в качестве безопасной строительной площадки для выполнения работ с согласия должностных лиц CIE. Подземный трубопровод будет проходить между двумя высоковольтными пилонами. С этого момента пересечение канала VRIDI будет подземным, на глубине более 25 м ниже дна канала под ковриком. Переговоры между CIE и Foxtrot позволяют безопасно выполнять работы в зоне влияния пилонов.

Пункт 2: точка выхода или точка падения горизонтального направленного бурения (FHD)

Точка выхода горизонтального бурения, направленная на Западный берег канала VRIDI, расположена более чем в 200 м от русла канала. Этот сайт также будет организован как безопасная строительная площадка для выполнения работ. В этом районе нет жилья. Начиная с пункт 2, трубопроводы будут захоронены на средней глубине 1,20 м на траншею, чтобы добраться до пункт 3, где находится станция VRIDI West FOXTROT. Длина укладки трубопроводов траншеи оценивается примерно в 800 м. Участок двух новых трубопроводов расположен в 10 м от существующих трубопроводов. По завершении работ по прокладке трубопроводов оба объекта, которые служили верфями для выполнения работ, будут полностью восстановлены. Для этого будет составлен протокол о состоянии обоих участков до и после работ. В этом протоколе будет представлено первоначальное состояние окружающей среды до начала работ и состояние окружающей среды после проекта.

2. Необходимость и обоснование проекта

Потребности в природном газе для тепловых и промышленных электростанций VRIDI оцениваются в 200 млн. м<sup>3</sup> на сутки. Значения потребностей в природном газе для тепловых и промышленных электростанций в VRIDI указаны в таблице 2.

**Таблица 2 – Стоимость потребностей в природном газе для тепловых и промышленных электростанций**

| Тепловые и промышленные электростанции | Количество природного газа в м <sup>3</sup> на сутки |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------|
| CIPREL                                 | 90 (+ 30 в 2014 г.)                                  |
| CIE                                    | 28                                                   |
| AGGREKO                                | 17 (+ 10 в последнем 2012 г.)                        |
| SIR, PETROCI                           | 25                                                   |
| <b>Итого</b>                           | <b>200</b>                                           |

На сегодняшний день газоснабжение электростанций VRIDI обеспечивается двумя газопроводами, в том числе:

- Один (1) Газопровод 12"(дюймы) FOXTROT Международной мощностью 105 млн. м<sup>3</sup> на сутки давление поставки, и
- Один (1) газопровод 14" (дюймы) AFREN с емкостью 110 млн. м<sup>3</sup> на сутки к давлениям доставки.

Оба газопроводы имеют общую мощность подачи 215 млн. м<sup>3</sup> на сутки природного газа. Соотношение между объемом произведенного и потребляемого природного газа позволяет сделать вывод о том, что объем поставляемого природного газа в значительной степени равен количеству потребляемого природного газа или иным образом предложение природного газа в значительной степени равно спросу на природный газ. Из этого анализа следует, что в случае повреждения или работы по одному из действующих в настоящее время трубопроводов некоторые тепловые или промышленные электростанции будут лишены природного газа. Таким образом, прекращение поставок тепловых или промышленных газовых электростанций приведет к истощению примерно 70% электроэнергии в Кот-Д'Ивуаре, а промышленная неисправность, а также больницы, домашние хозяйства. Это будет национальной катастрофой. Строительство нового трубопровода (газопровод 14") позволит: повышение безопасности газотранспортных мощностей, которые увеличатся более чем на 300 млн. м<sup>3</sup> на сутки с проектом MARLIN от FOXTROT International (2014–2015г.); надежность системы транспортировки природного газа и жидких углеводородов; иметь эффективную систему регулярного газоснабжения установок CIPREL, CIE, AGGREKO для производства электроэнергии. Таким образом, установка дополнительного газопровода позволит различным электростанциям VRIDI получать достаточное количество природного газа даже в случае выхода из строя одного из трубопроводов.

### **3. Оценка химического воздействия объектов транспорта и хранения газа на окружающую среду**

Основные источники выбросов – компрессорные станции (КС), газораспределительные пункты (ГРП), скважины и котельные. Постоянных выбросов природного газа в атмосферу на ПХГ нет, они носят эпизодический характер и определяются режимом работы топливоиспользующих оборудования. На некоторых ПХГ наблюдают небольшие утечки газа на некоторых скважинах (от 4 до 22 мг/м<sup>3</sup>). Потери природного газа в атмосферу для различных хранилищ находятся в интервале 0,7-3% активного объема. При этом соотношение потерь газа от организованных и неорганизованных источников выбросов составляют 1:1,5. Воздействуют на литосферу, загрязняющие вещества в незначительных количествах вызывают деградацию почвы и другие необратимые явления. Основными операциями, связанными с выбросами природного газа и продуктов его сгорания в атмосферу, являются продувки, стравливание газа, а также его сжигание в камерах технологического оборудования. На компрессорных станциях не исключают возможность аварийных и залповых выбросов.

#### **Выводы**

При коррозионных повреждениях трубопроводов наиболее вероятны небольшие утечки. При авариях, обусловленных воздействием внешних сил, наиболее вероятны крупные утечки. Для оценки и анализа экологических нагрузок на окружающую среду, вызывают утечками трубопроводов необходимо разработать методику прогнозирования объемов утечек. Совокупность магистральных трубопроводов, компрессорных станций, газодобывающих предприятий, подземных хранилищ, установок для покрытия пиковых и аварийных нагрузок, которые вместе образуют сеть, имеют достаточно сложную топологическую структуру. Схемы газопроводных систем могут быть самыми различными, сводятся в простейшем случае к системам.

#### **Список литературы**

1. Экологическая оценка химического воздействия объектов транспорта и хранения газа на окружающую среду, Дедиков Евгений Васильевич, 1998 г.
2. Etude d'impact environnemental et social, projet de pose de pipelines traversant le canal de VRIDI, FOXTROT International

## АНАЛИЗ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Добуш В.С, Бельский А.А.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

Для выбора структуры и основных параметров автономных систем электроснабжения на основе ветроэлектрических установок (ВЭУ) необходимо учитывать динамические режимы работы данных систем. Для адекватного решения подобного рода задач необходимо использовать динамическую модель ветра при выполнении компьютерного моделирования работы электротехнических комплексов на основе ВЭУ.

Метеорологические модели ветра являются сложными и избыточными. Поскольку наиболее применяемый тип ВЭУ — трехлопастная с горизонтальной осью вращения ветроколеса, то наибольший интерес представляет задача моделирования продольной составляющей скорости ветра.

Целью данной работы является анализ выполненных ветроэнергетических измерений для определения шага дискретизации по времени продольной составляющей скорости ветра с учетом дальнейшего создания компьютерной модели динамического режима работы ВЭУ.

В качестве объекта исследования выступала автономная ВЭУ «Бриз», расположенная на территории опытно-экспериментального полигона Санкт-Петербургского горного университета (см. рис. 1а) [1]. Скорость ветра в месте установки ВЭУ фиксировалась с помощью анеморумбометра «Ветромер-1» (см. рис. 1б).

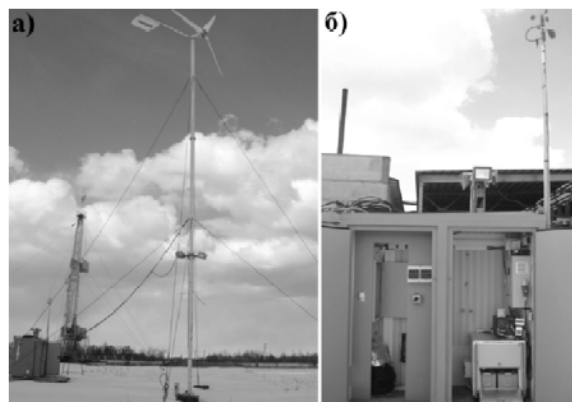


Рис. 1. ВЭУ (а) и контейнер с оборудованием и анеморумбометром (б)

С помощью измерительного комплекса и программного обеспечения осуществлялась автоматическая фиксация скорости ветра (рис. 2а) и мощности генерации ВЭУ (рис. 2б). Был собран массив данных из 10,5 млн. точек по каждому из двух измеряемых параметров. Измерения производились и фиксировались с частотой 24 раза в минуту в течение 304 дней (10 месяцев).

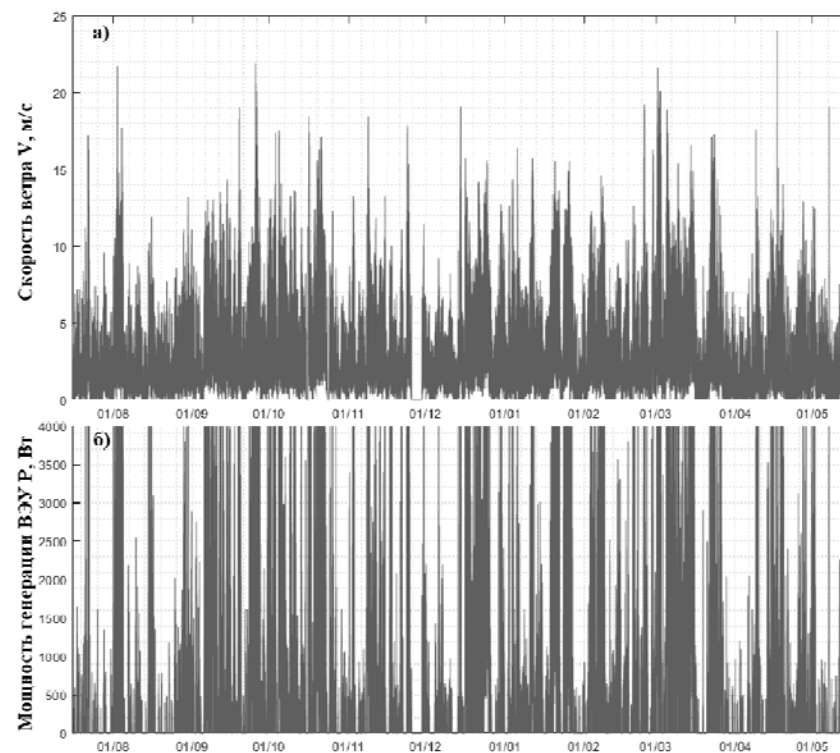


Рис. 2. Данные по скорости ветра (а) и мощности генерации ВЭУ (б)

Используя экспериментальные данные, был получен энергетический спектр продольной составляющей скорости ветра (см. рис. 3). Форма, полученного спектра, совпадает со спектральным распределением впервые установленным Ван дер Ховеном (Isaac Van der Hoven) в 1956 году в ходе метеорологических исследований на башне Брукхейвенской национальной лаборатории [2]. Исходя из полученного графика установлено, что период с минимальными колебаниями скорости ветра составляет 3,3...20,8 мин. Таким образом шаг дискретизации по време-

ни продольной составляющей скорости ветра с учетом дальнейшего создания компьютерной модели динамического режима работы ВЭУ целесообразно принять равным 12 минутам.

Из полученных характеристик следует, что в реальных условиях, вырабатываемое ВЭУ количество электроэнергии составило 4091 кВт·ч за 10 месяцев измерений (304 дня), а коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) равен 14,02%. При выполнении осреднения на интервале 12 мин. теоретическая выработка ВЭУ составляет 3913 кВт·ч, а КИУМ равен 13,41%. Также была выполнена аппроксимация повторяемости скоростей ветра на территории опытно-экспериментального полигона университета с помощью распределения Вейбулла:  $A=2,86$  (параметр масштаба),  $B=1,34$  (параметр формы).

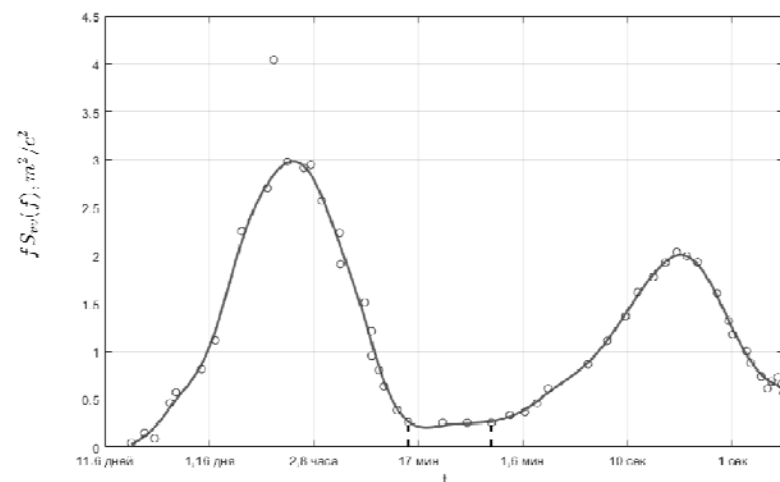


**Рис. 3. Энергетический спектр продольной составляющей скорости ветра, построенный по экспериментальным данным**

Таким образом в ходе проведенного исследования было установлено, что шаг дискретизации по времени продольной составляющей скорости ветра с учетом дальнейшего создания компьютерной модели динамического режима работы ВЭУ целесообразно принять равным 12 минутам, что ведет к уменьшению точности вычислений менее чем на 5%, но значительно сокращает количество данных при моделировании (примерно в 300 раз).

*Данное исследование было профинансировано РФФИ в соответствии с исследовательским проектом №18-38-00530.*

## Список литературы

1. Belsky A.A., Dobush V.S. Small wind-driven power plant operating experience. IOP Conf. Series: MSE, 2019. Vol.489, 012013, pp. 1–6.
2. Isaac Van der Hoven. Power spectrum of horizontal wind speed in the frequency range from 0.0007 to 900 cycles per hour. Journal of Meteorology. Vol. 14, pp. 160–164.

## КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗА ИЗМЕНЕНИЕМ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ КАЗАХСТАНСКОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Кыргизбаева Г.<sup>1</sup>, Левин Е.<sup>2</sup>, Рахимбаева Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Satbayev University, г.Алматы, Республика Казахстан*

<sup>2</sup>*Мичиганский технологический университет, г.Хаутон, США*

В современной картографии последовательно усиливается внимание ко всему кругу вопросов, имеющих отношение к динамике геодезических систем. Изучение динамических явлений позволяет улавливать закономерности эволюции геосистем, прогнозировать ход некоторых процессов, находить новые качественные взаимосвязи между компонентами геосистем. «Понятие о динамике геосистем целесообразно ограничить представлением о движениях ее переменных состояний, подчиненных одному инварианту...». В ходе непрерывных динамических изменений в геосистеме постепенно формируются новообразования, которые ведут к ее трансформации в плане исторического развития. В.Б.Сочава [1] считает, что процесс исторического развития географических явлений может рассматриваться как закономерная смена динамических структур, при которой сохраняются генетические связи.

Уникальный природный водоем планеты – Каспийское море, занимает крупную и глубокую материковую депрессию в пределах самой обширной в Евразии области внутреннего стока. Казахская часть Прикаспия относится к северо-восточному побережью Каспийского моря и захватывает юго-восточную часть Прикаспийской низменности.

В XX столетии отмечено два экстремальных явления уровня Каспийского моря, имеющие фатальные последствия для населения прибрежных стран – аномально продолжительное падение уровня в период с 1930 по 1977 г. и вслед за этим аномально продолжительный подъем с 1978 по 1995 год [2].

По причине понижения или повышения уровня воды происходит эволюция воды. Понижение уровня моря привело к коренному переформированию берегов и опустыниванию прибрежных территорий, обусловило снижение уровня грунтовых вод, сопровождалось значительными изменениями экосистемы Каспия и сильно отразилось на эффективности работы морского флота и рыбного хозяйства, особенно в мелководной северной части моря. Динамика изменения береговой линии анализировалась по результатам данных космических снимков в период с 1995 по 2015 года, как показано на (рис.1). Если взять в сравнение 4 разновременных снимка, можно увидеть, что значительные изменения береговой линии выявлены в северной части Каспийского моря.

Полученные данные со снимков дают возможность прогнозировать последствия экологических и экономических бедствий. В настоящее время получение достоверной информации об объекте позволяет выбрать способ оперативного предупреждения чрезвычайных ситуаций, а также методов сбора информации о состоянии интересующей территории (страны, края, города), необходимой для принятия правильных и своевременных управленческих решений.



**Рис. 1. Динамика береговой линии Каспийского моря, по данным космических снимков Landsat 8, с 1995 по 2015 гг.**

Многолетние колебания уровня отражают широкий спектр естественных природных и антропогенных процессов, происходящих не только в самом море и на его водосборе, но и далеко за их пределами. При колебаниях уровня моря наблюдается изменения характера развития геосистем и ландшафтов [3].

Существующие на сегодняшний день в Каспийском регионе системы мониторингов состояния окружающей среды и ее ресурсов требуют усовершенствования. В регионе отсутствует единая система сбора, оценки и анализа результатов мониторинга окружающей среды, что не позволяет увидеть общую картину состояния природной среды и их пространственного распределения.

Научно-прикладные исследования будут проводиться на основе использования традиционных (полевые, лабораторные, статистические обработки, моделирование и т.д.) и инновационных методик, таких как ГИС-технология и дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ). Использование дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) позволяет дистанционно определять множество характеристик окружающей среды, без соприкосновения с объектом исследования. Развитие автоматизированных систем проектирования, а также возрастающая необходимость решения инженерно-геодезических задач все в более короткие сроки в различных отраслях народного хозяйства обуславливают необходимость внедрения и использования космической съемки для инженерного назначения [4].

Возникает необходимость создания единой информационно-аналитической системы сбора, обработки, оценки, анализа, визуализации и хранения информации по состоянию окружающей среды прилегающей акватории Каспийского моря. При этом система должна опираться на ГИС-технологии, ДЗЗ-технологии и СУБД. Такая система позволит выработать меры по охране окружающей природной среды, по сохранению биоразнообразия, по обеспечению безопасности населения от природных и техногенных угроз, по оптимизации природопользования и т.д.[5].

Таким образом, значение космического мониторинга за изменением береговой линии водоема выходит далеко за рамки собственно определения площадей акватории, поскольку они используются для расчета других неизвестных характеристик водоема. Космические снимки позволяют проследить и за изменениями в береговой зоне, а также на осушенном дне моря, что представляет особый интерес для экологии.

## Список литературы

1. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск, Наука, 1978, 319с.
2. Мониторинг геосферных процессов казахстанской части Каспия. Т.Ж. Ергалиевэд.изд. Научные статьи Казахстана <https://articlekz.com/>
3. Экологические и мониторинговые исследования окружающей среды северо-восточного Каспия: – эл.изд.,2018 -www.ncos.kz
4. Концепция комплексной программы научно-прикладных исследований Каспийского моря и побережья в пределах Атырауской и Мангистауской областей.: Доклад/Сарсенбай Н.А.
5. Рахимбаева Д., Кыргызбаева Г.М. Состояние изученности изменения динамики береговой линии Каспийского моря// Горный журнал Казахстана. 2019. №9. –С.18-22.

## К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН КАК СПОСОБА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВНЕЗАПНОГО ВЫБРОСА УГЛЯ И ГАЗА

Шонтаев А.Д., Исабек Т.К.

*Карагандинский государственный технический университет  
(г.Караганда, Казахстан)*

Одним из сложных и опасных газодинамических явлений является внезапный выброс угля и газа. Несмотря на выполненный согласно действующей инструкции [1] объём противовыбросных мероприятий, 2 июня 2008 года на шахте «Тентекская» УД АО «Арселор Миттал Темиртау» произошёл мощный внезапный выброс угля и газа, в результате которого было выброшено 414085 м<sup>3</sup> метана и 1087 тонн угля [2]. Этот факт подтверждает необходимость разработки и применения более надёжных методов прогнозирования выбросоопасности угольных пластов и способов их предотвращения.

На шахтах Карагандинского угольного бассейна в настоящее время основным способом борьбы с газодинамическими явлениями как при вскрытии пластов, так и при проведении в них горных выработок является бурение дегазационных (опережающих или газодренажных) скважин. Данные свидетельствуют об опасности применения, особенно в зонах геологических нарушений, вышеуказанного способа, так как сам процесс бурения в предполагаемой безопасной зоне пласта может инициировать выбросы и последние могут появиться даже в обработанной (защищённой) скважинами участках пласта.

Исследуем эффективность вышеуказанного способа предотвращения внезапных выбросов угля и газа с позиции снижения газового фактора на вероятность их возникновения. Метан в угле может находиться в свободном состоянии в трещинах и порах и сорбированном. Под последним понимается газ адсорбированный (сгущённый в виде «плёнки» на поверхности твёрдого вещества угля) и абсорбированный (в виде твёрдого раствора в угле) и хемосорбированный (находящийся в частично обратимой химической связи с углем). Количество последнего не играет существенной роли в общем объёме сорбированного газа. При абсорбции к системе «метан-уголь» применимо понятие «твёрдого раствора внедрения», причём внедрившиеся в объём молекулы газа занимают не пустоты в кристаллической решётке, а вакансии в твёрдом теле. Важно отметить, что при абсорбции газа происходит увеличение объёма угля (разбухание), которое несомненно приводит к снижению его прочностных свойств. Считается [3], что доля газа в свободном и адсорбированном состояниях составляет не более 10% от общего содержания метана в выбросоопасных пластах и основная роль в развязывании выброса отводится газу, находящемуся в растворённом виде.

Действительно, анализ происшедших на шахтах Карагандинского бассейна внезапных выбросов угля и газа показал [2], что количество выделившегося при газодинамическом явлении метана на Промышленном районе составляет от 33,3 до 226, м<sup>3</sup>/т, Саранском участке – от 135 до 607,7 м<sup>3</sup>/т, Шерубай-Нуринском районе – от 72,2 до 391,7 м<sup>3</sup>/т и Тентекском районе – от 40,8 до 859,4 м<sup>3</sup>/т. Приведенные сведения значительно превышают природную газоносность угольных пластов, при определении которого практически не учитывается растворённый в угле газ.

При этом возникает вопрос о причинах усиленного и интенсивного метановыделения при реализации выброса. Возможны следующие варианты ответа, которые в обязательном порядке должны учитывать наличие процесса разрушения угля в пласте.

1. Дезинтеграция угля в виде перемятых или перетёртых в пыль пачек реализована задолго до проведения горной выработки на стадии формирования зон нарушений в результате тектонических подвижек земной коры. Деструкция угля в этих местах сопровождалась интенсивным выделением метана, находящегося в трёх состояниях, и при отсутствии выхода его из этой зоны привела к образованию участков угольного пласта с пониженной прочностью и высоким газосодержанием. Приближение забоя выработки или скважины к такому газовому «мешку» или вскрытие его ими может инициировать возникновение внезапного выброса угля и метана.

2. Разрушение угля связано со скачкообразным изменением напряжённо-деформированного состояния пластов и вмещающих пород, увеличивающим показатель динамичности явления  $K_d = W_{вн} / W_p$  [3]. Чем больше значение  $K_d$ , тем больше вероятность динамического разрушения угля с высокой степенью его измельчения, следовательно больше выделяется газа, в том числе и растворённого в угле.

Приуроченность всех 59 внезапных выбросов угля и газа к геологическим нарушениям на шахтах Карагандинского бассейна, а также моделирование этих явлений в лабораторных условиях свидетельствуют [3] в пользу первого варианта повышенного метаносодержания в тонне выброшенного угля, по сравнению с природной газоносностью угольного пласта. Хотя, безусловно, вскрытие потенциально выбросоопасных зон вблизи забоя выработки или скважины в большинстве случаев не происходит без реализации разрушения пласта по второму варианту.

Поэтому можно констатировать, что наиболее благоприятные зоны для возникновения выбросов появляются там, где в призабойной части горной выработки создаются условия динамического разрушения угольных пластов, а уголь отличается пониженной прочностью, высоким содержанием газа и повышенной скоростью метаноотдачи. Для снижения выбросоопасности пласта при проведении горных выработок необходимо применять способы управления состоянием массива, обеспечивающих квазистатический характер процессов.

Произведём оценку эффективности бурения газодренажных скважин, как способа борьбы с внезапными выбросами угля и газа. Эти скважины в первую очередь направлены на снижение газового фактора в реализации выброса. Но, кроме этого, дегазация пласта вблизи скважин приводит к упрочнению угля, что дополнительно уменьшает вероятность выбросов.

Интенсивное газовыделение наблюдается в процессе бурения скважин за счёт переизмельчения угля, приводящего к усиленному выделению метана, находящемуся в угле в трёх состояниях. После бурения основной приток газа происходит из зоны трещинообразования, образующейся вблизи скважин. Со временем метаноотдача всех скважин постепенно убывает и практически прекращается. Данные свидетельствуют [4] о том, что с течением времени метаноотдача всех дегазационных скважин после их бурения близка к нулю.

Давление газа в контрольных скважинах имеет максимальное значение в первые пять суток, а на двадцатые сутки снижается на 5-15%. Если учесть, что при внезапных выбросах выделяется метана на одну тонну угля, значительно больше природной газоносности угольных пластов, то можно сделать вывод о недостаточной эффективности приме-

нения бурения дегазационных скважин как способа предотвращения внезапных выбросов угля и газа, так как в угольном пласте может оставаться довольно таки много газа. В связи с этим очень низки гарантии, что в выработке, особенно вблизи зон геологических нарушений, после бурения или в процессе бурения дегазационных скважин не произойдёт внезапный выброс. При отсутствии аппаратуры, обеспечивающей дистанционное бурение как разведочных, так и опережающих скважин, данный способ борьбы с внезапными выбросами угля и газа является довольно таки рискованным мероприятием.

### Список литературы

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа // КазНИИБГП: Утв. МЭиУП РК 21.06.1995 года. – Караганда: ДНТИ ГП «Карагандауголь», 1995. – 177 с.
2. Каталог внезапных выбросов угля и газа, происшедших на шахтах Карагандинского бассейна. – Караганда: КазНИИБГП, 2018. – 51 с.
3. Докукин А.В., Айруни А.Т., Эттингер И.И., Большинский М.И., Зверев И. В., Долгова М.О. Борьба с внезапными выбросами угля и газа в шахтах. – М.: Вестник АН СССР, 1984. – № 12. – С.44-45.
4. Антонов А.А. Прогноз и предотвращение внезапных выбросов угля и газа при вскрытии мощных пологих пластов Карагандинского бассейна // Дисс. на соиск. учёной степени канд. техн. наук. – Караганда, 1987.

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ЧУКОТКИ

Кони́на О.Т.<sup>1</sup>, Сандимиров С.С.<sup>2</sup>, Боровичёв Е.А.<sup>2</sup>,  
Урбанавичюс Г.П.<sup>2</sup>, Сухарева Т.А.<sup>2</sup>, Макаров Д.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «Берингпромуголь», Россия, пгт. Беринговский

<sup>2</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера ФГБУН  
ФИЦ «Кольский научный центр РАН», Россия, г. Апатиты

Чукотский автономный округ (ЧАО) – самый северо-восточный субъект РФ, целиком входящий в состав Арктической зоны Российской Федерации. Для ЧАО характерны экстремальные климатические условия, ограниченная транспортная доступность и низкая плотность населения и, в то же время, уникальный ресурсный потенциал минерально-сырьевой базы [1]. Беринговский угольный бассейн на территории ЧАО был открыт еще в 1886 г., а добыча угля производилась с 1940 г. Он отличается широким распространением угольных залежей и их огромными запасами,

низкой зольностью, малым содержанием серы и высокой калорийностью углей, мощными пластами, залегающими на небольшой глубине, в 18 км от существующей дороги и 35 км от морского порта «Беринговский» [1, 2]. Многолетняя деятельность предприятий по добыче и перевалке угля (шахты «Капитальная», «Беринговская», «Нагорная») привела к высокой степени антропогенной нарушенности прилегающих территорий. Целью данной работы была оценка воздействия эксплуатации угольных складов на экосистемы в водоохраной зоне Берингова моря.

Выявлено, что район угольных складов характеризуются практически полным отсутствием почвенно-растительного покрова, нарушением режима подземных вод, увеличением концентрации взвешенных веществ в приземном слое атмосферного воздуха. На территории пгт. Беринговский и вокруг угольных складов сохранились лишь небольшие участки растительности, характерные для нижней части склонов средневысотных гор южных гипоарктических тундр, но существенно обедненные по составу.

Техногенное воздействие на почвенно-растительный покров обследуемой территории оказали: функционирование шахт и поселков, размещение бытового и строительного мусора, эксплуатация морского порта. В результате, на значительных площадях природные почвы практически отсутствуют или представлены техногенными почво-грунтами. В целом можно говорить о высокой степени антропогенной нарушенности территории, являющейся следствием механического нарушения и загрязнения почвенного и растительного покрова. В почвах концентрации тяжелых металлов превышают их фоновые концентрации нередко в десять и более раз.

По содержанию химических элементов в растениях и лишайниках исследуемый район отличается от фоновых территорий. Растительные пробы содержат избыточные концентрации тяжёлых металлов, что в значительной степени обусловлено многолетним влиянием угольных шахт.

Изменение состояния почв и грунтов может оказывать дальнейшее, вторичное воздействие: изменение биогеохимических циклов, нарушения в пищевых цепях (выпадение отдельных звеньев). Поскольку значительная часть территории данной местности подверглась длительному антропогенному воздействию, выраженному в нарушении почвенно-растительного покрова, необходим дальнейший мониторинг ландшафтов, в том числе с целью оценки степени химического загрязнения территории тяжелыми металлами. Рекомендуется заложить постоянные пробные площадки для проведения биогеохимического мониторинга экосистем.

В районе обитает 9 видов (1 лишайник и 8 сосудистых растений), включенных в Красную книгу ЧАО [3]. Причем лишайник Цетрария камчатская внесен в Красную книгу России [4] и был выявлен в ходе настоящих работ, и его находка в окрестностях недействующего пос. Беринговский является новым местонахождением на Чукотке.

Химический состав поверхностных вод (пресных и морских) в исследуемом районе определяется в основном атмосферными выпадениями, выветриванием, химическим выщелачиванием, влиянием подземных вод, а также ионообменными реакциями на площади водосбора. Содержание биогенных элементов и тяжелых металлов в поверхностных водах зависит от антропогенного загрязнения водосборной площади рек и сточных вод пгт. Беринговский.

Интегральная оценка уровня химического загрязнения поверхностных вод по гидрохимическому индексу загрязнения воды свидетельствует: высокие значения ИЗВ в реках определяются концентрациями фосфатов, азота, алюминия, железа и марганца, оцениваемыми по жестким рыбоохранным нормативам и соответствуют классам – грязные, очень грязные и чрезвычайно грязные.

Обоснована целесообразность работ по рекультивации нарушенных территорий, включая биологическую. Рекультивация включает задерновывание и посев трав непосредственно на площадке реконструкции и восстановления нарушенных территорий окружающей тундры. Необходимо восстановление системы водотоков и дренажа территории, а на наиболее обводненных участках формирование дополнительной дренажной системы.

### Список литературы

1. Плакиткина Л. С. Анализ и перспективы развития добычи угля в период до 2035 г. в Чукотском автономном округе // Горная промышленность. 2016. №5 (129). С. 27-33.
2. Андриенко В. И. Месторождение бухты «Угольная» // Уголь. 2001. №9. С. 60-64.
3. Красная книга Российской Федерации (Растения и грибы). М.: Т-во науч. изд. КМК, 2008. 855 с.
4. Красная книга Чукотского автономного округа. Том 2. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений (покрытосеменные, папоротниковидные, плауновидные, мохообразные, лишайники, грибы). / Департамент промышленной и сельскохозяйственной политики Чукотского автономного округа, Институт биологических проблем Севера ДВО РАН. Магадан. 2008. 217 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

|                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Академик РАН Трубецкой К.Н., Милетенко Н.А.</i> Актуальные аспекты безопасного освоения Горовского месторождения.....                                                                                                                                      | 3  |
| <i>Рыльникова М.В., Есина Е.Н., Никифорова И.Л.</i> Специфика и инновационные аспекты подготовки проекта Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов» ..... | 6  |
| <i>Дрибан В.А., Шевченко Е.Н., Дуброва Н.А., Василевский А.М.</i> Новый подход к оценке пустотности подработанного массива при решении задач гидрогеомеханического прогноза .....                                                                             | 10 |
| <i>Добрынин А.А., Добрынин И.А.</i> Сейсмические барьеры при взрывных работах.....                                                                                                                                                                            | 13 |
| <i>Самусев А.Л., Миненко В.Г.</i> Обоснование и разработка оптимальных параметров комбинированных электрохимических и ультразвуковых воздействий при выщелачивании упорного золотосодержащего концентрата.....                                                | 17 |
| <i>Умирбаева А., Нурпеисова М., Левин Е.</i> Создание экологических карт нарушенных земель Семипалатинского ядерного полигона.....                                                                                                                            | 19 |

### ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Анциферов А.В., Иванов Л.А., Туманов В.В., Савченко А.В.</i> О главных геологических факторах газоносности углей..... | 23 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ И РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

|                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Лебедев М.О., Романевич К.В.</i> Особенности работы крепей и обделок транспортных тоннелей после их реконструкции .....                                                                        | 27 |
| <i>Иванов П.Н., Блохин Д.И.</i> Исследование акустоэмиссионных и термомеханических эффектов на различных стадиях деформирования известняка.....                                                   | 30 |
| <i>Мингазов Р.Я., Закалинский В.М., Шиповский И.Е.</i> Исследование методом численного моделирования конструкции скважинного заряда для снижения сейсмического эффекта при взрывных работах ..... | 33 |

405

|                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Камбурова Л.А., Киселев Н.Н.1., Радченко А.Г., Радченко А.А.</i> Роль факторов горного и газового давлений в формировании и проявлении внезапных выбросов угля и газа на шахтах Донбасса .....                                                                                    | 40 |
| <i>Радченко А.Г., Киселев Н.Н., Радченко А.А.</i> Распределение горного давления впереди проводимого очистного забоя .....                                                                                                                                                           | 44 |
| <i>Малинникова Е.В., Пашичев Б.Н.</i> Исследование нарушенности ископаемых углей методом энтропии-сложности.....                                                                                                                                                                     | 47 |
| <i>Максимова Е.А.</i> Оценка условий подработки водозащитной толщи при разработке соляных месторождений .....                                                                                                                                                                        | 51 |
| <i>Кулагина М.А.</i> Уравнение огибающей предельных кругов Мора для горных пород .....                                                                                                                                                                                               | 54 |
| <i>Айнбиндер И.И., Жариков И.Ф., Докучаев М.И.</i> К вопросу оценки главных критериев взрывного рыхления вскрышных пород на карьерах применительно к требованиям эффективной работы комплексов циклично-поточной технологии при ведении буровзрывных работ на больших глубинах ..... | 57 |
| <i>Косырева М.А., Еременко В.А.</i> Моделирование напряженно-деформированного состояния каркасной системы подземного рудника для условий самообрушения руды .....                                                                                                                    | 60 |
| <i>Янбеков А.М., Еременко В.А., Умаров А.Р., Хажыылай Ч.В.</i> Создание полигона для количественной оценки состояния массива и испытания параметров крепи выработок в условиях подземного рудника.....                                                                               | 64 |
| <i>Хажыылай Ч.В., Еременко В.А., Янбеков А.М.</i> Влияние порового давления на напряженно-деформированное состояние массива горных пород .....                                                                                                                                       | 66 |
| <i>Базаев С.Ю., Захарименный И.М.</i> Современные технологии строительства ограждающих конструкций подземных сооружений. ....                                                                                                                                                        | 69 |
| <i>Громцев К.В.</i> Разработка схем закладки выработанного пространства при выемке калийно-магниевых пластов длинными очистными забоями .....                                                                                                                                        | 73 |
| <i>Голдин С.В., Ягмур А.Б.</i> Классификация аварийных ситуаций при ликвидации вертикальных шахтных стволов .....                                                                                                                                                                    | 76 |
| <i>Хохлов Б. В., Дрибан В.А.</i> Геомеханическое обоснование использования стволов ликвидируемых шахт для откачки воды погружными насосами .....                                                                                                                                     | 79 |

406

|                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Терлецкий А. М., Рожко М.Д.</i> Изменение упругих характеристик горных пород при затоплении горных выработок .....                                                                                                           | 82  |
| <i>Пирожкова Т.С., Головин Ю.И., Тюрин А.И., Кочанов А.Н.</i> Метод микро- и наноиндентирования как способ оценки физико-механических свойств горных пород на разных масштабных уровнях .....                                   | 85  |
| <i>Аверин А.П., Белоусов Ф.С.</i> Сканирование земной поверхности аппаратурой «Лоза» на подрабатываемых территориях Кочкарского месторождения .....                                                                             | 87  |
| <i>Шляпин А.В., Казаков Н.Н.</i> Глубина проникновения трещин в массив горных пород при взрыве .....                                                                                                                            | 90  |
| <i>Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В.</i> Главная фаза технологического дробления пород взрывом .....                                                                                                                     | 94  |
| <i>Дорохин К.А.</i> Опыт применения скважинных сейсмоакустических исследований для оценки свойств, строения, структуры и состояния массива горных пород .....                                                                   | 99  |
| <i>Кулибаба С.Б.</i> О расчете сдвижения подрабатываемого горного массива .....                                                                                                                                                 | 103 |
| <i>Ефремовцев Н.Н., Лапиков И.Н.</i> К вопросу формирования алгоритма численного моделирования разрушения массива горных пород и роботизации технологий .....                                                                   | 106 |
| <i>Лапиков И.Н.</i> Научное обоснование метода обеспечения безопасности при разработке выбросоопасных угольных месторождений ...                                                                                                | 109 |
| <i>Красюкова Е.В., Пацкевич П.Г.</i> Детерминация геомеханических рисков обусловленных наличием отработанного карьера и высоконапорного водоносного горизонта при подземной разработке кимберлитовых месторождений Якутии ..... | 117 |
| <i>Есина Е.Н.</i> Обоснование условий эффективного применения скважинных геотехнологий при освоении угольных месторождений .....                                                                                                | 120 |
| <i>Никифоров К.И.</i> Комплексный геомеханический мониторинг при выемке законтурных запасов сложноструктурных месторождений ..                                                                                                  | 123 |
| <i>Доненбаева Н.С., Нурпеисова М., Левин Е.</i> Инновационный метод ведения геомониторинга на руднике Акжал .....                                                                                                               | 126 |
| <i>Орманбекова А.Е., Охотин А.Л., Нурпеисова М.Б.</i> Использование современных геодезических приборов для контроля деформации зданий и сооружений .....                                                                        | 129 |
|                                                                                                                                                                                                                                 | 407 |

|                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Картбаева К., Нурпеисова М., Дай Хуянь, Омиржанова Ж.</i> Применение GPS мониторинга в оценке современных деформаций земной коры на Алматинском ГДП ..... | 132 |
| <i>Бек А.А., Сартаев Д.Т.</i> Получение цементного раствора для укрепления трещиноватых поверхностей .....                                                   | 135 |
| <i>Кенесбаева А., Нурпеисова М., Левин Е.</i> GPS мониторинг деформационных процессов при добыче углеводородов .....                                         | 138 |
| <i>Туреханова В.Б., Касымканова Х.М., Джангулова Г.К., Абильжанова М.А.</i> Использование данных ГНСС для определения высот квазигеоида .....                | 141 |
| <i>Канин В.А., Пивень Ю.А., Васютина В.В.</i> Особенности внезапного обрушения (высыпания) угля на защитных пластах .....                                    | 145 |
| <i>Панфилов Г.П., Зайцев Д.В., Панфилов П.Е., Кочанов А.Н.</i> Об особенностях развития микротрещин в горных породах .....                                   | 149 |
| <i>Лескова П.Г., Колпаков В.Б. Жданов С.В.</i> Применение горизонтальных скважин для снижения напоров в прибортовом массиве и повышения устойчивости .....   | 150 |

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

|                                                                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Носова К.С.</i> Оперативный контроль параметров технологии гидромеханизированной разработки месторождений полезных ископаемых .....                                                           | 153 |
| <i>Черников А.Г., Чурсин И.Н.</i> Разработка системы стохастического моделирования породного массива в естественном залегании на основе анализа марковских свойств геолого-геофизических полей.. | 156 |
| <i>Иванов П.Н.</i> Комплекс методов исследования микроструктуры углей Печорского бассейна .....                                                                                                  | 159 |
| <i>Перекутнев В.Е., Зотов В.В.</i> Обоснование применения РТК как тягового органа в подъемных установках .....                                                                                   | 162 |
| <i>Рыбалкин Л.А.</i> Совместные исследования кернового материала методами стационарной фильтрации и ЯМР – релаксометрии для повышения достоверности оценки фильтрационных свойств угля.          | 164 |
| <i>Салахов И.Н.</i> Анализ методов пересчета расходно-напорных и мощностных характеристик насосов с воды на гидросмесь .....                                                                     | 168 |

|                                                                                                                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Семенова Л.А., Семенова Е.И.</i> Повышение эффективности горного производства посредством геоинформационного обеспечения горных работ на ПАО Михайловский ГОК .....                                                       | 171 |
| <i>Семенова Л.А., Семенова Е.И., Шалдыбин Д.А.</i> Повышение эффективности гравитационного обогащения золота за счет использования отсадочных машин МОД-2М, МОД-3 М .....                                                    | 174 |
| <i>Плохих В.В., Чецин Д.О.</i> Обоснование схемы ударного механизма с гидравлическим взводом .....                                                                                                                           | 177 |
| <i>Клементьева И.Н.</i> Новое техническое решение рабочего органа выемочно-погрузочного драглайна .....                                                                                                                      | 180 |
| <i>Плохих В.В., Чецин Д.О.</i> Результаты физического моделирования рабочего процесса кольцевого упругого клапана в реверсивном гидроприводе .....                                                                           | 184 |
| <i>Добрынин А.А.</i> Способ зарядания восстающей взрывной скважины .....                                                                                                                                                     | 187 |
| <i>Ельцов Н.А.</i> Исследование комплексного освоения нетрадиционных ресурсов в энергодефицитных регионах .....                                                                                                              | 190 |
| <i>Аргимбаев К.Р., Миронова К.В.</i> Инновационная технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых .....                                                                                                    | 193 |
| <i>Колесник М. В., Хохлов Б.В.</i> О возможности применение спутниковых технологий на территории Донбасса .....                                                                                                              | 196 |
| <i>Глухов А.А., Трофимов В.В., Кутепов Д.В, Ребенок Е.В.</i> Автоматизация обработки и анализа результатов сейсмических исследований при прогнозе структуры угленосного массива в сложных горно-геологических условиях ..... | 199 |
| <i>Ламамра Абдессаттар, Негурица Д.Л.</i> Основные направления развития геотехнологии на Кизельгурском месторождении (Алжир) .....                                                                                           | 202 |
| <i>Пеленев Д.Н., Бабьрь К.В.</i> Анализ влияния режима однофазного замыкания на эффективность функционирования защиты систем электроснабжения предприятий минерально-сырьевого комплекса. ....                               | 206 |
| <i>Цупкина М.В.</i> Обоснование методики и параметров геологической разведки осушенной части хвостохранилища Сибайской обогатительной фабрики .....                                                                          | 208 |
| <i>Бельский А.А., Добуш В.С., Старшая В.В.</i> Применение фото- и ветроэлектрических установок для электроснабжения станций электропрогрева нефтяных скважин .....                                                           | 210 |
|                                                                                                                                                                                                                              | 409 |

|                                                                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Князькин Е.А.</i> Обоснование параметров гидротурбинной установки для генерации электрической энергии в условиях подземного рудника .....                                                       | 213 |
| <i>Радченко Д.Н., Залевская К.Н.</i> Создание цифровой модели техногенного месторождения с обоснованием технологии его разработки .....                                                            | 215 |
| <i>Бондаренко А.А.</i> Исследование сравнительных параметров эффективности применения горнотранспортной техники на базе двигателя внутреннего сгорания и электрического привода .....              | 218 |
| <i>Рыльникова М.В., Гаджиева Л.А., Князькин Е.А.</i> Определение масштабов подсистемы возобновляемой энергетики подземного рудника в зависимости от гидрогеологических условий месторождения ..... | 221 |
| <i>Федотенко В.С., Митишова Н.А.</i> Анализ условий и рисков возникновения и развития окислительных процессов в рудах и вмещающих породах при разработке колчеданных месторождений ....            | 223 |
| <i>Лавенков В.С.</i> Имитационная модель горнотехнической системы, включающей подземные комплексы сепарации руд и закладки выработанного пространства .....                                        | 226 |
| <i>Старшинов А.В.</i> Влияние структурных особенностей компонентов на поведение смесевых систем при взрыве .....                                                                                   | 228 |
| <i>Абен Е.Х., Хайруллаев Н.Б., Мухамеди М.Е.</i> Технология активации раствора при ПСВ Урана .....                                                                                                 | 230 |
| <i>Омарбеков Е.У., Юсупов Х.А.</i> Совершенствование технологии ПСВ в условиях высоконапорного характера подземных вод .....                                                                       | 232 |
| <i>Горбунова Н.Н., Терешин А.А., Ленко К.</i> К вопросу определения качества буровзрывных работ методом анализа грансостава горной массы на карьере Ликхобонг .....                                | 234 |
| <i>Мингазов Р.Я., Шиповский И.Е.</i> Моделирование напряженного состояния горной породы при взрыве шпурового заряда с круговым зазором .....                                                       | 237 |
| <i>Нигматулин А.М., Абдрахманова З.Т., Кан А.Н., Ефименко С.А.</i> .... Рентгенофлуоресцентный online мониторинг руд на технологических конвейерах ТОО «Корпорация Казахмыс» .....                 | 241 |
| <i>Решетняк С.Н., Бондаренко А.М.</i> К вопросу разработки структурной модели по определению параметров удельного электропотребления технологическими участками угольных шахт .....                | 248 |
|                                                                                                                                                                                                    | 410 |

|                                                                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Цариков А.Ю.</i> Разработка метода подземной электротомографии для исследования малоамплитудных нарушений угольных пластов Кузнецкого угольного бассейна .....                                             | 253 |
| <i>Дегтерев В.В., Кобылкин А.С.</i> Прибор контроля пылевого отложения в горных выработках угольных шахт, основанный на радиоизотопном принципе .....                                                         | 259 |
| <i>Агарков И.И., Лавриненко А.А., Сыса П.А.</i> Выбор эффективной конструкции для магнитной сепарации .....                                                                                                   | 264 |
| <i>Гомес А.Ш.С., Воробьев К.А., Щерба В.А.</i> Анализ технологических процессов производства сжиженных углеводородных газов в республике Ангола .....                                                         | 265 |
| <i>Франтов А.Е., Лапиков И.Н., Мингазов Р.Я.</i> Оценка сыпучести простейших взрывчатых веществ, содержащих в качестве горючего вторичные жидкие и твердые материалы .....                                    | 270 |
| <i>Франтов А.Е., Мингазов Р.Я., Красюкова Е.В.</i> Разработка методических положений по оценке влияния концентрации депрессорных присадок на вязкость отработанных масел, используемых в гранулитах ИСУ ..... | 275 |
| <i>Хайрутдинов А.М., Тулыяева Y.S.</i> Извлечение полезного ископаемого на небесных телах. Предпосылки, технологические аспекты и правовые основы .....                                                       | 280 |
| <i>Тулыяева Y.S., Хайрутдинов А.М.</i> Щадящая геотехнология .....                                                                                                                                            | 283 |

## ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

|                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Орехова Н.Н., Глаголева И.В.</i> Сравнение обогатимости клинкеров цинковых заводов .....                                                                    | 287 |
| <i>Горносталь Е.А., Соложенкин П.М.</i> Выбор собирателей для флотации окисленных сульфидных руд на основе координационной теории флотации .....               | 290 |
| <i>Миненко В.Г., Макаров Д.В., Самусев А.Л.</i> Обоснование и разработка сорбентов тяжелых металлов на основе модифицированных сапонитсодержащих отходов ..... | 294 |
| <i>Бошняк М.В., Колмачихина О.Б.</i> Комбинированная технология переработки окисленных никелевых руд .....                                                     | 297 |

|                                                                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Курина А.В., Зелинская Е.В., Толмачева Н.А.</i> Перспективы переработки попутных сильноминерализованных вод горных предприятий .....                                                            | 299 |
| <i>Лавриненко А.А., Кунилова И.В., Гольберг Г.Ю., Лусинян О.Г., Кравченко В.Н., Шимкунас Я.М.</i> Рациональная переработка золотосодержащих отходов (на примере Каширской ГРЭС) .....              | 303 |
| <i>Попов Е.М., Лавриненко А.А.</i> Брикетирование мелких классов антрацитов с использованием модифицированного лигносульфоната в качестве связующего .....                                         | 306 |
| <i>Гетман В.В., Каркешкина А.Ю.</i> О возможности использования термочувствительных водорастворимых полимеров для доизвлечения ценных компонентов при флотационном обогащении сульфидных руд ..... | 310 |
| <i>Никоненко Т.В.</i> Технологическая оценка обогатимости и комплексности использования глинистых золотосодержащих песков (на примере россыпей Забайкалья) .....                                   | 313 |
| <i>Каменева Ю.С., Черноусенко Е.В., Базарова Е.А., Митрофанова Г.В.</i> О применении реагентов-комплексобразователей при флотации медно-никелевых руд .....                                        | 317 |
| <i>Арданова С.А.</i> Оценка эффективности технологии гидрометаллургической переработки золотосеребросодержащих руд на основе активированного угля .....                                            | 320 |
| <i>Подкаменный Ю.А., Двойченкова Г.П.</i> Экспериментальное обоснование влияния состава породообразующих минералов кимберлитовых руд на технологические свойства алмазов .....                     | 323 |
| <i>Тимофеев А.С., Двойченкова Г.П.</i> Оценка агрессивности оборотных вод для процесса тяжелосредной сепарации .....                                                                               | 326 |
| <i>Кузнецова И.Н., Лавриненко А.А., Саркисова Л.М., Шрадер Э.А.</i> .... Влияние реагентов на смачиваемость компонентов медно-никелевых руд .....                                                  | 330 |
| <i>Артёмьев А.В.</i> Процессы водоподготовки на предприятиях, перерабатывающих апатит-нефелиновые руды Хибинского массива ....                                                                     | 333 |
| <i>Конгар-Сюрюн Ч.Б.</i> Построение математической модели прогнозирования качественно-количественных показателей обогатительных фабрик .....                                                       | 336 |

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР

|                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Латыпов Д.В.</i> Вопросы и направления повышения эффективности управления производством на горных предприятиях промышленности строительных материалов.....                                                                      | 340 |
| <i>Евсеева О.О., Ильинова А.А.</i> Роль государства, бизнеса и общества при внедрении технологий секвестрации углекислого газа.....                                                                                                | 343 |
| <i>Прокофьева Е.Н., Востриков А.В., Гончаренко С.Н., Коник П.В.</i> Перспективы развития цифрового образования и проектных форм обучения в современной подготовке и повышении квалификации горных инженеров.....                   | 349 |
| <i>Прокофьева Е.Н., Востриков А.В., Стебенев А.Ю., Волчков Д.М. .</i> Модели технического совершенствования глобальных навигационных спутниковых систем для эффективного геоинформационного управления на горных предприятиях..... | 352 |
| <i>Мупегну Нзусси К.Г., Moupegnou Cedric – De Felixandrin</i> Эволюция систем управление вертикально интегрированными нефтяными компаниями в республике Конго .....                                                                | 356 |
| <i>Мупегну Нзусси К.Г., Moupegnou Cedric – De Felixandrin</i> Мониторинг и оценка управления африканских производителей нефти ....                                                                                                 | 360 |
| <i>Ильинова А.А., Соловьева В.М.</i> Применение методов прогнозирования при определении долгосрочных перспектив освоения нефтегазового шельфа Арктики .....                                                                        | 365 |
| <i>Докучаева А.И.</i> Комплексное использование битуминозных бурых углей Тюльганского месторождения для производства горного воска и его модификаций .....                                                                         | 368 |

## ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

|                                                                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Канин В.А., Киселев Н.Н., Радченко А.Г., Радченко А.А.</i> О необходимости разработки комплексного способа определения величины зоны разгрузки в условиях выбросоопасных угольных пластов Донбасса..... | 372 |
| <i>Киселев Н.Н., Камбурова Л.А., Радченко А.Г., Радченко А.А.</i> Формирование зоны разгрузки в подготовительных забоях в зависимости от фактора времени.....                                              | 375 |
|                                                                                                                                                                                                            | 413 |

|                                                                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Радченко А.Г., Камбурова Л.А., Киселев Н.Н., Федотов С.М., Радченко А.А.</i> Особенности изменения интенсивности внезапных выбросов угля и газа в Донбассе на пластах наклонного и крутого падений..... | 378 |
| <i>Добрынин А.А., Добрынин И.А.</i> О влиянии взрывов промышленных взрывчатых веществ на окружающую среду .....                                                                                            | 382 |
| <i>Стефунько М.С.</i> Антропогенное воздействие тяжелых металлов на почву горнопромышленного района.....                                                                                                   | 385 |
| <i>Мупегну Нзусси К.Г., Moupegnou Cedric – De Felixandrin</i> Экологическая оценка химического воздействия объектов транспорта и хранения газа на окружающую среду в Кот д'Ивуаре.....                     | 388 |
| <i>Добуш В.С, Бельский А.А.</i> Анализ ветроэнергетических измерений .                                                                                                                                     | 393 |
| <i>Кыргизбаева Г., Левин Е., Рахимбаева Д.</i> Космический мониторинг за изменением береговой линии Казахстанской части Каспийского моря.....                                                              | 396 |
| <i>Шонтаев А.Д., Исабек Т.К.</i> К вопросу об эффективности бурения дегазационных скважин как способа предотвращения внезапного выброса угля и газа .....                                                  | 399 |
| <i>Конина О.Т., Сандимиров С.С., Боровичёв Е.А., Урбанавичюс Г.П., Сухарева Т.А.2, Макаров Д.В.</i> Оценка состояния компонентов окружающей среды в зоне деятельности угольных шахт Чукотки .....          | 402 |

ДЛЯ ЗАМЕТОК

## ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР В XXI ВЕКЕ – ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ

Техническое редактирование, компьютерная верстка  
и художественное оформление *Н.А. Малышева*

---

Лицензия ЛР №21037. Подписано в печать с оригинал-макета 09.08.2019 г.  
Формат 60x84 1/16. Бумага «Мега Copy Office». Печать офсетная. Набор  
компьютерный. Объем 26 п.л. Тираж 250 экз. Заказ № 252.

---

Институт проблем комплексного освоения недр  
им. академика Н.В. Мельникова РАН  
111020, Москва, Крюковский тупик, 4.  
Издание ИПКОН РАН, 111020, Москва, Крюковский тупик, 4.