

КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНСТИТУТ КОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

## **ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА КАРЬЕРАХ**

**Сборник докладов**

Кыргызская Республика, озеро Иссык-Куль, 6 - 9 сентября 2011 г.

Бишкек 2011

УДК 622  
ББК 33  
П 27

Сборник включает доклады, представленные на следующие секции конференции:

1. Современные информационные технологии в горном деле.
2. Управление основными технологическими процессами на карьере.
3. Цифровая модель месторождения.
4. Программно-технические средства контроля процессов бурения, экскавации и транспорта.
5. Оценка качества массовых взрывов на карьерах.
6. Устойчивость бортов карьеров и отвалов.

### **Организационный комитет:**

- Владимир Нифадьев, академик НАН КР, ректор КРСУ
- Виталий Коваленко, Руководитель Регионального Отделения МНТЦ в КР
- Михаил Кан, Исполнительный директор ОсОО «Blast Maker»
- Рогов Евгений, академик НАН РК, д. т. н., проф., ИГД им. Кунаева, РК
- Тангаев Игорь, ОсОО «Blast Maker», КР

П 27 Передовые технологии на карьерах: Сборник докладов. – Бишкек: КРСУ, 2011. – с.

ISBN \_\_\_\_\_

Настоящий сборник включает доклады, представленные учеными стран СНГ – участниками конференции по тематике проектирования буровзрывных работ на карьерах.

Сборник подготовлен к публикации в Кыргызско-Российском Славянском университете, под редакцией В.А. Коваленко, канд.техн.наук, Директора Института коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского университета

П 2501000000-10  
УДК 622

ISBN \_\_\_\_\_

ББК 33  
© КРСУ, Бишкек, 2011

## Содержание:

---

Введение.....	4
<i>Долгушев В.Г.</i> САПР буровзрывных работ на карьерах «Blast Maker».....	5
<i>Киселев А.О.</i> Автоматизированная система сбора данных с буровых станков «Кобус» .....	14
<i>Киселев А.О.</i> Опыт внедрения и эксплуатации АССД БС КОБУС .....	24
<i>Татарчук С.Ю.</i> Опыт внедрения и эксплуатации ПТК "Blast Maker".....	30
<i>Опарин В.Н., Танайно А.С.</i> Инвариантная относительно технических средств классификация горных пород по сопротивляемости бурению.....	36
<i>Воробьев Д.А., Райымкулов М.А.</i> Численное моделирование динамики рудных тел в процессе взрывания горной массы .....	46
<i>Мамедов М.Х.</i> Применение широкополосных беспроводных технологий передачи данных в открытых горных разработках .....	52
<i>Рогов Е.И., Рогов А.Е.</i> Оптимизация удельного расхода ВВ по критерию затрат .....	55
<i>Турсбеков С.В., Нифадьев В.И.</i> Мониторинг прибортовых массивов с использованием современного маркшейдерско-геодезического оборудования .....	60
<i>Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Г.М.</i> Комплексное обеспечение устойчивости бортов карьеров .....	66
<i>Демиденко А.П.</i> Анализ результатов наблюдений смещений бортов карьера .....	71
<i>Тулбаев К.К., Абдибеков Н. К., Кенжегалиев Н. А.</i> Влияние формирования внутреннего отвала на устойчивость борта глубокого карьера .....	77
<i>Коваленко А.А.</i> Способы и средства формирования устойчивых бортов в глубоких карьерах .....	85
<i>Карибаев Е.Г., Кыргызбаева Г.М., Бек А.Ш.</i> Моделирование геоэкологических последствий горного предприятия.....	91
<i>Нурпеисова М.Б., Жусупова Л.К.</i> Экологическое состояние Кызылординской экономической зоны.....	96
<i>Турсбеков Б.С., Абдуллаева А.Б.</i> Моделирование воздействия поллютантов на литосферу.....	103
<i>Турсбеков Н.С.</i> Разработка метода определения оптимальной величины коэффициента извлечения урана из ячейки от времени ее эксплуатации.....	107
<i>Турсбекова Г.Ж.</i> Технологические основы термообработки сырья.....	111
<i>Усманов Р.С.</i> Синтез хлоридов и сульфатов алюминия из нетрадиционного сырья.....	117

## Введение

В 2011 г. в ИКИТ КРСУ продолжались исследования и разработки по основным направлениям: информационные технологии в горном деле, управление технологическими процессами на карьере, создание цифровых моделей месторождений, программно-технические средства контроля процессов бурения, оценка качества массовых взрывов, устойчивость бортов карьеров и отвалов. К этим традиционным направлениям в последнее время естественным образом присоединились пограничные процессы: экологические проблемы разработки месторождений, технологии добычи и переработки полезных ископаемых.

Успешно завершены очередные этапы разработки в области САПР БВР на карьерах (Долгушев В. Г.), автоматизированной системы сбора данных с буровых станков «Кобус», достигнуты положительные результаты по внедрению и эксплуатации систем «Кобус» и ПТК «Blast Maker» (Киселев А.О., Татарчук С.Ю.).

Опарин В.Н., Танайно А.С. предложили новую инвариантную относительно технических средств классификацию горных пород по сопротивляемости бурению.

Группой сотрудников ИКИТ (Мамедов М. Х., Постнов А. А., Петров Е. В.) создана и внедрена на разрезе «Тугнуйский» широкополосная preWiMAX радиосеть с применением технологии Mesh для передачи данных с буровых станков в компьютерный центр.

Успешно выполнен первый этап теоретических исследований элементов системы «заряд ВВ – среда» с помощью численного моделирования динамики рудных тел в процессе взрывания горной массы (Воробьев Д. А., Райымкулов М. А.), что важно для обоснования алгоритмов, заложенных в ПТК «Blast Maker».

Интересное решение задачи оптимизации удельного расхода ВВ по критерию затрат предложили Рогов Е. И. и Рогов А. Е.

Несколько докладов посвящены мониторингу прибортовых массивов (Турсбеков С.В., Нифадьев В.И.), комплексному обеспечению устойчивости бортов карьеров (Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Г.М.), результатам наблюдений смещений бортов (Демиденко А.П.), а также влиянию формирования внутреннего отвала на устойчивость бортов глубоких карьеров (Тулебаев К.К., Абдибеков Н. К., Кенжегалиев Н. А.). Доклад Коваленко А. А. представлены инновационные способы и средства формирования устойчивых бортов в глубоких карьерах для создания современной технологии реконструкции старых бортов в глубоких карьерах.

С углублением горных работ возрастает негативное влияние массовых взрывов на состояние атмосферы. С связи с этим все большее значение придается исследованиям по защите окружающей среды. Моделированию геоэкологических последствий горного предприятия посвящена работа Карибаева Е.Г., Кыргызбаева Г.М., Бека А.Ш. Экологическое состояние Кызылординской экономической зоны рассмотрено в докладе Нурпеисовой М.Б., Жусуповой Л.К. Моделирование воздействия поллютантов на литосферу показано в сообщении Турсбекова Б.С., Абдуллаева А.Б.

Из пограничных исследований и разработок интересны доклады по определению оптимальной величины коэффициента извлечения урана из ячейки (Турсбеков Н.С.), технологическим основам термообработки сырья (Турсбеков Г.Ж.), синтезу хлоридов и сульфатов алюминия из нетрадиционного сырья (Усманов Р.С.).

Участники семинара с удовлетворением отметили присутствие на конференции гостей: Беленко А. А., Бондаренко А. В. («ВИСТГрупп», Россия), Некрасов А. В. («Азот-Черниговец», Россия), Шпинев М. С., Локтев А. М. («Лебединский ГОК», Россия), Бочарова Ю. А. («Горный журнал Казахстана»), Швец И. Я. («Гемком Софтвэз Рус», Россия).

Председатель конференции, директор ИКИТ КРСУ,  
Коваленко В. А.

## САПР буровзрывных работ на карьерах «Blast Maker»

В.Г. Долгушев ([slavado@istc.kg](mailto:slavado@istc.kg))

Институт коммуникаций и информационных технологий  
Кыргызско-Российского Славянского Университета

### I. Введение

Эксплуатация большинства месторождений связана, как правило, с необходимостью предварительного рыхления горной массы. Для проведения вскрышных и добычных работ на карьерах с преобладанием скальных пород, наиболее является дробление отдельных блоков массива группами скважинных зарядов. От качества подготовки массовых взрывов зависят объемы вторичных буровзрывных работ (дробление негабаритов, устранение порогов в подошвах уступов и т.д.) и эффективность последующих производственных процессов, в частности, экскавации, транспортировки и дополнительного измельчения руды для ее обогащения.

Неоднородность прочностных свойств горных пород остается главным фактором, осложняющим проектирование взрывных работ и достижение требуемого качества дробления горной массы. Геологическая разведка в общем случае не может дать достаточно полной информации, так как шаг сетки разведочных скважин обычно слишком велик. Поэтому в отсутствии реальных данных о районировании карьерного поля, проектировщики при отбойке сложно-структурированных массивов намеренно завышают объемы бурения и количество взрывчатых веществ (ВВ) в скважинах.

Одним из эффективных способов получения сведений о свойствах взрываемого массива является использование информации, получаемой в процессе бурения скважин. Данный подход привлекателен тем, что не нарушает существующую технологию ведения работ на карьере и не требует дополнительных затрат на проведение геологических исследований, связанных с определением физико-прочностных характеристик слагающих пород блока. Программно-технический комплекс (ПТК) «Blast Maker» - практическая реализация такого подхода на основе передовых технологий в микропроцессорной технике и программировании. Автоматизированное проектирование буро-взрывных работ с использованием этого комплекса обеспечивает расстановку скважин, учитывающую геометрию блока и свойства горных пород, и рациональное распределение скважинных зарядов для наиболее эффективного дробления горной массы. В условиях высокой интенсивности горных работ на карьерах ПТК «Blast Maker» обеспечивает оперативность и многовариантность проектных решений при выполнении БВР.

### II. Состав и основные характеристики программных компонентов комплекса

Программный пакет САПР БВР «Blast Maker» - является комплексом программных средств, объединяющих цифровую модель месторождения, средства сбора информации о среде, математическую модель взаимодействия заряда со средой, и средства, обеспечивающие подготовку необходимой проектной документации для производства массовых взрывов. Структурно САПР БВР состоит из набора модулей, которые могут функционировать как в составе комплекса, так и независимо от него. Обмен информацией между отдельными модулями осуществляется через единую базу данных. Основными модулями САПР БВР являются:

- цифровая модель месторождения - для сбора, анализа и хранения геологической и технологической информации в трехмерном виде;
- цифровая модель поверхности карьера - обеспечивает построение карты поверхности карьера и выполнения операций горно-геометрического анализа;

- модуль проектирования БВ - для расчета параметров массового взрыва и расстановки скважин на взрываемом блоке;
- модуль имитационного моделирования - для оценки качества массового взрыва и прогноза параметров развала;
- модуль импорта-экспорта данных - обеспечивает взаимодействие пакета САПР БВР с программными продуктами, используемыми на предприятии;
- генератор выходных документов - предназначен для выполнения работ, связанных с подготовкой и выпуском проектной документации на массовый взрыв.

**Цифровая модель месторождения** является информационной основой САПР БВР. Основные функции цифровой модели месторождения включают в себя обработку и анализ данных, полученных с буровых станков и моделирование свойств горных пород в пределах карьерного поля. В САПР БВР для построения модели используется метод нерегулярных узловых элементов. Месторождение представляется как трехмерное поле распределения свойств горного массива, и узловые элементы располагаются в точках, где значения исследуемых параметров известны. Это может быть, например, энергоёмкость бурения, содержание полезного ископаемого, любые другие количественные характеристики, полученные на этапе геологической разведки или в процессе разработки месторождения. Величина исследуемого параметра в произвольно заданной точке находится путем интерполяции значений узловых элементов, пространственно окружающих эту точку. Подобная реализация цифровой модели обладает следующими достоинствами:

- интерполяция пространственного распределения параметров обеспечивает высокую достоверность в любой точке области;
- количество параметров, хранимых в узлах нерегулярной сетки, может быть неограниченным;
- наряду с количественными параметрами в узлах сетки можно хранить и качественные признаки;
- обеспечивается простота корректировки и уточнения модели.

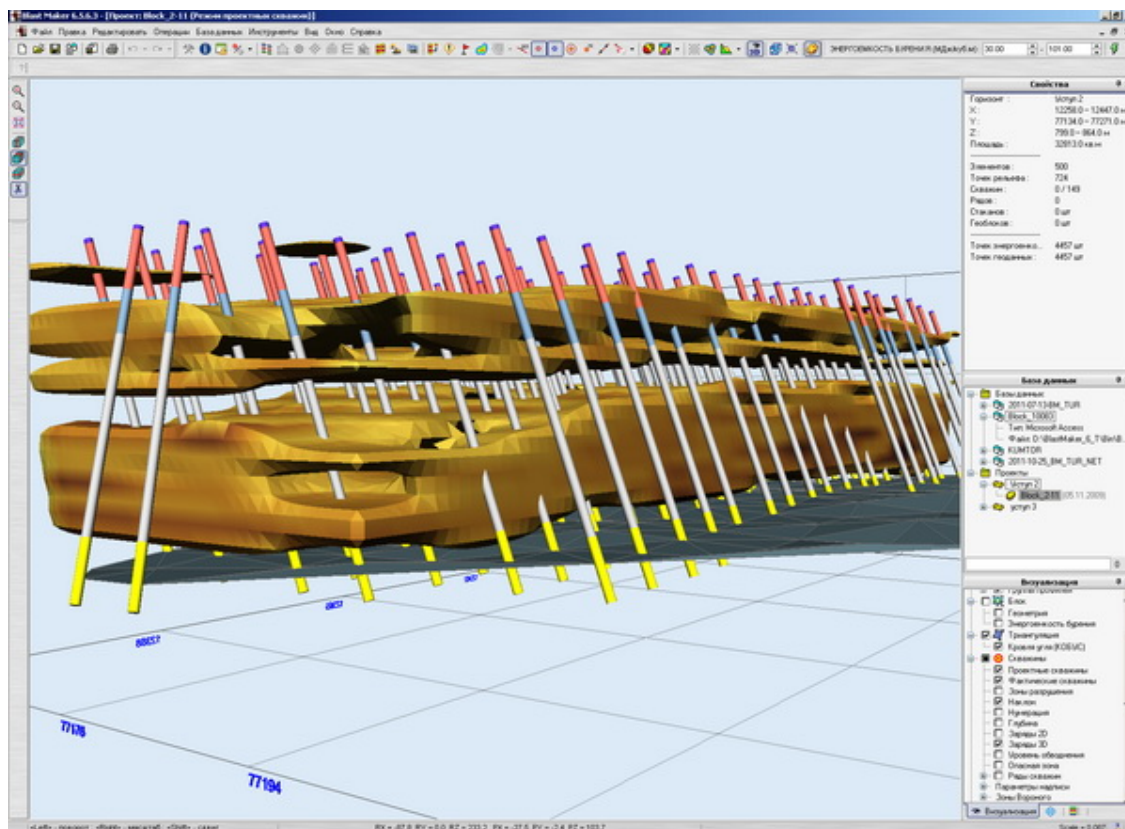


Рис.1. Распределение энергоёмкости бурения по блоку



На рис.1 приведен пример построения пространственного распределения энергоемкости бурения по данным, полученным с буровых станков.

**Цифровая модель поверхности (ЦМПК)** позволяет наглядно представлять поверхность карьера в различных масштабах и ракурсах при выполнении операций горно-геометрического анализа. В САПР БВР применяется гибридная цифровая модель представления поверхности. Суть данного подхода состоит в том, что для ввода, корректировки и редактирования исходных данных используется структурная (атрибутивно-топологическая) модель, а для решения задач горно-геометрического анализа – сеточная модель. Использование гибридной модели допускает разделение способов хранения и обработки структурной и пространственной информации. Сеточная модель может быть получена из структурной модели в любой произвольный момент времени. Построение регулярной сеточной модели участков карьера (рис.2) производится в интерактивном режиме с помощью триангуляции и процедур кригинга. Реконструкция рельефа производится в узлах регулярной сетки с заданным фиксированным размером ячеек. Восстановленная поверхность цифровой модели сглаживается для обеспечения плавности перехода на границах расчетных значений.

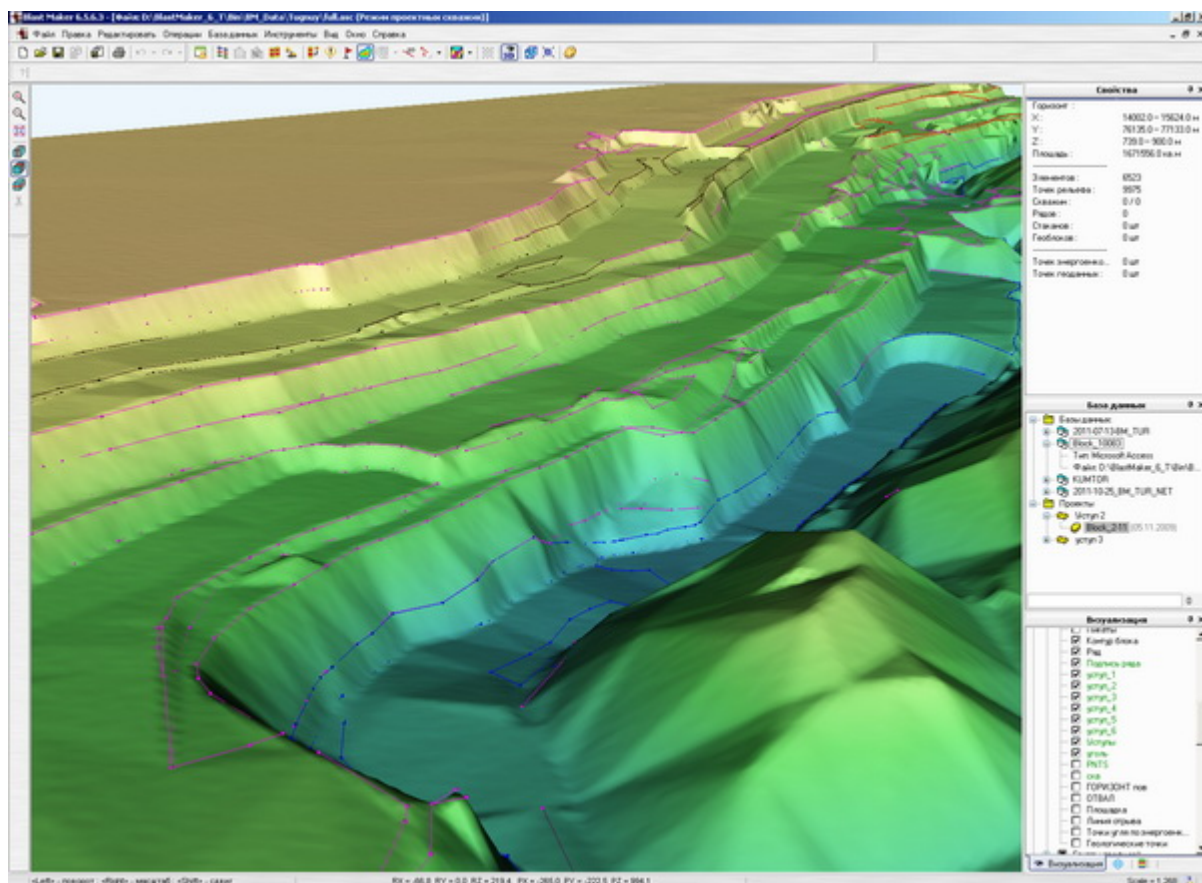


Рис.2. Построение сеточной модели участка карьера

**Модуль проектирования БВР** предназначен для подготовки и выпуска проектно-технической документации на проведение буровзрывных работ. Данный модуль включает в себя подсистемы для выполнения следующих функций:

- расчет параметров массового взрыва;
- расстановку скважин на взрываемом блоке;
- коммутацию скважин и выбор интервалов замедления;
- анализ распределения энергии взрыва.

Расчет параметров массового взрыва базируется на информации от геологических служб карьера и на данных об энергоемкости бурения. В качестве главных

характеристик служат удельные расходы ВВ для всех типов пород блока, которые обеспечивают гарантированное дробление горной массы до требуемого размера отдельностей. Удельные расходы ВВ рассчитываются в соответствии с прочностными свойствами массива по специальным методикам. Основные функции расчета параметров взрыва включают в себя:

- определение зон неоднородностей в пределах блока и расчет удельного расхода эталонного ВВ для каждой из зон;
- выбор рациональной конструкции зарядов для проведения взрыва;
- расчет количества скважин, необходимых для разрушения блока с заданными параметрами дробления;
- расчет технико-экономических показателей взрыва.

В САПР БВР предусмотрено использование составных скважинных зарядов с одним или несколькими воздушными промежутками (рис.3). Несмотря на то, что сплошные скважинные заряды являются традиционными, они наименее эффективны с точки зрения механики дробления. Основное отличие скважинных зарядов с воздушными промежутками состоит в возможности расширения продуктов взрыва на начальной стадии и увеличении длительности волны сжатия вследствие многократного отражения. Наличие дополнительных волн сжатия позволяет увеличить время активного воздействия продуктов взрыва на разрушаемый массив, повышая степень фрагментации породы.

№	Тип	Длина (м)	Вес (кг)	Фикс.	Дет-р (м)
5	Забойка	4.0		<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Игданит П	2.9	120.0	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Возд. промежуток	7.3		<input type="checkbox"/>	
2	Березит	8.2	656.1	<input checked="" type="checkbox"/>	
1	Эмульсолит П	3.8	260.0	<input checked="" type="checkbox"/>	

Суммарная длина: 26.2 м

Рис.3. Подготовка шаблона составного заряда для группы скважин

Основным методом расстановки скважин на блоке является расстановка по палетке, которая представляет собой регулярную треугольную или прямоугольную сетку. Шаг палетки определяется исходя из расчетной линии сопротивления по подошве. Для блоков сложной геометрической конфигурации и геологической структуры возможно использование нескольких палеток с различной сеткой скважин. Итерационный метод автоматической расстановки скважин позволяет разместить на блоке заданное количество скважин оптимальным образом с учетом зон неоднородностей и конфигурации блока. Процесс автоматической расстановки производится таким образом, что на каждом шаге итерации скважины равномерно распределяются блоку в соответствии с их характеристическими радиусами, зависящими от локальной крепости



породы. На рис.4 приведен пример расстановки скважин по данным о величине энергоемкости бурения.

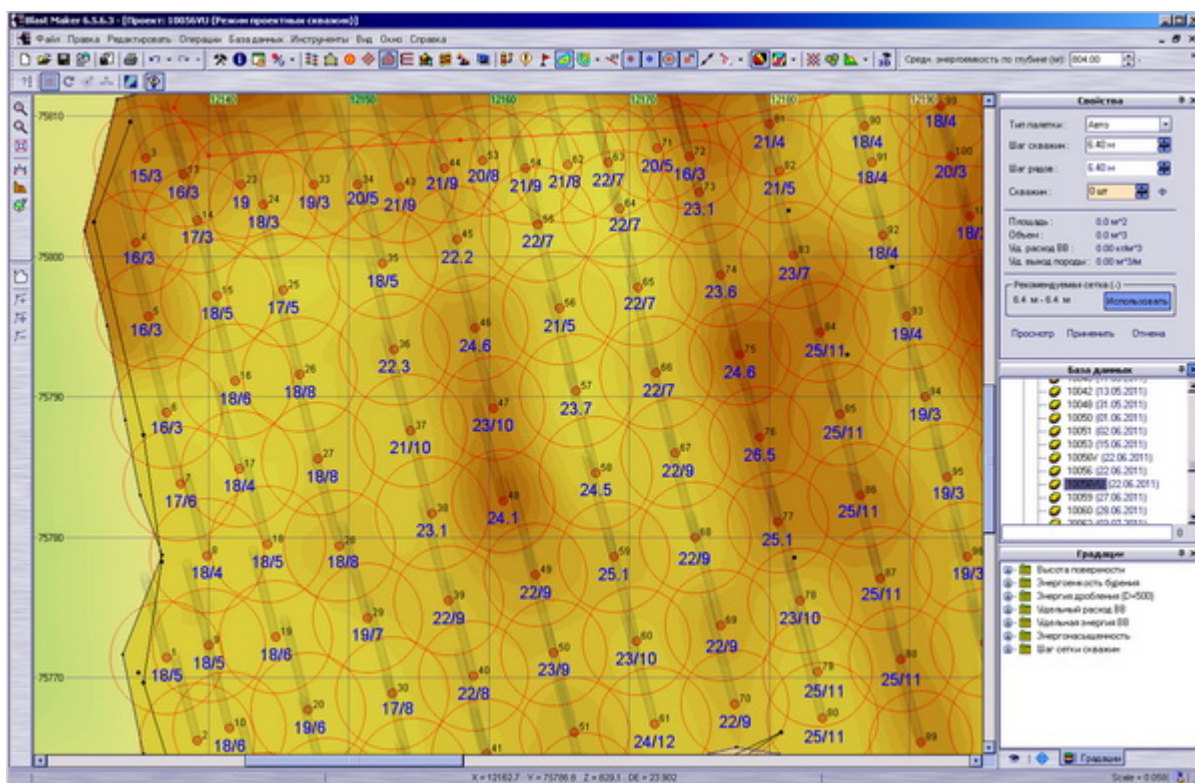


Рис.4. Автоматическая расстановка скважин по данным об энергоемкости бурения

**Коммутация скважин для короткозамедленного взрывания** в САПР БВР может быть выполнена по указанной типовой схеме и заданному вектору направления взрывааемых рядов. При использовании типовых схем коммутационная сеть автоматически проектируется таким образом, чтобы инициирование зарядов производилось порядным, врубовым, клиновидным или диагональным способами. На рис.5 приведен пример подготовки схемы инициирования и выбора интервалов замедления.

Для осуществления автоматической коммутации указывается вектор направления коммутируемых рядов скважин, и линии коммутации выстраиваются параллельно этому направлению. Возможные погрешности при автоматической коммутации устраняются вручную с помощью удаления и добавления связей между скважинами. На степень дробления оказывает влияние не только выбор схемы коммутации, но и выбор интервала короткозамедленного взрывания. В САПР БВР для этих целей существует обширный инструментарий, который позволяет эмулировать работу КЗВ и представлять результаты в виде различных диаграмм и графиков. Это дает возможность инженеру-проектировщику за короткое время проанализировать несколько вариантов комбинаций интервалов и схем коммутации и выбрать наиболее рациональный из них.

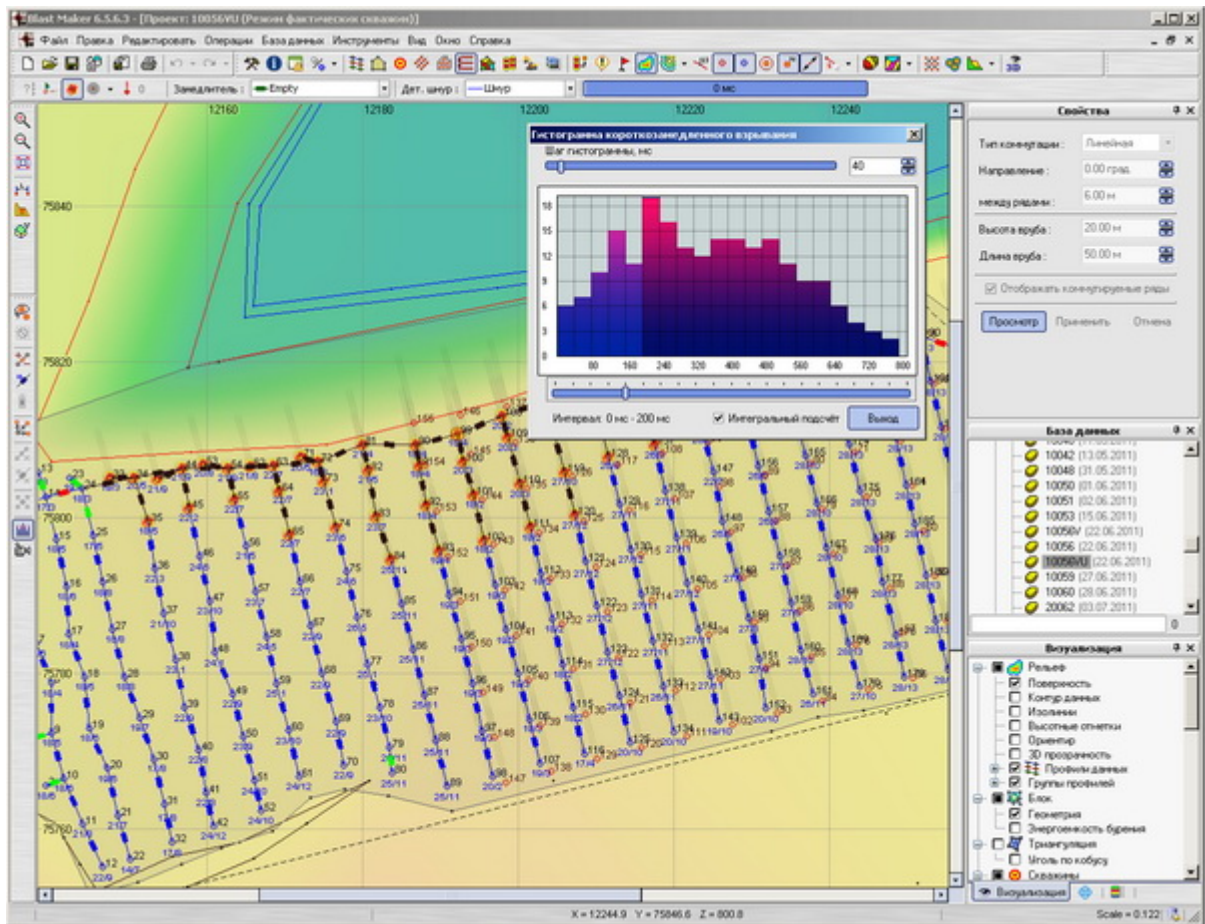


Рис.5. Подготовка и проверка схемы коммутации скважин

**Модуль имитационного моделирования массового взрыва** предназначен для расчета распределения энергии взрыва и прогноза разрушения массива горных пород. В системе САПР БВР данный модуль используется для оценки:

- фракционного состава взорванной массы;
- качества проработки подошвы;
- профиля образующейся выемки;
- контуров и границ развала.

Модуль имитационного моделирования и анализа динамики процессов разрушения скального массива может использоваться в тех случаях, когда необходимо выполнить тщательный анализ энергонасыщенности взрываемого блока. Такая ситуация возникает, если массив содержит разнородные включения и прослойки, либо когда существенно важным моментом для проектировщика является необходимость изменить степень фрагментации раздробленной породы.

Для определения качества дробления блока строится распределение энергии в вертикальных и горизонтальных сечениях. Области недостаточной или чрезмерной энергонасыщенности автоматически выделяются на этих графиках определенными цветами. Определив по картине распределения энергии области плохой проработки породы, принимаются меры по насыщению таких областей дополнительной энергией за счет добавочных скважин или использования более мощных ВВ. Модуль имитационного моделирования позволяет выполнять расчет характеристик развала, таких как профиль образующейся выемки и предполагаемый контур границ разлета горной массы. Расчет энергии дробления выполняется с учетом применяемой схемы короткозамедленного взрывания и образующихся при этом свободных поверхностей. После определения энергии, затрачиваемой на разрушение каждого из элементарных

объемов блока, рассчитывается фракционный состав взорванной массы. При расчете фракционного состава используется экспериментальная кривая распределения размера кусков породы от величины энергии дробления.

**Модуль импорта и экспорта данных** обеспечивает взаимодействие САПР БВР со сторонними программными продуктами, используемыми на предприятии. Взаимодействие осуществляется посредством обмена файлами в специальных форматах, таких как XML, ASCII, DXF, GMC, GRD, STR и т.д. В качестве импортируемых данных в пакете САПР БВР могут выступать данные по расположению соседних блоков, данные по геометрии и параметрам рудного тела, контуры подземных выработок, данные по схеме коммутации зарядов на заданном блоке и многое другое.

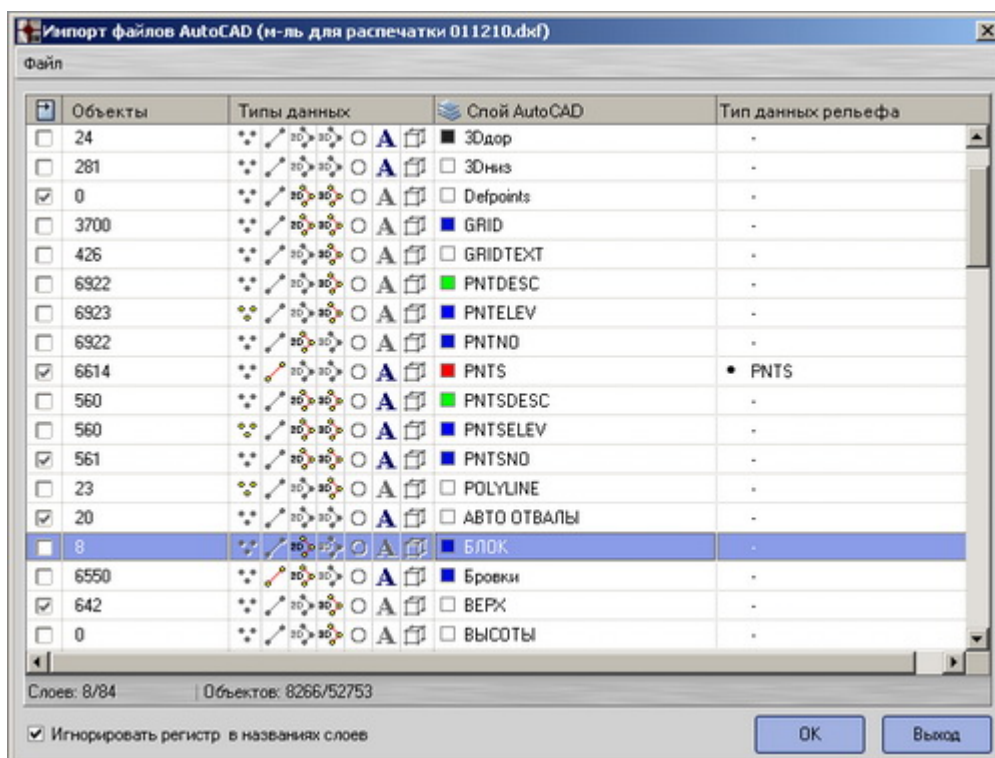


Рис.6. Импорт данных из системы AutoCAD

В настоящее время система САПР БВР предоставляет возможность экспорта и импорта данных для большинства распространенных программ, используемых в горном деле (Datamine, Gemcom, SimBlast, Micromine, AutoCAD и др).

**Генератор выходных документов САПР БВР** позволяет формировать различные отчетные документы в соответствии с принятыми на предприятии стандартами. Задача данного модуля – представление и вывод результатов проектирования БВР, данных маркшейдерской съемки, геологических изысканий, различной аналитической, статистической и оценочной информации, используемой на горном предприятии. Универсальность данного модуля заключается в том, чтобы он не только обеспечивает вывод стандартных графических и табличных данных, но и позволяет подготавливать шаблоны выходных документов, исходя из особенностей проектирования на конкретном предприятии, и дополнительных требований и запросов к документированию горных работ. Набор стандартных шаблонов генератора выходных документов включает в себя:

- таблица маркшейдера (номера скважины и координаты на заданном блоке);
- таблица на бурение (номер скважины, глубина, диаметр, перебур);
- схема проектного блока (изображение блока с расставленными скважинами);



- таблица зарядов (номер скважины, длина колонки заряда, вес заряда, длина забойки, интервал замедления);
- схема коммутации КЗВ (графическое представление блока с расставленными скважинами и коммутационных связей);
- общая схема обустроенного блока (графическое представление спроектированного блока с расставленными на нем скважинами, конструкций зарядов, сечений по заданным профилям и табличные данные по блоку: категории по трещиноватости, коэффициенты крепости пород, сетка скважин, их количество, объем бурения, объем взрыва, количество ВВ, удельный расход ВВ, выход горной массы).

Обширный набор функций модуля позволяет проектировщику осуществлять предварительный просмотр и корректировку выходных документа на экране дисплея, выбирать и настраивать устройства вывода на печать, изменять форматы бумажных носителей в соответствии с размерами страниц выходных документов и др. Пользовательский интерфейс генератора выходных документов представлен на рисунке ниже.

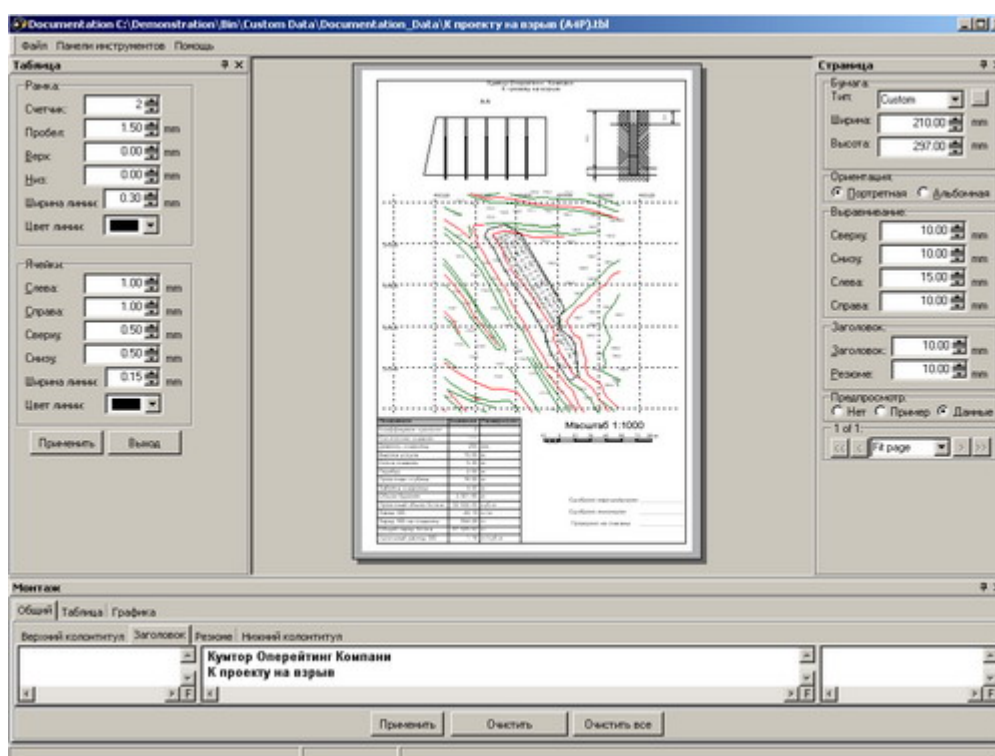


Рис.7. Подготовка шаблона выходного документа

### III. Особенности внедрения системы на предприятии

Для описания строения горного массива и моделирования процессов разрушения горных пород взрывом, в ПТК «Blast Maker» применяются достаточно сложные математические модели, использующие разнообразные вычислительные методики и алгоритмы. Значения большинства коэффициентов для этих моделей определяются методами математической статистики по фактическим данным о свойствах взрывающей среды. Как показывает опыт, каждый карьер имеет уникальные физико-механические и структурные свойства горного массива, которые, в конечном счете, определяют характер диссипации энергии взрыва и степень дробления пород.

В связи с этим, внедрение ПТК «Blast Maker» в производственный процесс требует предварительной адаптации к реальным условиям конкретного месторождения, что обусловлено неполнотой исходных параметров моделируемой среды. Информационное наполнение баз данных программно-технического комплекса в процессе его адаптации осуществляется на основе следующих компонентов:

- проектной геологической информации, полученной при разведочном бурении;
- уточняющих геологических данных при эксплуатационном бурении;
- данных об энергетических параметрах бурения скважин на взрываемых блоках;
- экспертных заключений о фактически произведенных взрывах на карьере.

Процесс адаптации комплекса является достаточно продолжительным по времени и выполняется в течение несколько этапов. Первоначально осуществляется сбор и обработка необходимых данных для предварительного определения значений настроечных коэффициентов математических моделей и вычислительных алгоритмов. Одновременно производится наполнение цифровой модели карьера и создание шаблонов выходных документов в соответствии с принятым на предприятии документооборотом при ведении буровзрывных работ. На этапе опытной эксплуатации системы, по мере накопления оперативной информации, уточняются корреляционные функции крепости и взрываемости горных пород в зависимости от энергетических параметров бурения; подбираются оптимальные способы фильтрации данных, получаемых с буровых станков; корректируются параметры вычислительных алгоритмов с целью максимального соответствия результатов численного моделирования с результатами фактических выполненных взрывов.

После завершения «тонкой» настройки всех модулей и компонентов системы осуществляется переход к промышленной эксплуатации ПТК «Blast Maker» в полном объеме. Опыт внедрения ПТК «Blast Maker» на других предприятиях показывает, что экономическая эффективность достигается:

- повышением качества взрыва за счет полноты информации о взрываемом массиве и прогнозирования результатов дробления;
- оптимальным насыщением разрушаемого массива энергией ВВ;
- оперативностью управления оборудованием и процессами на карьере;
- оптимизацией конструкции заряда по данным, полученным с бурового станка, о распределении энергоемкости бурения по глубине скважины;
- автоматизацией процесса проектирования БВР, когда время подготовки проекта на бурение и взрыв значительно сокращается.

Достижение максимальной эффективности требует полномасштабной адаптации комплекса к условиям карьера, что возможно только после накопления больших массивов данных, проведения ряда экспериментальных взрывов, построения четких зависимостей между удельной энергоемкостью бурения и удельной энергией взрыва, и др. Значительная доля работ требуется по внедрению системы в существующую технологию ведения БВР.

## Автоматизированная система сбора данных с буровых станков «Кобус»

А.О. Киселев ([kiselev@blastmaker.kg](mailto:kiselev@blastmaker.kg))

Институт коммуникаций и информационных технологий  
Кыргызско-Российского Славянского Университета

Программно-технический комплекс (ПТК) Blast Maker предназначен для автоматизированного проектирования массовых взрывов на карьерах. Комплекс включает в себя набор технических и программных средств для сбора данных о свойствах массива горных пород, называемый автоматизированная система сбора и передачи данных с бурового станка (далее по тексту – АССД БС КОБУС, или система КОБУС), и программный пакет, именуемый САПР БВР Blast Maker, обеспечивающий анализ и использование данных о свойствах массива горных пород. В процессе обуривания блока станками, оснащенными оборудованием КОБУС, регистрируется массив данных, характеризующих энергетические показатели процесса бурения каждой скважины по глубине (давление воздуха, давление вращателя, осевое давление, скорость проходки, скорость вращения бурового става). Эти показатели затем обрабатываются, и на их основе вычисляется энергоёмкость бурения для каждого метра скважины. По полученной энергоёмкости, при наличии информации по координатам устьев скважин, формируется трехмерная модель распределения энергоёмкости бурения массива, что дает возможность оптимизировать распределение заряда ВВ как по скважинам, так и по глубине скважин. Эта задача решается в САПР БВР Blast Maker.

Рассмотрим подробнее функциональные возможности АССД БС КОБУС. Установка на буровые станки оборудования «КОБУС»<sup>®</sup> Программно Технического Комплекса «Blast Maker»<sup>®</sup> позволяет создать обширную и объективную компьютерную базу данных о процессе бурения. Основным преимуществом контроллера бурового станка «КОБУС»<sup>®</sup> является автоматическая регистрация параметров с различных датчиков в процессе бурения. Это обеспечивает сбор объективных данных для каждой скважины по времени, глубине, режиму бурения, количеству затраченной энергии на бурение любого интервала по глубине и по времени бурения. Эта информация может быть проанализирована как в режиме реального времени, так и за любой промежуток времени с начала сбора данных по всевозможным направлениям, а принятые выводы и решения будут иметь под собой надёжную базу.

Безусловно, проектирование оптимальных взрывных блоков - это главное направление ПТК Blast Maker, которое более подробно освещается в других докладах специалистов. Однако предоставляемая комплексом возможность изучения накопленной базы данных открывает широкий простор для выполнения анализа по различным направлениям производственной деятельности горнодобывающего предприятия: мониторинг и анализ эффективности использования бурового инструмента, сравнительный анализ мастерства операторов бурения с целью определения наиболее эффективных приёмов и режимов бурения, изучение накопленной базы данных в зоне поверхности рабочего борта карьера с целью определения оптимальной конфигурации окончательного борта, и других.

Немаловажным является и то, что руководитель буровых работ получает возможность в режиме реального времени, не выходя из кабинета, проконтролировать и проанализировать работу по любому буровому станку или оператору, номеру блока и номеру скважины: глубину забоя, параметры режима бурения, производительность, выполнение плана и, при необходимости, оперативно внести коррективы в производственный процесс. Такая прозрачность процесса бурения в значительной степени дисциплинирует коллектив и способствует повышению эффективности ведения буровзрывных работ.



Таким образом, можно выделить основные задачи, решаемые АССД БС КОБУС:

- контроль режимов основных узлов бурового станка;
- представление данных для картирования карьера по физико-механическим свойствам на основании данных, непрерывно получаемых в процессе бурения взрывных скважин;
- получение информации о бурении в режиме реального времени;
- оценка производительности долот;
- диспетчеризация бурового участка;
- съем фактических координат, навигация.

Структурная схема установки АССД БС КОБУС показана на рис.1. На предприятии разворачивается радиосеть (или используется уже существующая). Все буровые станки оснащаются оборудованием Кобус (это датчики, прибор Кобус, ГНСС приемник, радиомодем и пр.). На сервере, подключенном к радиосети предприятия, устанавливается программное обеспечение системы (система управления базой данных, ПО БС «Кобус», вспомогательные утилиты и пр.). С этого момента вся информация, собираемая со станков, начинает поступать на сервер системы Кобус и сохраняться в базе данных. Для использования этой информации любой отдел может подключиться к серверу через локальную сеть предприятия и получать необходимые отчеты или проконтролировать работу оборудования в режиме реального времени.

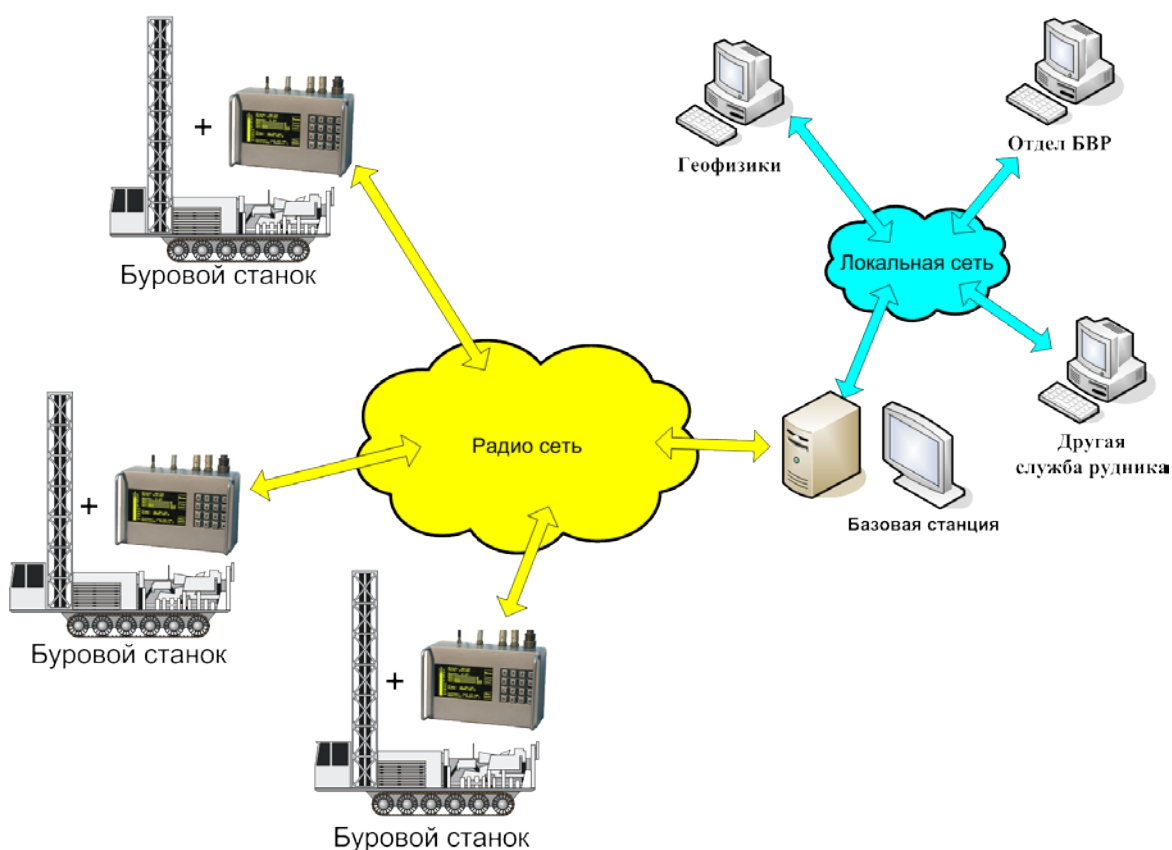


Рис. 1. Общая схема АССД БС Кобус.

Радиосеть для работы системы Кобус может быть построена на использовании любой современной технологии построения цифровой радиосети. Например, это может быть как стандарт 802.11b, так технологические решения на базе MESH, при небольшом количестве станков и несложной геометрии карьера возможно использование одноканальных радиомодемов. Рекомендуется использовать радиосеть,

построенную на базе MESH технологий и оснащать ею не только буровые станки, но и на экскаваторы, и другую технику для улучшения многосвязности сети.

Поскольку никакая радиосеть не может гарантировать полную работоспособность и абсолютное радиопокрытие, в приборе Кобус есть внутренний буфер на 1 месяц автономной работы. При выходе из радиотени или при восстановлении радиосети, все данные накопленные прибором автоматически передаются на сервер.

Стандартный набор подключаемых датчиков состоит из датчика глубины, датчика осевого давления, датчика давления вращателя, датчика давления воздуха, датчика скорости оборотов штанги для гидравлического станка. Для электрических станков вместо датчиков осевого и вращательного давлений используются датчики тока и напряжения якоря двигателя. Кроме того, к прибору Кобус можно подключить датчики угла наклона мачты, датчик уровня топлива, а также два высокоточных ГНСС приёмника. На этом список дополнительных датчиков не заканчивается и по согласованию с предприятием может быть установлено множество других датчиков. Таким образом, используемый набор подключенных датчиков позволяет объективно измерять такие показатели, как:

- Усилие на забой
- Скорость проходки
- Затраты энергии на бурение любых участков скважин
- Координаты устьев скважин
- Углы наклона скважин
- Режимы работы вращателя
- Расход топлива
- Автоматическое определение режимов работы бурового станка

При этом следует отметить, что для диспетчеризации бурового участка и построения большинства отчетов максимально важным датчиком является глубиномер. Он может быть как уже существующий, так и быть отдельно заказываемой опцией. Прибор Кобус может подключаться к любому типу глубиномера.

Техническая база, заложенная в аппаратное обеспечение системы Кобус, может быть легко расширена для установки на другую технику, в том числе экскаваторы, погрузчики и самосвалы.

Помимо сбора и передачи данных с датчиков, прибор имеет экран и клавиатуру для взаимодействия с буровым мастером. На экране отображаются разнообразные параметры, например, такие, как:

- номер буримого блока;
- номер текущей скважины;
- положение бурового инструмента;
- уровень, до которого уже пробурена скважина;
- серийный номер долота;
- табельный номер машиниста и помощника;
- текущая дата и время;
- измеряемые и вычисляемые параметры;
- простои;
- пробуренные за смену метры;
- текущее состояние контрольных узлов системы Кобус.

При этом буровой мастер может вводить идентификационные номера долота, табельные номера свой и помощника, текущий вид простоя, при отсутствии высокоточных ГНСС приемников также номер блока и скважины, и некоторые другие параметры.

Система Кобус позволяет обмениваться короткими сообщениями между диспетчером и буровыми мастерами.

Структура базового программного обеспечения системы Кобус представлена на рис.2.

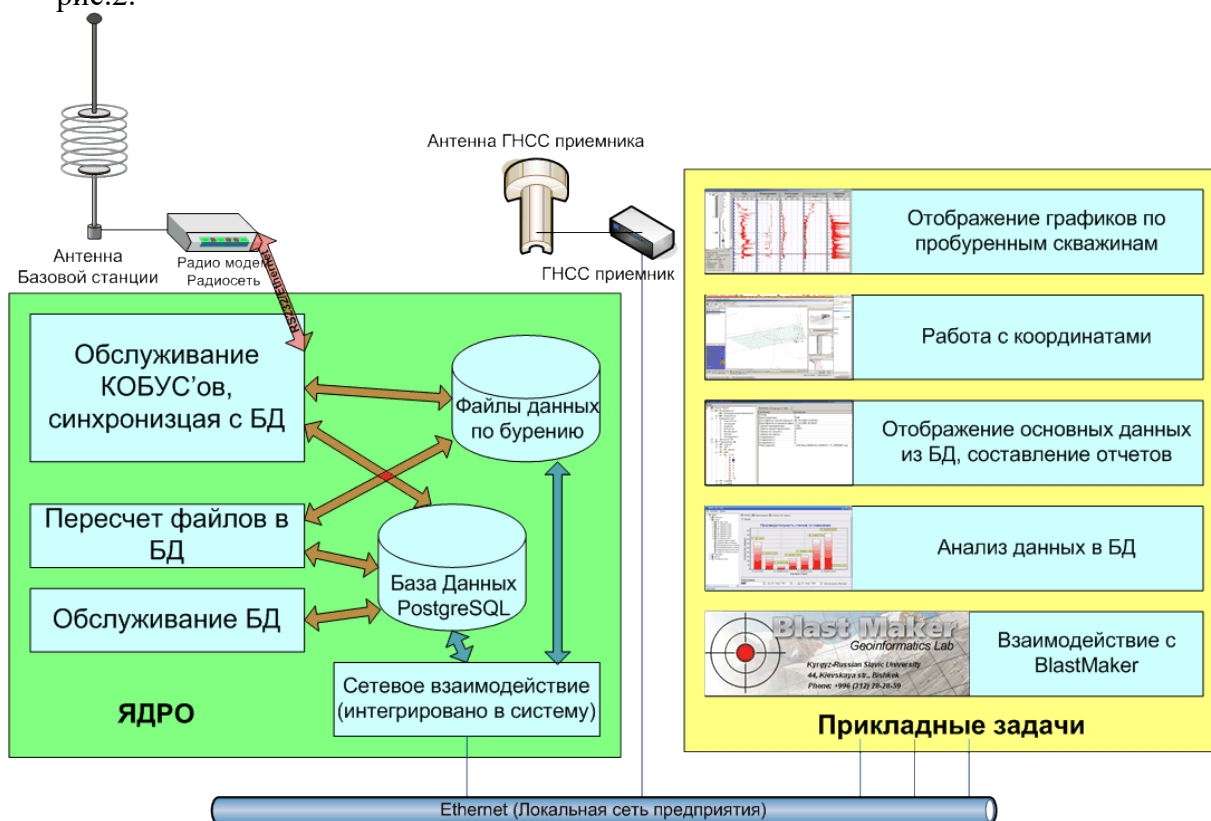


Рис.2. Структура базового программного обеспечения системы Кобус.

Всё взаимодействие с системой осуществляется через локальную сеть предприятия посредством использования сетевых подключений к базе данных. Система построена с расчетом минимального участия административного воздействия. В базе данных накопленные данные автоматически архивируются. Система регулярно делает репликации базы данных на указанное администратором хранилище. Система многопользовательская и позволяет подключаться неограниченному количеству пользователей. Все данные хранящиеся в системе и построенные на них отчеты можно просмотреть при помощи использования клиентского программного обеспечения АССД БС Кобус.

Данные, получаемые с датчиков в процессе бурения скважины, позволяют увидеть реальные значения параметров процесса, таких как глубина скважины, время бурения, скорость проходки, обороты бурового става, давление воздуха на забой, давление вращателя бурового става, давление на забой, ток и напряжение вращателя (в случае электрического станка), наклон скважины и др. Кроме того, благодаря использованию высокоточных двухантенных приемников системы GPS/ГЛОНАСС, становится возможным получение точных координат скважин и их азимута (для наклонных скважин), а так же высотной отметки устья скважины, вычисляемых на основе спутниковых данных.

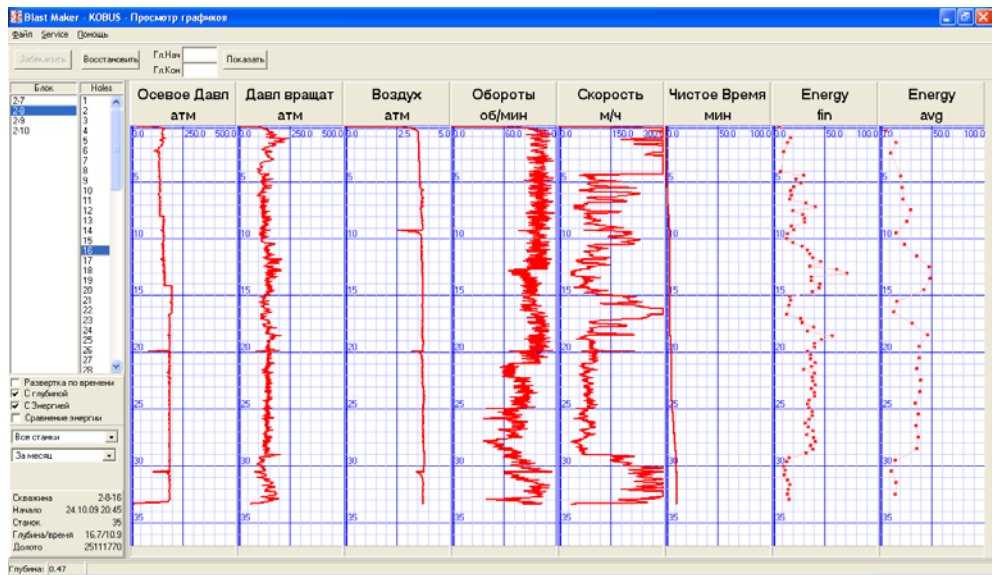


Рис. 3. Получаемые параметры по каждой скважине.

Используя известные алгоритмы, на основе полученных данных вычисляется удельная энергоёмкость бурения. Энергоёмкость бурения позволяет вычислить крепость породы и индекс буримости. Полученные данные позволяют построить профиль по каждой скважине, отображающий «крепость» породы по глубине в зависимости от затраченной на бурение энергии.

Данные о технологических операциях бурового станка предоставляют информацию о действиях, которые имели место в процессе работы бурового станка. Обычно на предприятии каждое действие бурового станка отслеживается диспетчером, имеющим в качестве основы так называемое дерево простоев. Как правило, список простоев разбит на категории (планируемые, не планируемые, вспомогательные простои и т.д.), каждая из которых может иметь свои подкатегории (регламентные работы, механические работы, организационные работы и т.д.). В конечном итоге данная информация служит для определения эффективности использования оборудования на предприятии. Каждый простой обрабатывается и подтверждается диспетчером с использованием специализированного ПО (рис.4).

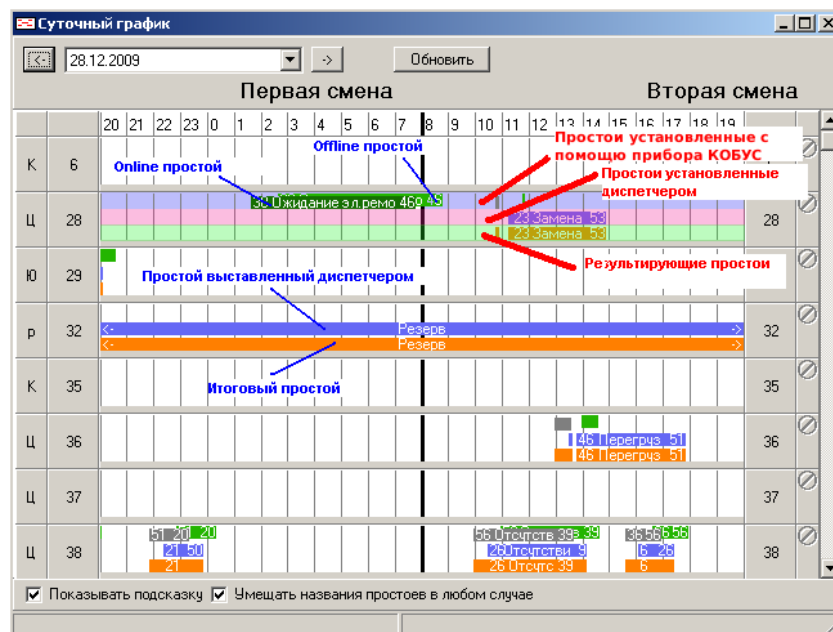


Рис. 4. Внешний вид рабочего места диспетчера по работе с простоями оборудования.

Кроме того, система позволяет получать информацию о производительности каждого бурового станка, а также каждого машиниста в отдельности (по пробуренным метрам, скважинам), вести статистический учет использования шарошечных долот, что, в конечном итоге, позволяет получить представление о «стойкости» того или иного долота на различных типах пород и при различных режимах бурения (рис.5).

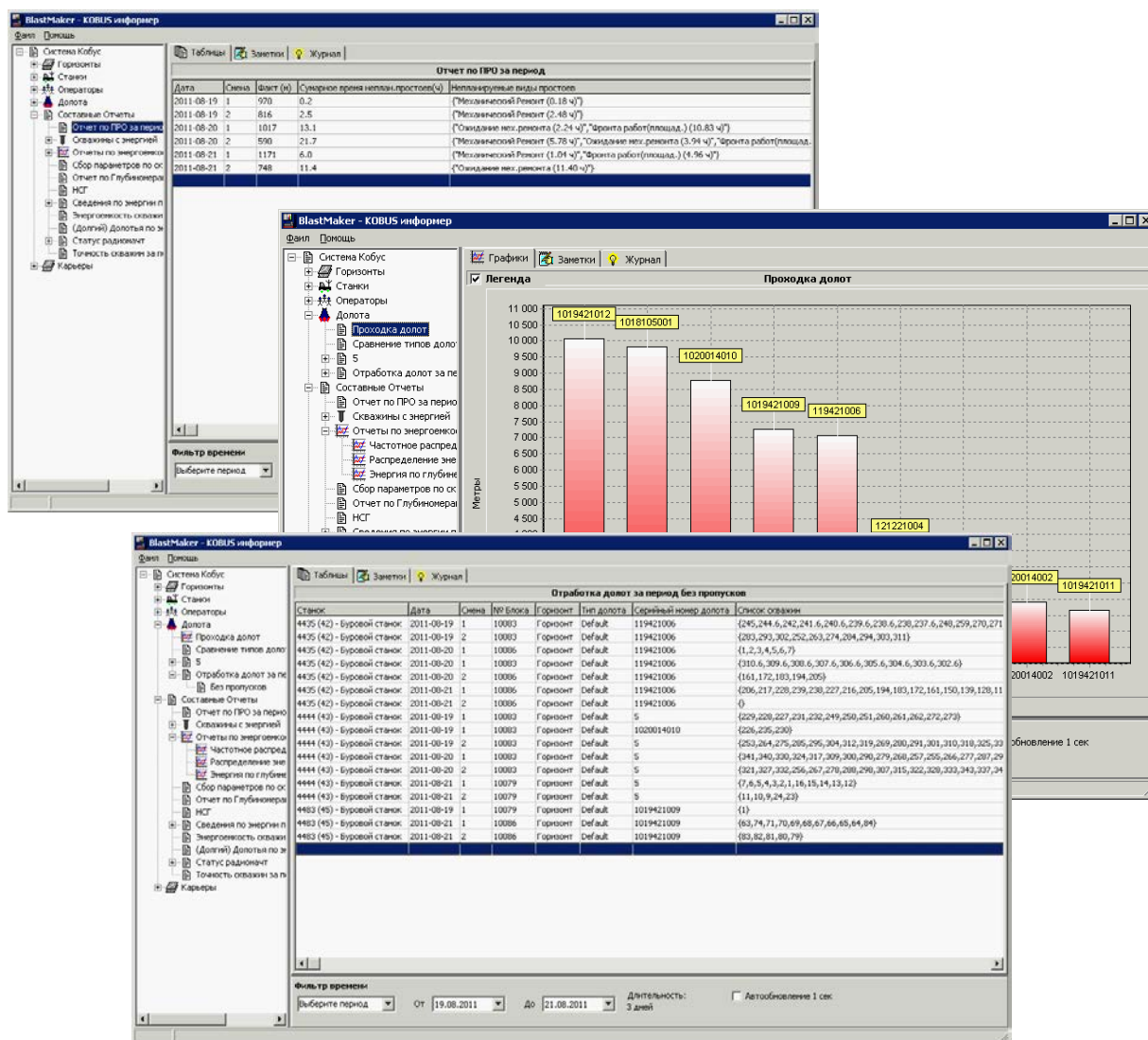


Рис. 5. Разнообразные отчеты по системе

Наиболее интересной подсистемой является модуль «Координаты» (рис.6). Применение в составе системы высокоточного GPS/ГЛОНАСС оборудования позволяет значительно расширить ее возможности. Внедрение подсистемы «Координаты» позволяет дополнительно к существующим возможностям ПТК:

- автоматически определять фактические координаты пробуренных скважин с точностью  $\pm 0,25$ м, с привязкой к буровому мастеру, номеру скважины и всем измеряемым технологическим параметрам бурения, и передачу этих координат на сервер и в программный пакет САПР БВР,
- буровому мастеру на экране прибора «КОБУС»<sup>®</sup> визуально представлять проект на бурение и текущее местоположение бурового станка, выбирать номер блока и номер скважины непосредственно по изображению на экране, без ввода цифр номера с клавиатуры, для этого проект на бурение по радиоканалу передается на приборы «КОБУС»<sup>®</sup> буровых станков,

- диспетчеру в реальном времени представлять фактическое местоположение всех буровых станков и текущие данные по ним с использованием клиентской программы.

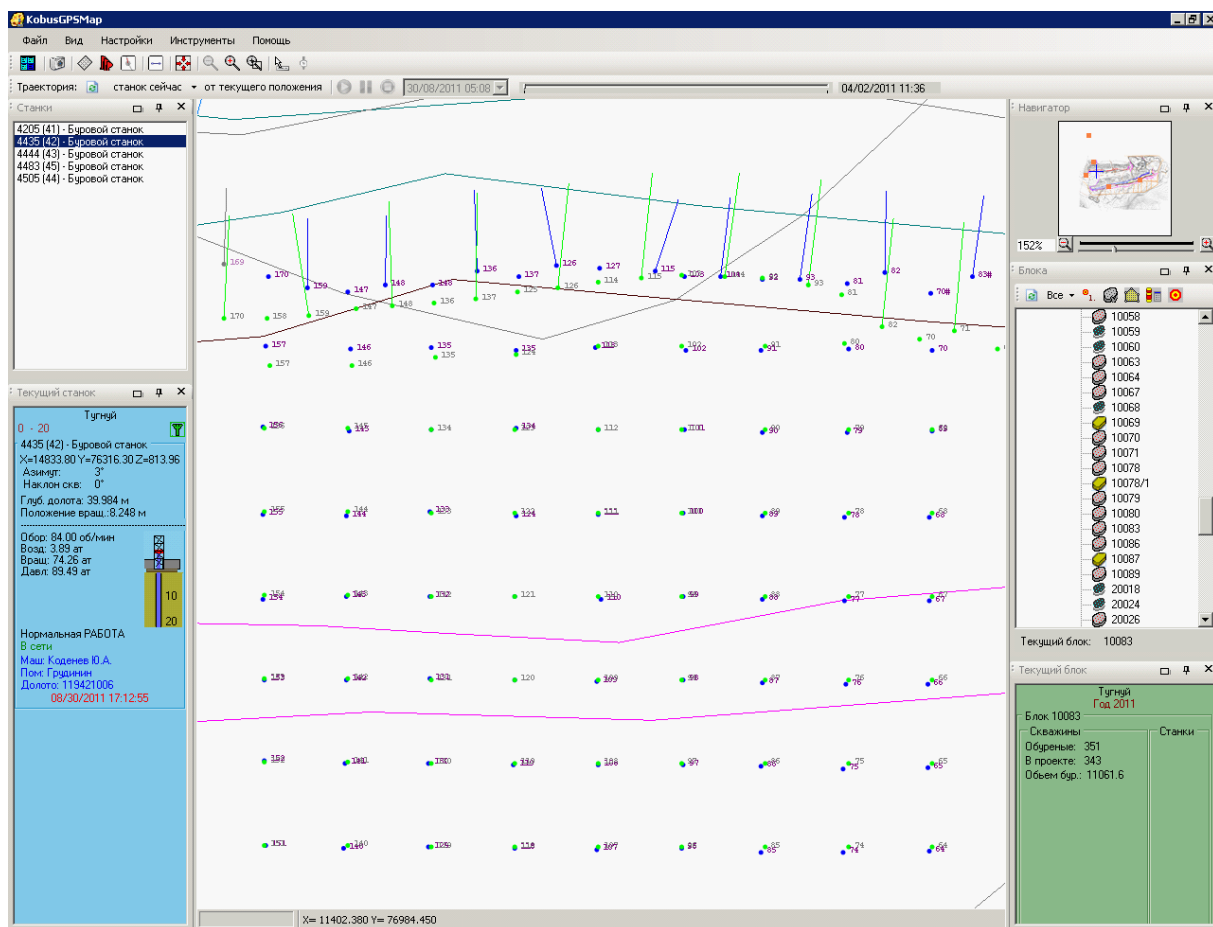


Рис. 6. Пробуренные фактические скважины, снятые системой «КОБУС»<sup>®</sup>, наложенные на проектные скважины.

Наличие точных координат реальных скважин, информации о наклоне, азимуте и глубине каждой из них, позволяет отказаться от маркшейдерской съемки пробуренного блока и внести коррективы в проект на взрыв в соответствии с полученными данными.

Внедрение подсистемы «Навигация» может быть осуществлено после внедрения подсистемы «Координаты». Система в полной комплектации реализует позиционирование станка. Для этого паспорт на бурение по радиоканалу передается на бортовой контроллер «КОБУС»<sup>®</sup>. Отображаемые на экране прибора проектные координаты скважин позволяют в реальном времени позиционировать станок на выбранную скважину по проекту (рис.7). При этом точность следования не будет зависеть от многих внешних факторов, таких как погодные условия, снежный покров или ночное время. Так же отпадает необходимость вынесения координат скважин на блок, на что в среднем тратится до 40% времени подготовки блока к взрыванию.





Рис. 7. Экран навигации на экране прибора «КОБУС»®.

При наличии координатной информации устьев скважин, записанных параметрах бурения по каждой скважине и рассчитанной энергоемкости можно строить цифровые трехмерные модели с возможностью визуализировать залегание слоев твердых или мягких пород (рис.8).

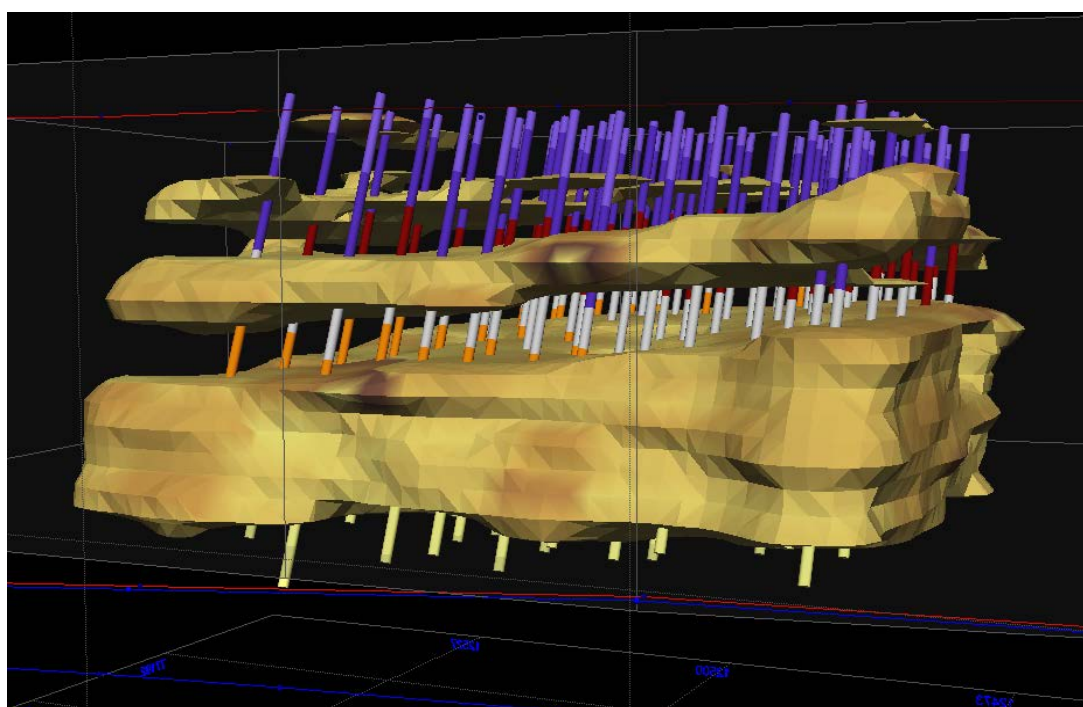


Рис. 8. Трехмерная модель залегания твердых прослоек в массиве горных пород на основе энергоемкости бурения.

Система «КОБУС»® также содержит в себе набор программного обеспечения для обслуживания системы, позволяющего:

- создавать и редактировать отчеты и их древовидную структуру,
- обновлять программный код контроллеров,

- производить мониторинг работы контроллера, датчиков, приемников навигационных спутниковых приемников, абонентских терминалов радиосвязи с целью выявления возможных неисправностей системы (рис.9),
- редактировать дерево простоев (рис.10),
- управлять основными данными системы,
- самостоятельно добавлять новые приборы в систему.



Рис. 9. Главное окно программы мониторинга работы оборудования сбора данных.

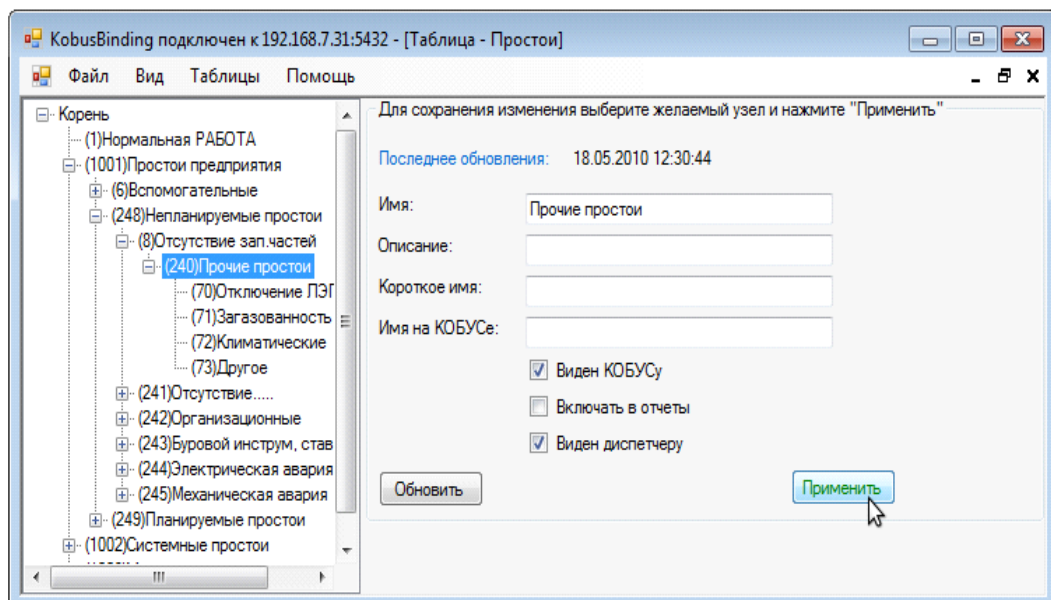


Рис. 10. Изменение дерева простоев в системе.

Таким образом, использование автоматической системы сбора данных с буровых станков «КОБУС»<sup>®</sup> позволяет получить значительный эффект благодаря:

- уменьшению количества перебуров и недобуренных скважин,

- определению энергоёмкости бурения и, как следствие, относительной крепости породы,
- определению границ залегания пластов полезного ископаемого или рудного тела,
- своевременной работе служб снабжения и главного механика,
- навигации буровых станков,
- увеличению точности расположения и глубин пробуриваемых скважин согласно паспорту на бурение,
- улучшению проработки подошвы,
- уменьшению затрат на маркшейдерские работы,
- уменьшению затрат на диспетчеризацию буровых станков,
- отслеживанию технологических операций диспетчером и сведению непроизводительных задержек к минимуму за счет более оперативного реагирования на их возникновение,
- мониторингу стойкости шарошечных долот и другого бурового инструмента,
- переводу документооборота в электронную форму.

## Опыт внедрения и эксплуатации АССД БС КОБУС

А.О. Киселев ([kiselev@blastmaker.kg](mailto:kiselev@blastmaker.kg))

Институт коммуникаций и информационных технологий  
Кыргызско-Российского Славянского Университета

Программно-технический комплекс (ПТК) Blast Maker предназначен для автоматизированного проектирования массовых взрывов на карьерах. Комплекс включает в себя набор технических и программных средств по сбору данных о свойствах массива горных пород, называемый автоматизированная система сбора и передачи данных с бурового станка (далее по тексту – АССД БС КОБУС, или система КОБУС) и программный пакет, именуемый САПР БВР Blast Maker, предназначенный для использования и анализа данных о свойствах массива горных пород. Далее будет рассмотрен опыт внедрения АССД БС Кобус на примере СУЭК ТУР (Сибирская Угольно-Энергетическая Компания Тугнуйский Угольный Разрез).

При внедрении любой крупной информационной системы на производстве всегда возникают точки расхождения изначально разработанной системы с реальностью производственного цикла. При внедрении решаются вопросы настройки программного обеспечения для использования его на конкретном предприятии, как стандартными способами, так и нестандартными. Немаловажным аспектом внедрения является обучение пользователей работе с системой. Для успешного внедрения системы потребовалось выполнение дополнительных работ по практически всем компонентам и направлениям применения ПТК Blast Maker. В частности по АССД БС Кобус решались следующие задачи и проблемы:

- работы по радиосети;
- работы по внедрению ГНСС;
- модификация программного обеспечения приборов Кобус;
- восстановление штатных датчиков на станках;
- добавление отчетов для предприятия;
- установка датчика глубины на PitViper;
- несоблюдение стандартов ведения горных работ.

### ***Радиосеть***

После развертывания радиосети на разрезе, включающего установку, подключение и настройку трех радиомачт с активным оборудованием, выяснилось, что питающая сеть переменного тока не удовлетворяет стандарту ГОСТ Р 51317.2.4-2000 класс 3 (это самый тяжелый вариант для работы оборудования, с огромными допусками). В результате чего оборудование стало выходить из строя. Для решения этой проблемы нами устанавливались различные варианты электрозащиты. Но несоответствие питающего напряжения никаким стандартам сильно усложнило задачу поиска подходящих решений. Пришлось балансировать между автоматически восстанавливающимися защитными устройствами, иногда выходящими из строя, и плавкими предохранителями, гарантированно защищающими оборудование, но неудобными в эксплуатации с точки зрения их быстрой замены (для замены предохранителя нужно выехать к мачте на спец транспорте за несколько километров и подняться на мачту). Подробное изучение питающей сети 220 вольт выявило несколько проблем:

- периодические полные отключения линии на время от часа до недели;
- периодические понижения напряжения до 160 вольт длительностью от минут до месяцев;

- периодические повышения напряжения до 270 вольт длительностью от минут до месяцев;
- резкие выбросы напряжения амплитудой до 10000 вольт, и выше, при переключениях тяжелого оборудования на разрезе;
- были зафиксированы случаи кратковременного соединения линий 220 вольт и 6000 вольт;
- отсутствие заземления на некоторых мачтах, отсутствие заземления нулевого провода на некоторых мачтах.

Стоит отметить, что большинство промышленных средств защиты, предназначенных для защиты оборудования, питающегося от сети 220 вольт, сами выходили из строя спустя месяц работы.

Для защиты оборудования электропитания радиосети от ненадежного питания была установлена многоступенчатая защита в виде грозоразрядников, разделяющих трансформаторов, подавителей импульсов, источников бесперебойного питания. После этого частота отказов оборудования радиосети резко снизилась, и свелась к замене плавких предохранителей один-два раза в год. При этом поиск решений по защите оборудования продолжается.

На текущем этапе самым сложным моментом являются длительные отключения электропитания (на период до суток, и более). Для решения этой проблемы устанавливаются регистраторы параметров напряжений на всех мачтах с возможностью сигнализации.

Не менее тяжелой проблемой при развертывании радиосети была необходимость обеспечить полноценное радиопокрытие всего разреза. Задача для разреза усложняется тем, что в отличие от классического карьера разрез имеет форму узкой изогнутой щели, при этом таких щелей две и находятся они между бестранспортными отвалами. Для более качественного покрытия пришлось установить дополнительную радиомачту. Также была установлена дополнительная радиоточка на одном из шагающих экскаваторов. Поскольку сеть была построена на технологии MESH, то это радиоточка автоматически становится ретранслятором для близлежащих станков.

Усложнялись работы по радиопокрытию разреза тем, что после установки постоянных мачт в места, где отработка закончена, вдруг начинались буровзрывные работы, что приводило к серьезным организационным проблемам.

На настоящий момент к работе радиосети претензий нет.

### ***Работы по внедрению ГНСС***

Внедрение высокоточных ГНСС приемников на буровые станки существенно отличается от внедрения стандартных ГНСС приемников для обеспечения диспетчеризации подвижного транспорта. Для высокоточного решения ГНСС позиции требуется установить ГНСС базовую станцию, обеспечить связь без задержек между базовой станцией и приемниками на буровых станках. Требуется обеспечить переход от глобальных координат ГНСС в локальные координаты с высокой степенью точности, как минимум не менее 1 см. Все решения ГНСС должны быть получены в реальном времени.

При внедрении на СУЭК ТУР предприятию было несколько проблем:

- Невозможность установки мачты антенны базового приемника ГНСС один раз. В процессе эксплуатации системы пришлось переносить мачту.
- Отсутствие настроечных переводных моделей у маркшейдеров. В связи с чем привязку пытались осуществить через маркшейдерские измерения антенн. Но это осложнилось тем, что только с 4-й попытки маркшейдеры смогли дать точные данные по положению нескольких станков в разрезе. В связи с чем, внедрение проводилась в два этапа. Сначала была настроена система перевода координат неточным способом (погрешность 1 м). Затем, когда предприятие смогло выдать точные координаты

нескольких реперных точек, система перевода была уточнена до высокой точности (погрешность менее 3 см).

Для точного определения координат устьев скважин потребовались измерения положения буровых станков с высокой степенью точности. При этом обнаружилось проблемы по измерению некоторых опорных точек на буровых станках. Проблему решили измерением разными методиками и разными базовыми линиями всех характерных точек станков и вычисления среднего.

В результате внедрения модуля «координат» маркшейдеры перестали измерять координаты скважин блока. Теперь они используют координаты, полученные в системе.

Экспериментальные периодические проверки не выявляют расхождений более 5 см.

### ***Модификация программного обеспечения***

После установки приборов на станки и начала экспериментальной эксплуатации системы, от буровых мастеров и начальника бурового участка поступили предложения по улучшению. В рамках этих предложений были выполнены следующие задачи по модификации прошивки приборов Кобус:

- Отображение сводной сменной информации на приборах. Это добавило мотивацию для буровых мастеров по корректной работе с прибором. После внедрения этой функции машинисты буровых станков существенно реже стали забывать указывать начало новой скважины.

- Отображение уже пробуренных скважин. Когда ГНСС координаты начали работать правильно, машинисты буровых станков стали активно пользоваться навигационными возможностями системы. При этом, пока не была решена проблема с неточными маркшейдерскими данными, им необходима была актуальная информация по блоку и уже введенной нумерации скважин, а также для расчета скорости обуривания блока.

- Изменение дерева простоев. Поскольку при внедрении было использовано дерево простоев для электрических буровых станков, машинисты буровых станков и начальник бурового участка просили удалить простои, которые были неактуальны для гидравлических станков. Кроме того, они просили сократить число разновидностей простоев до минимального (было сокращено с 150 видов до 50), чтобы им было привычнее. Спустя полгода эксплуатации системы в промышленном режиме начальник бурового участка освоился с управлением простоями и запросил увеличение числа их разновидностей. На данный момент на предприятии учитывается 85 видов простоев буровых станков.

- Улучшение дистанционного программирования приборов по радиосети. В связи с часто появляющимися новыми требованиями к системе достаточно часто приходилось модифицировать программную прошивку на приборе Кобус. Изначально для этой операции требовалось выезжать на станок с ноутбуком и посредством прямого подключения изменять программу. После выполнения нескольких циклов таких обновлений стало понятно, что это весьма непроизводительно. Была написана утилита по удаленному обновлению прошивки. Теперь всё обновление происходит по радиосети, централизованно, посредством запуска соответствующей утилиты на сервере системы.

- Предупреждение машиниста о дубликаты номера скважины. На начальном этапе внедрения одним из серьезных изменений системы была возможность ввода повторяющихся номеров скважин на блоке. Затем, когда система была внедрена, дублирующие номера стали мешать, и на приборе Кобус было введено предупреждение о попытке ввести уже использованный номер скважины. Прибор об этом сигнализирует, и машинист обычно находит свою ошибку и исправляет номер.



- Обмен короткими сообщениями между диспетчером и машинистом. Геометрически разрез Тугнуйский представляет собой две щели, с северной стороны которых есть высокие отвалы. Диспетчерская находится с севера от обеих щелей. Поэтому голосовая радиосвязь с машинистами буровых станков, находящихся длительное время на нижних горизонтах, практически полностью отсутствовала. При этом цифровая радиосеть после её расширения успешно продолжает работать на этих горизонтах. Поэтому по просьбе бурового участка была реализована возможность обмена короткими сообщениями между диспетчером и буровыми станками. Этой возможностью на предприятии, после её презентации, стали активно пользоваться не только внутри бурового участка, но и другие службы. В частности проектировщик может сообщить важную информацию об изменении паспорта на еще не пробуренные скважины, или отдел по техническому обслуживанию опрашивает машинистов на предмет наличия проблем.

Естественно, что выполнение этих задач не обошлось без модификации базового и клиентского программного обеспечения всей АССД БС Кобус.

Кроме того, при внедрении ГНСС системы были разработаны и сданы в эксплуатацию несколько новых модулей системы. В частности был добавлен новый программный модуль «рабочее место маркшейдера», с помощью которого маркшейдеры могут редактировать некорректно введенную машинистами буровых станков информацию или добавлять какие-либо свои данные. После внедрения этого модуля маркшейдеры стали заносить данные по своим измерениям глубин и обводнения в систему в цифровом виде. Если раньше они записывали эти данные на бумагу, что иногда приводило к некорректным результатам при их усреднении или при беглой оценке этих данных, то после получения возможности ввода этих данных в систему повысилось качество итоговой работы при сокращении времени на её выполнение.

#### ***Восстановление штатных датчиков на станках***

Очень остро встал вопрос работоспособности штатных датчиков на станках. Максимально долго восстанавливался датчик глубины на одном из станков (более года). Отсутствие запчастей, нежелание заниматься работой, не относящейся непосредственно к вращению долота, постоянные переключивания ответственности между подразделениями привели к полному срыву сроков восстановления датчиков. В итоге датчики были восстановлены нашими специалистами.

По мере перевода системы в промышленную эксплуатацию был согласован регламент работ по техобслуживанию системы, теперь проблемы с датчиками решаются достаточно оперативно.

#### ***Добавление отчетов для предприятия***

После внедрения системы и начала опытной эксплуатации предприятие заинтересовалось выдачей разнообразных дополнительных отчетов. В частности, увидев возможности системы, начальник бурового участка заинтересовался почасовой статистикой по оборудованию, что было реализовано в рамках внедрения системы. На основе этого отчета на предприятии предпринимаются меры по улучшению организации работ и повышению производительности бурового участка, что до внедрения системы было невозможно.

Кроме того, благодаря сетевому характеру взаимодействия с базой данных системы, вышестоящая организация получила доступ к системе построения отчетов и запросила несколько видов дополнительных отчетов по работе бурового цеха и системы. И теперь, к примеру, отчет по посменному выполнению плана или месячный отчет по производительности вышестоящая организация может получить в любой момент и за

любой период, даже не обращаясь с запросами к предприятию. Что позволяет более оперативно и качественно влиять на ситуацию.

При этом в период внедрения на предприятии очень долго не были сформулированы требования по желаемым отчетам, которые хотели бы видеть специалисты и руководство предприятия. Связанно это с тем, что многие не представляли возможности системы до начала ее использования, и, получив лишь базовые отчеты, были рады уже тому, что было заложено без учета их потребностей. По мере внедрения системы и обучения, специалисты стали запрашивать дополнительные виды отчетов, которые и были реализованы в рамках внедрения.

Добавлялись не только отчеты по итоговым рабочим характеристикам техпроцессов, но и отчеты, касающиеся функционирования и состояния самой системы. Так, по запросу службы технического обслуживания, были добавлены отчеты по КТГ радиосети и по работе высокоточных ГНСС приемников как по текущему состоянию, так и за произвольно задаваемый период.

### ***Отклонение от стандартов***

При внедрении системы были сложности не только технического характера, но и многочисленные организационные проблемы. Так одной из вопиющих и достаточно длительных проблем было бурение блока с чисто формальным паспортом на бурение (типовой паспорт без учета геометрии, глубин и прочего). По мере внедрения системы, предприятие пыталось перейти на бурение по спроектированному паспорту, но неготовность к такому переходу приводила к тому, что бурение часто не соответствовало паспорту на бурение. Использовался подход: есть площадка – начинайте бурить от борта и до обеда. Но внедрение системы положило конец этой порочной практике. Машинисты привыкли использовать систему для наведения станков на скважины, и стали отказываться бурить при отсутствии паспорта.

Еще одной серьезной проблемой, тесно связанной с предыдущей, была некорректная геометрия площадки во время проектирования паспорта на бурение. Изначально это объяснялось тем, что маркшейдеры не успевают отснять площадку после планировки. После внедрения системы у маркшейдеров появилось существенно больше времени на основную работу, и такие расхождения стали уменьшаться.

Следствием двух предыдущих проблем на начальном этапе внедрения была несвоевременная выдача паспорта на бурение машинистам, так как маркшейдеры не успевали дать площадку, проектирование велось на бумаге, а бумажную копию паспорта надо было доставить до буровых станков, что весьма не быстро. После внедрения системы маркшейдеры стали выдавать площадку для проектирования в электронной форме, что ускорило проектирование, кроме того, после проектирования и утверждения паспорта на бурение достаточно нажать одну кнопку, чтобы паспорт загрузился в приборы Кобус на буровых станках.

Из-за возникновения вышеописанных проблем, одним из серьезных изменений системы было обеспечение возможности ввода дубликатов номеров скважин на блоке. Таким образом, удалось приучить буровых мастеров всегда вводить номер скважины по паспорту, даже, несмотря на то что на начальном этапе ввода системы в эксплуатацию, когда точность перевода ГНСС координат в локальные координаты не была высокой, при бурении несколькими станками часто возникали разногласия на стыковке блока. Также возникали проблемы при бурении по формальному паспорту с последующим добуриванием по настоящему паспорту, при человеческих ошибках в подсчете рядов и скважин в ряду, и прочее. После внедрения системы и работы в режиме нормальной эксплуатации эту возможность оставили для разных экзотических случаев, но при попытке ввести совпадающий номер скважины прибор об этом сигнализирует и машинист обычно находит свою ошибку и исправляет номер.

### *Заключение*

Система АССД БС Кобус внедрена и активно используется на предприятии. В системе производится определение энергоёмкости бурения, определение уровней залегания пластов угля, навигация буровых станков, отслеживание технологических операций начальником бурового участка, мониторинг стойкости шарошечных долот. Благодаря внедрению системы было уменьшено количество перебуров и недобуренных скважин, работа служб снабжения и главного механика стала более оперативной, увеличилась точность расположения скважин на блоке и глубин пробуриваемых скважин в соответствии с паспортом на бурение, как следствие улучшилась проработка подошвы. Повысилось качество маркшейдерских работ за счет высвобождения дополнительного времени при использовании системы. Улучшился документооборот между отделами за счет перевода его в электронную форму.

АССД БС Кобус в настоящее время эксплуатируется в промышленном режиме. У предприятия есть интерес к улучшению системы и охвату других подразделений.

## Опыт внедрения и эксплуатации ПТК "Blast Maker"

С.Ю. Татарчук ([steve@istc.kg](mailto:steve@istc.kg))

Институт коммуникаций и информационных технологий  
Кыргызско-Российского Славянского Университета

Программный пакет САПР БВР «Blast Maker» - является комплексом программных средств, объединяющих цифровую модель месторождения, способы и средства сбора информации о среде, математическую модель взаимодействия заряда со средой, и средства, обеспечивающие подготовку необходимой проектной документации для производства массовых взрывов.

Внедрение в производство ПТК «Blast Maker» требует адаптации к реальным условиям карьера. При этом необходимо проведение целого ряда численных экспериментов, которые позволяют настроить корреляционную модель, уникальную для каждого месторождения.

### *Жизненный цикл процесса внедрения ПТК «Blast Maker» с адаптацией*

Полная адаптация комплекса – процесс длительный, поскольку он направлен на интеграцию с технологией производства, принятой на горном предприятии, дополняя ее, автоматизируя и, как следствие, совершенствуя.



Весь процесс внедрения состоит из нескольких этапов. Первоначально потребуется сбор входных параметров системы, наполнение базы данных (БД) геологической и маркшейдерской информацией и подстройка пакета к принятой технологии ведения буровзрывных работ. Следующая стадия – установка и наладка компонентов ПТК, после чего становится возможной правильная эксплуатация системы. По мере сбора и накопления данных будут уточняться корреляционные зависимости параметров бурения от физико-механических свойств слагающих горных пород, а также способы фильтрации данных, получаемых в процессе бурения. Это позволит по имеющейся методике определить эмпирические зависимости между удельной энергоемкостью бурения и удельной энергоемкостью взрывного разрушения горной породы для данного карьера.

Каждое месторождение имеет свое уникальное и неповторимое геологическое строение. Каждый карьер обладает уникальными и неповторимыми физико-механическими свойствами горных пород. На каждом карьере различные типы ВВ производят разрушение горного массива по-разному. ПТК «Blast Maker» - мощный и сложный инструмент, но вместе с тем обладающий достаточной гибкостью, позволяющей адаптировать комплекс к условиям любого горнодобывающего предприятия.

В состав комплекса входит модуль импорта / экспорта данных, который отвечает за взаимодействие с другим программным и аппаратным обеспечением. Однако зачастую разработчики подобного ПО создают свои собственные форматы данных, что в некоторой степени усложняет процесс подстройки «Blast Maker» под конкретные производственные условия и увеличивает сроки его адаптации. Но, тем не менее, в настоящее время уже налажен обмен значительной частью данных с такими системами, как Gemcom, Surpac, Wenco, Micromine и AutoCAD.

#### **Основные направления адаптации**

В целом, процесс адаптации программного продукта к условиям конкретного предприятия можно разделить на следующие направления:

- Импорт / экспорт данных
- Выходная документация
- Совершенствование существующего функционала
- Решение новых задач

#### ***Импорт / экспорт данных***

ПО «Blast Maker», как рабочее место проектировщика БВР, занимает промежуточное место в цепочке БВР, получая входные данные от различных подразделений предприятия и выдавая результаты работы в другие. Чтобы такой обмен был возможен в электронной форме, в случае необходимости производится доработка ПО для реализации обмена информацией в тех форматах данных, которые используются на предприятии. Такими данными, как правило, являются:

- Маркшейдерские данные
- Модель поверхности, координаты скважин
- Геологические данные
- Геоконтурные, дискретные модели
- Технологические данные
- Контур блоков, годовые контура

В качестве выходных данных «Blast Maker», выдает такую информацию, как:

- Измененная рабочая площадка (модель поверхности и другие векторные данные)
- Проектные скважины
- Фактические скважины
- Схема монтажа взрывной сети
- Вертикальные сечения
- Триангуляционные поверхности

Для того чтобы эту информацию могли использовать другие подразделения, также бывает необходимо согласование форматов данных.

#### ***Выходная документация***

Кроме выдачи информации в цифровом виде, программа позволяет выводить на печать набор документов, необходимых для ведения буровых и взрывных работ, также предусмотрен вывод в специфичные шаблоны для дальнейшей печати:

- Проект на бурение: Паспорт на бурение и таблица на выноску
- Проект на взрыв: Паспорт на взрыв и таблица зарядов
- Экспорт данных проекта в специфичные для заказчика шаблоны

При адаптации для конкретного предприятия нередко проводится изменение или дополнение выходных документов, как с помощью встроенных в программу возможностей настройки, так и методом доработки ПО. Пример выходных документов приведен на рис.1.

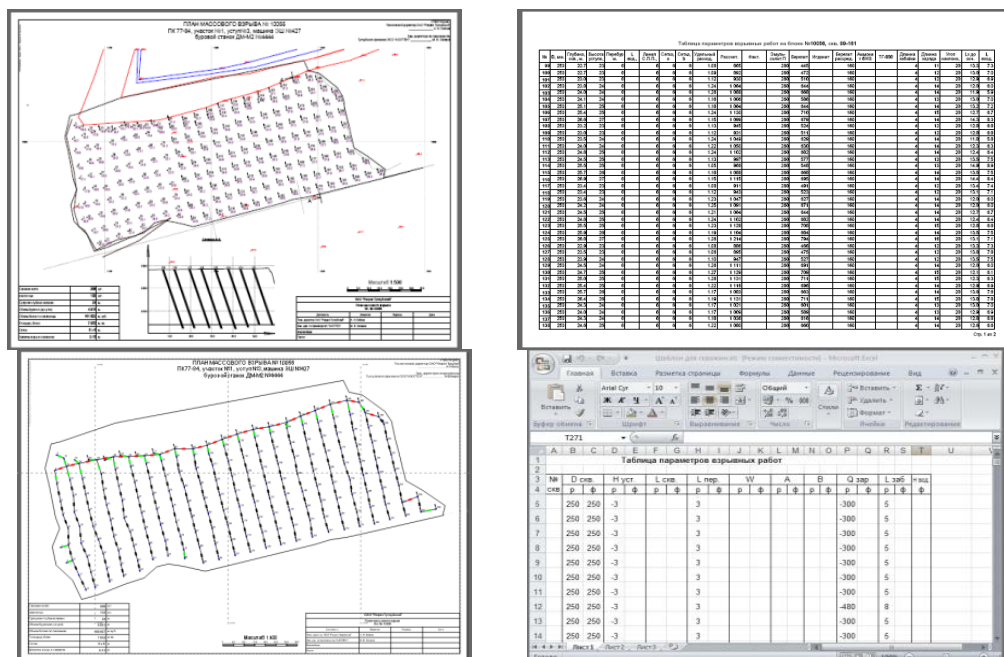


Рис.1. Образцы выходных документов

### ***Совершенствование существующего функционала***

Этот вид адаптации подразумевает модификацию существующих в программе механизмов с целью их улучшения или приведения к соответствию с принятыми на предприятиях технологиями или приемами. Например, в процессе внедрения на предприятиях широко развивались такие функции, как:

- Работа с элементами рельефа
- Расчеты площадей и объемов
- Работа со скважинами
- Ряды скважин и палетки
- Монтаж взрывной сети и имитационное моделирование детонации
- Модель разрушения горной массы и моделирование развала горной массы

### ***Решение новых задач***

В процессе внедрения для улучшения общей технологии ведения работ решаются и новые задачи, зачастую нетривиальные и достаточно трудоемкие, например такие как:

- Работа со стаканами с поддержкой «на лету»;
- Онлайн-симуляция отработки монтажной сети в процессе редактирования, с анализом подбоя;
- Поддержка сложных и рассредоточенных зарядов;
- Авторасстановка скважин по карте расстояний (с переменным шагом);
- Автоматизированное проектирование первого ряда;
- Работа с кустами скважин;
- Анализ данных проекта на корректность по множеству настраиваемых критериев.

### **Примеры адаптации и внедрения ПТК**

В качестве примеров можно привести работы по внедрению комплекса «Blast Maker» на различных предприятиях: «Житикарские минералы» (г. Житикара, Республика Казахстан), «Карельский Окамыш» / Северсталь (г. Костомукша,



Российская Федерация), Соколовско-Сарбайское Горно-Производственное Объединение (г. Рудный, Республика Казахстан), Михайловский ГОК (г. Железногорск, Российская Федерация), Караджас (г. Парауапebas, Бразилия), ОАО "Разрез Тугнуйский" / СУЭК (пос. Саган-Нур, р. Бурятия, , Российская Федерация

ОАО «Кустанайские минералы» приобрело пакет программ ПТК «Blast Maker», включающий базовый комплект системы проектирования массовых взрывов на карьерах, систему оценки напряженно-деформированного состояния горных склонов «Stress» и систему оценки гранулометрического состава взорванной горной массы «Split Analyzer». Полная адаптация системы, когда при этом учитываются требования и пожелания заказчика, как правило, влечет за собой:

- изменения в ядре программного продукта;
- изменения в целой группе взаимосвязанных модулей;
- разработку новых программ.

На этот процесс требуется как дополнительное время, так и дополнительные ресурсы. Однако в случае, когда подобные изменения не столь значительны и укладываются в сроки и условия поставки продукта, разработчик системы по договоренности с потребителем, модифицирует программные модули, предполагая, что подобные изменения будут взаимовыгодны обеим сторонам.

В данном конкретном примере с ОАО «Кустанайские минералы», компанией «Blast Maker» были выполнены работы по импорту и интерпретации ряда данных из системы Micromine (рис.2), установленной на предприятии, настроен комплект выходных документов и учтены некоторые пожелания и рекомендации по совершенствованию системы «Blast Maker» для данного производства. Также ОАО «Кустанайские минералы» приобрело аппаратуру сбора данных с буровых станков «КОБУС» и рассматривается вопрос о полной адаптации всего Программно-технического комплекса.

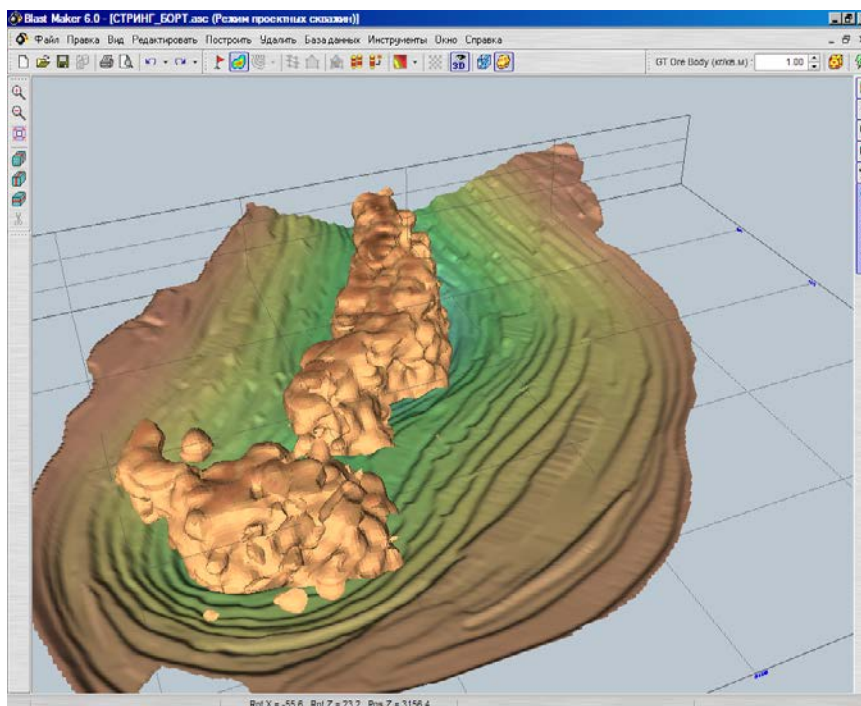


Рис.2. Рудное тело и геометрия карьера, импортированные из системы Micromine

Другой вариант – внедрение ПТК на ОАО «Карельский Окамыш». Была проделана большая работа по изменению как программной, так и аппаратной частей. Первоначально, в систему проектирования БВР была добавлена возможность обмена данными с программой «Gemcom», создан инструмент управления двойными и более скважинами и т.д., а в аппаратной части радиомодемы были заменены устройствами

технологии WiFi, также конструктивным изменениям подвергся прибор «КОБУС». В дальнейшем, в связи с переходом предприятия на Surpac, был реализован информационный обмен между системами «Surpac» и «Blast Maker».

- Система Surpac
  - Обмен маркшейдерскими данными
    - Импорт / экспорт рабочей площадки
    - Импорт / экспорт координат проектных и фактических скважин
- Система AutoCAD
  - Импорт геологических контуров
  - Импорт / экспорт технологических контуров
  - Экспорт проектных и фактических скважин, схемы монтажной сети

В начале 2008г. при поддержке одного из ведущих производителей средств взрывания – компании Maxam Int. сотрудники нашего института совершили поездку в Бразилию, где на крупнейшем железорудном карьере (Carajas) были продемонстрированы возможности комплекса и достигнута предварительная договоренность об установке нескольких приборов «Кобус» на буровые станки предприятия и выполнении проектирования БВР в системе «Blast Maker». В г. Рио-де-Жанейро в управляющей компании «Vale» также подтвердили заинтересованность в использовании комплекса «Blast Maker».

#### **Адаптация ПТК «Blast Maker» в ОАО «Разрез Тугнуйский», СУЭК**

В 2010-2011 годах, в процессе внедрения полной версии комплекса в ОАО «Разрез Тугнуйский», был проведен большой объем мероприятий и работ.

В процессе установления информационного взаимодействия, была налажена работа со следующими программами и комплексами:

- AutoCAD, Carlson
  - Маркшейдерские данные (модель поверхности, скважины)
- Буровые станки Atlas Copco DM-M2, Pit Viper+Кобус+Trimble GPS
- 3D сканер (пробные эксперименты)

#### **Решение новых задач**

По результатам опытной эксплуатации САПР БВР на разрезе «Тугнуйский», в программное обеспечение системы были внесены следующие дополнения и изменения:

- поддержка сложных конструкций заряда;
- автоматическое определение пласта угля, установка глубин скважин по пласту (рис.3);
- реализованы функции отображения траекторий буровых станков на проектируемом блоке и в пределах карьера в целом;
- добавлена возможность подготовка выходных документов в XLS формате;
- расширен функционал проверки корректности данных проекта (рис.4);
- добавлена таблица статистики глубин и подсыпки скважин;
- реализована возможность задания и редактирования наклонной подошвы блока;
- расширены функции построения триангуляционных поверхностей;
- реализованы различные способы подсчета объемов проектируемого блока;
- внесены дополнительные функции в менеджер проектов;
- улучшено графическое отображение конструкции зарядов, инициирующих ВВ и внутрискважинных замедлителей на 2D- и 3D-видах;
- добавлена возможность табличного редактирования параметров скважин и скважинных зарядов;
- расширены возможности по управлению рядами скважин и способам нумерации скважин и рядов;
- добавлены модули отображения статистики и управления данными по энергоемкости бурения;
- реализована возможность настройки и отображения пикетов на 2D- и 3D-видах;

- доработан модуль имитационного моделирования для точного учета интегральных замедлений скважинных зарядов при построении развала блока и оценке качества проработки подошвы;
- реализован импорт глубин скважин из файлов в формате DXF;
- модифицированы способы задания уровня обводненности скважин;
- добавлено отображение триангуляционных поверхностей на 2D сечениях;
- реализован импорт фактических скважин из системы Кобус с точными GPS координатами, глубиной, углом наклона и азимутом.

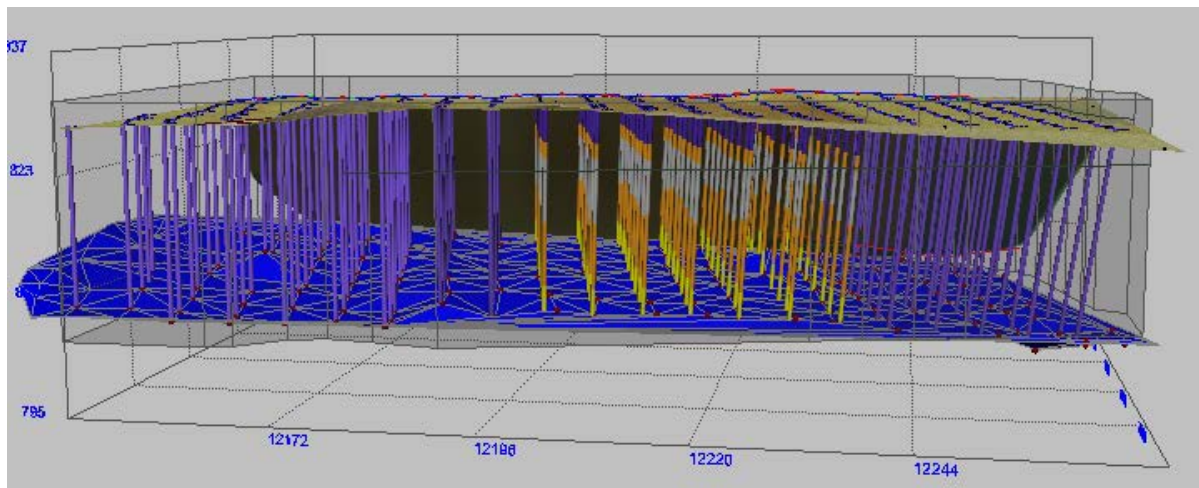


Рис.3. Установка глубин скважин по уровню энергоемкости

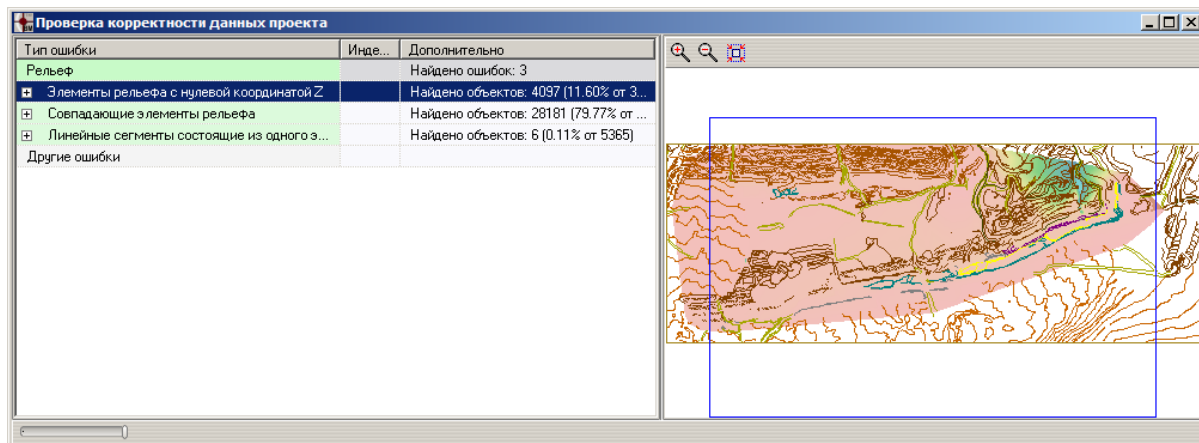


Рис.4. Проверка данных проекта на корректность

Подводя итог, стоит отметить, что ПТК «Blast Maker» представляет собой достаточно сложный комплекс, и проведение адаптационных мероприятий и работ является необходимым условием для полноценной и продуктивной работы комплекса в технологической и информационной среде предприятия. Полномасштабное внедрение комплекса позволяет не только значительно сократить затраты на БВР, но и повысить качество взрывных работ, а также оперативность управления оборудованием и процессами на карьере. Полнота информации обо всех ранее спроектированных и произведенных взрывах, о параметрах и режимах бурения всех пробуренных скважин предоставляет реальную возможность для адаптивного управления буровзрывными работами.

## Инвариантная относительно технических средств классификация горных пород по сопротивляемости бурению (методология построения)

В.Н. Опарин, А.С. Танайно ([tanaino@misd.nsc.ru](mailto:tanaino@misd.nsc.ru))  
Россия, г. Новосибирск, Институт горного дела СО РАН

Зависимость существующих классификаций по “буримости” от технических свойств бурения является одним из их недостатков. Понимание этого положения обусловило поиск новых подходов к построению классификаций независимых от технических средств. Одно из направлений таких исследований, связано с построением классификаций, инвариантных относительно техническим средствам бурения. Данный доклад, посвящен **разработке методологии построения классификации сопротивляемости горных пород бурению по показателям физико-механических свойств горных пород.**

Из обобщения данных многочисленных экспериментальных исследований следует, что на сопротивляемость проникновения бурового инструмента оказывают основное влияние: *прочностные свойства горных пород (1), трещиноватость породного массива (2), абразивность горных пород (3).* Совокупность этих свойств определяет своего рода модель разрушаемого объекта, которая применительно к процессам бурения является «неуправляемой». Свойства (1) и (2) характеризуют *состояние породного массива.* Прочностные свойства пород (как твёрдых тел), определяются множеством факторов: их генезисом, минералогическим составом, структурой и пр. Особое влияние на прочностные свойства оказывает *гидрофизическая среда*, в которой находятся горные породы в массиве.

Общая проблема оценки сопротивляемости горных пород бурению заключается в необходимости совокупной оценки множества свойств, представленных в различных единицах измерения. Как один из подходов для решения этой проблемы, авторами предлагается совокупная оценка множества свойств в виде безразмерного их представления в канонической шкале. Основанием для этого являются однотипность закономерностей структурно-иерархического строение массивов по блочности и кластеризации прочностных свойств горных пород [1].

### 1. Оценка прочностного состояния горных пород в массиве.

*Влияние гидрофизической среды на прочностные свойства пород в горном массиве.* Из ряда характеристик гидрофизической среды ограничимся только рассмотрением одной из важнейших – влиянием влажности на прочностные свойства пород в массиве. В идеале, интерес представляет зависимость типа  $\sigma_w = f(W)$ , где  $W$  влажность породы ( $0 \leq W \leq W_{\text{вп}}$ ) изменяющаяся от условного нуля (в воздушно сухом состоянии) до влажности в состоянии полного водонасыщения ( $W_{\text{вп}}$ );  $\sigma_w$  – предел прочности породы при влажности  $W$ . Снижение прочностных свойств горных пород под воздействием влаги принято оценивать коэффициентом *водопрочности*  $K_{\text{вп}}$  (термин по [2]) в виде отношения:

$$K_{\text{вп}} = \sigma_w / \sigma_c; \sigma_w \leq \sigma_c, \quad 0 < K_{\text{вп}} \leq 1,$$

где  $\sigma_c$  – предел прочности породы в воздушно сухом состоянии.

Для учёта влияния гидрофизических условий на прочностные свойства скальных и полускальных пород, авторами предложена зависимость:

$$\sigma_w \approx \sigma_c \cdot \exp(-W/P \cdot \lambda), \quad K_{\text{вп}} = \sigma_w / \sigma_c = \exp(-W/P \cdot \lambda) \quad (1)$$

где  $P$  – пористости породы;  $\sigma_w$  – значения прочностного свойства при влажности  $W$ , МПа;  $\lambda$  – коэффициент, природа которого нами пока не установлена.

Отношение  $W/P$  в (1) характеризует степень заполнения порового пространства водой ( $W/P \leq 1$ ). Очевидно, если  $W=0$  (идеально сухая порода), то при любых  $P$  и  $\lambda$  имеем  $W/P \cdot \lambda = 0$  и, соответственно,  $\exp(-W/P \cdot \lambda) = 1$ ,  $\sigma_w = \sigma_c$ ,  $K_{\text{вп}} = 1$ . В состоянии

водонасыщения  $K_{вп}$  определяется вещественным составом горных пород, а не только соотношением  $W/P$ . С этой целью в (1) и введен коэффициент  $\lambda$ . Полагаем, что на природу  $\lambda$  определённое влияние оказывает эффект Ребиндера, что требует соответствующего обоснования. Поэтому выражение (1) является гипотетическим и требует соответствующих доказательств. Некоторые из них выполнены на статическом уровне по данным пределов прочности пород при одноосном сжатии в сухом и влагонасыщенном состоянии, полученных экспериментально. Полагаем, что коэффициент  $\lambda$  в (1) в действительности может быть представлен в виде некоторой функциональной связи  $\lambda = f(x_1, x_2)$ , где  $x_1, x_2$  – соответственно, базовые свойства вещественного состава породы и флюида. Из-за отсутствия необходимой информации  $\lambda$  определялось в виде коэффициента, расчётами по статистическим данным [3], в которых для каждой разновидности испытываемых пород известны:  $W, P, \sigma_{вп}$ . По (1) при  $\lambda=1$  вычисляется первое приближение для прочности пород ( $\sigma_{wi}$ ) в водонасыщенном состоянии. Вычисленное ( $\sigma_{wi}$ ) сравнивается с экспериментально полученным ( $\sigma_{вп}$ ). При условии

$$\Delta = (1 - \sigma_{wi}/\sigma_{вп}) \cdot 100 < (\pm 10\%), \quad (2)$$

значения  $\lambda$  для таких пород принимаем равным 1. Если условие (2) не выполняется, то циклическим перебором, изменяя значения  $\lambda$ , достигаем выполнения (2) и фиксируем полученное при этом значение  $\lambda$ . Всего рассмотрено 80 разновидностей пород, по которым значения  $\lambda$  определились в диапазоне:  $0.1 < \lambda \leq 1.8$ . При этом:  $\lambda = 1$  получены по 36-ти разновидностям пород;  $\lambda < 1$  по – 37-ми;  $\lambda > 1$  по – 7-ми.

Анализ результатов расчётов показал важную особенность параметра  $K_{вп}$ , определяемого по (1). Она следует из того, что количественные значения  $K_{вп}$  не зависят от значений прочности пород во влажном ( $\sigma_w$ ) и сухом ( $\sigma_s$ ) состояниях: равные значения  $K_{вп}$  имеют место при разных значениях ( $\sigma_w$ ) и ( $\sigma_s$ ). Пример по данным результатов расчётов:  $K_{вп} = \sigma_w/\sigma_s = 0.89 \approx 69/78 \approx 118/133 \approx 107/120 \approx 121/136 \approx 44/50 \approx \exp(-W_i/P_i \cdot \lambda_i)$ . Любопытно, что подобные равенства наблюдаются в разных генетических типах пород. Следовательно, параметр  $K_{вп}$ , названный нами коэффициентом водопрочности, следуя стандартизованной терминологии [2], имеет более глубокий содержательный смысл. Очевидно, что зависимость  $K_{вп} = \exp(-W_i/P_i \cdot \lambda_i)$  не связана корреляционным отношением с прочностными показателями пород, но с их отношениями находится в прямой связи. Полагаем, что в содержательном смысле  $K_{вп}$  характеризует способность горной породы к «ослаблению» структурных связей на микроуровне при насыщении флюидом (в частности водой). При этом степень «ослабления» может быть равной в разных по вещественному составу горных породах. Этот эффект представляет интерес для дальнейших исследований.

На основании выполненных расчётов и их анализа приходим к заключению, что гипотетическая посылка, формально представленная в (2), в достаточной мере приемлема для прогнозных оценок влияния влажности и пористости пород на их прочностные свойства. Установлено, что характер изменения показателя  $K_{вп}$  пород в реальных горных массивах (в частности Кузбасса) представляется канонической шкалой четвёртого порядка:

$$K_{вп} = K_{го} \left( \sqrt[4]{2} \right)^{J-1}, \quad J=1, 2, 3, \dots, r. \quad (3)$$

где  $K_{го} = 0.3$  – минимальное (опорное) значение коэффициента водопрочности.

Решив (3) относительно  $J$  и, при  $K_{го}=0.3$ , получим с учётом (1):

$$J_{гф} \approx 5.77 \cdot \ln(K_{вп}) + 7.95 = 5.77 \cdot \ln(\exp(-W_z/P_z \cdot \lambda)) + 7.95 \quad (4)$$

где  $W_z$  и  $P_z$  – средневзвешенные значения естественной влажности пористости и по разрезу скважины;  $J_{гф}$  – класс гидрофизического состояния, в котором находится породы разбуриваемого массива.



*Трещиноватость и оценка её влияния на прочность породного массива.* Трещиноватость массива горных пород (блочность) является одной из важных характеристик его состояния при взрывном разрушении и при бурении скважин. В качестве показателя, характеризующего трещиноватость горного массива, примем размер естественной отдельности в массиве ( $\Delta$ , см). По аналогии с линейной шкалой акад. В.В.Ржевского, принятой в классификации горного массива по блочности, представим её в канонической шкале второго порядка:  $\Delta_j = \Delta_0 \cdot (\sqrt{2})^{j-1}$ , где  $\Delta_0$  – базовый (опорный размер) естественной отдельности (блока). Из этого выражения получим

$$J_{тр} = 2.8854 \cdot \ln\left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right) + 1. \quad (5)$$

Приняв в (5)  $\Delta_0 = 9$  см (согласно В.В. Ржевского), получим:

$$J_{тр} \approx 2.8854 \cdot \ln(\Delta) - 5.33, \quad 9 \leq \Delta \leq 150, \text{ см.} \quad (6)$$

Размер естественной отдельности в массиве, в зависимости от значения класса  $J_{тр}$  трещиноватости, определится в пределах:

$$6.36 \cdot \exp(0.3466 \cdot J_{тр}) \leq \Delta \leq 9.0 \cdot \exp(0.3466 \cdot J_{тр}).$$

*Прочность пород в массиве.* При выборе видов и типоразмеров долот, режимов бурения используются эмпирические зависимости, в которых прочностные свойства горных пород представлены: коэффициентом крепости по М. М. Протодяконову ( $f$ ); прочностью на одноосное сжатие ( $\sigma_s$ ); прочностью на скол ( $\sigma_{ск}$ ); контактной прочностью ( $\sigma_k$ ); твердостью по штампу ( $\sigma_a$ ); механической прочностью при бурении ( $\sigma_{mb}$ ). Между этими показателями существуют корреляционные связи. Поэтому с целью сопоставимости в качестве показателя прочности породы принят предел прочности при одноосном сжатии сухой породы ( $\sigma_s$ ). Для оценки прочности пород в массиве воспользуемся зависимостями  $\sigma_s = \sigma_0 \cdot (\sqrt{2})^{j-1}$ ;  $\sigma_w = \sigma_s \cdot K_{ен}$ , из которых, при  $\sigma_0 = 5.5$  МПа получим:

$$J_\sigma = 2.8854 \cdot (\ln(\sigma_s) - \ln(K_{ен})) - 3.92 \quad (7)$$

*Совокупная оценка состояния породного массива по прочностным факторам.*

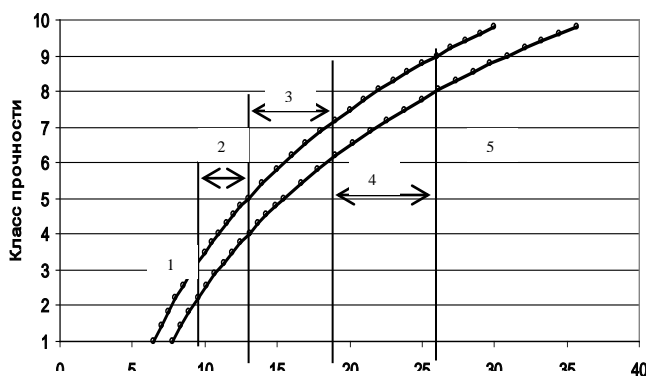


Рис.1. Классификация состояния горного массива по прочности:

- 1-весьма слабый; 2- слабый; 3-средней прочности; 4 - прочный;
- 5-весьма прочный.

Таковую оценку выполним с учётом зависимостей (4), (6), (7) в виде суммы:

$$F_{см} = J_{гф} + J_{мп} + J_\sigma, \quad (8)$$

Где  $F_{см}$  – фактор, оценивающий состояние горного массива в безразмерных единицах.

Подставим в (8) определяющие их выражения запишем:

$$F_{см} = 5.77 \cdot \ln(K_{вп}) + 7.95 + 2.8854 \cdot \ln(\Delta) - 5.33 + 2.8854 \cdot [\ln(\sigma_s) - \ln(K_{вп})] - 3.92.$$

После соответствующего преобразования этого выражения получим:

$$F_{см} \approx 2.8854 \cdot [\ln(K_{вп.}) + \ln(\Delta) + \ln(\sigma_s)] - 1.3. \quad (9)$$

Подставив в (9) минимальные ( $K_{вп.}=0.3$ ;  $\Delta=9$ ;  $\sigma_s=5.5$ ) и максимальные ( $K_{вп.}=1$ ;  $\Delta=150$ ;  $\sigma_s=350$ ) значения параметров, получим:  $F_{см \min} = 6.5$ ; и  $F_{см \max} = 30$ . На основании этого примем, что значение фактора, оценивающего состояние горного массива по

прочности, изменяется в пределах от 6 до 30 условных безразмерных единиц. Эти значения пределов определяют шкалу  $F_{cm}$ , которую представим каноническим рядом второго порядка с основанием  $\sqrt{2}$  и опорным значением шкалы  $F_{cm} = 6$ . Квантование шкалы ограничим порядковым номером ряда ( $J_{cm}$ ), при котором показатель  $F_{cm}$ , определённый по (9), достигнет значения  $\geq 30$ . Результаты расчётов квантования  $F_{cm}$  в канонической шкале представим графически (рис. 1) в виде зависимости  $J_{cm} = f(F_{cm})$ , которая отражает классификацию состояния породного массива по прочности. Связь между  $F_{cm}$  и  $J_{cm}$  находится в пределах:

$$4.24 \cdot \exp(0.3466 \cdot J_{cm}) \leq F_{cm} \leq 6 \cdot \exp(0.3466 \cdot J_{cm});$$

$$[2.8854 \cdot \ln(F_{cm}) - 5.17] \leq J_{cm} \leq [2.8854 \cdot \ln(F_{cm}) - 4.17].$$

## 2. Оценка абразивная способность горных пород по их физико-механическим свойствам.

Для оценки горных пород как объекта разрушения посредством бурения, кроме прочностного состояния пород в массиве, необходимо ещё одно очень важное свойство: способность изнашивать буровой инструмент, т.е. абразивность. Это не простое горно-технологическое свойство в сравнении с прочностью на сжатие, растяжение и др. Для его определения предложено много косвенных методов, построенных на свойстве изнашивания различных инденторов. Несопоставимость результатов таких определений побудила авторов к разработке методики оценки абразивной способности по совокупности физико-механических свойств горных пород.

В качестве базовых свойств, определяющих абразивную способность горных пород, рассматриваем следующие: *размер и форма зёрен, твёрдость породообразующих минералов и разрушаемого минерального тела в целом, пористость, сила связи между зёрнами, влажность.*

Опуская представления механизмов влияния указанных свойств горных пород на абразивность (они с различной степенью детальности рассматривались в работах [4-10]), ниже приведены результаты формализованного представления этих свойств, для совокупной оценки абразивной способности горных пород.

**Размеры и форма зерен, твёрдость породообразующих минералов.** Для совокупного представления этих свойств в канонической шкале получена зависимость:

$$\Psi_Z = \left[ 2.8854 \cdot \ln \left( \frac{D \cdot k_1}{d_0} \right) + 1 \right] \cdot s_1; \quad (10)$$

$$s_1 = 0.022 \cdot \exp(0.5465 \cdot R_M), \quad (11)$$

где  $D$ ,  $d_0$  – средневзвешенный размер зерна в оцениваемой породе и его опорное значение, мм;  $k_1$  – коэффициент, учитывающий влияние формы зёрен;  $s_1$  – относительный показатель, учитывающий влияние зерен соответствующей твёрдости на абразивность;  $R_M$  – средневзвешенная твёрдость породообразующих минералов.

Твёрдость минеральной части породы ( $R_M$ ) определим в виде средневзвешенного показателя твёрдости породообразующих минералов:

$$R_M = 0.01 \sum_i M_i R_i,$$

где  $M_i$ ,  $R_i$  – содержание  $i$ -го минерала в анализируемой породе (%) и его твёрдость по Ф. Моосу, соответственно.

Значения коэффициента  $k_1$  в (10) при относительно равных размерах зёрен, в хорошо окатанных  $k_1=1$ , а в угловатых  $k_1=1.3$ . Полагая, что эта зависимость линейна, получим: хорошо окатанные  $k_1=1$ ; окатанные  $k_1=1.11$ ; полуокатанные  $k_1=1.18$ ; полуугловатые  $k_1=1.25$ ; угловатые  $k_1=1.30$ .

Определимся с опорным значением  $d_0$  в (10) Согласно [11], минимальные размеры зёрен (0.005-0.05мм) характерны для хомогенных пород. Полагая, что зёрна размерами

менее 0.05мм существенного влияния на абразивную способность горных пород не оказывают, примем  $d_0 = 0.05$  мм. Подставив это значение в (5.34), после соответствующего преобразования получим выражение для представления фактора зернистости, обуславливающего абразивную способность горных пород:

$$\Psi_Z \approx [2.8854 \cdot \ln(D \cdot k_1) + 9.64] \cdot s_1; \quad 0.05 \leq D \leq 8; \quad 1.0 \leq k_1 \leq 1.3, \quad (12)$$

где  $s_1$  определяется по (11).

**Пористость и твёрдость связующей массы.** Как в магматических, так и в осадочных консолидированных породах, поровая «поверхность» может быть выполнена материалом, близким по свойствам зёрен (кристаллов) либо существенно отличаться от них. Если в абразивных инструментах твёрдость зёрен всегда выше твердости связующего материала, то в горных породах такое соотношение не является закономерным. В осадочных породах на шероховатость и твёрдость поверхностей, формирующих пустоты, существенное значение оказывает тип цемента (в конструкции абразивных инструментов – тип связующего). В магматических породах поровое пространство образуется в нераскристаллизовавшемся материале, от состава которого так же зависят шероховатость и твёрдость поверхностей пор. При этом генезис пустотности (выполнена она порами или трещинами) особого значения не имеет. Важен показатель её твёрдости для пористой поверхности.

На этом основании для представления фактора пористости ( $\Psi_P$ ) в абразивной способности горных пород используем каноническую закономерность в виде:

$$\Psi_P = \left( 1 - 2.8854 \cdot \ln \left( \frac{P_i}{P_0} \right) \right) \cdot s_2, \quad (13)$$

где  $P_i$ ,  $P_0$  – соответственно пористость рассматриваемой породы и опорное её значение, %;  $s_2$  – показатель, учитывающий влияние твёрдости связующей массы на абразивную способность горной породы.

Приняв, что возможные значения  $P_i$  находятся в пределах от 0.2 до 25 % и  $P_0 = 25$ , из (13) получим:

$$\Psi_P \approx [-2.8854 \cdot \ln(P_i) + 10.29] \cdot s_2. \quad (14)$$

Показатель  $s_2$  относительный, но в отличие от показателя  $s_1$ , введённого нами в (11) несет иное смысловое содержание:  $s_2$  отражает относительное влияние микротвёрдости связующей массы на абразивную способность горных пород, а не относительную твёрдость порообразующих минералов. Информацией для определения  $s_2$  служат результаты измерения микротвёрдости связующей части породы (цемента, стекла). Воспользуемся соотношениями между твёрдостью минералов в шкале Мооса и твёрдостью, определённой на приборе ПМТ-3. Здесь интерес представляет не абсолютные, а относительные значения твёрдости, т.е.  $s_2$ . Получены следующие зависимости:

- 1) измерение микротвёрдости прибором ПМТ-3:  $s_2 = 8.9 \cdot 10^{-5} \cdot T_c$ ,
- 2) по твёрдости в шкале Мооса ( $R_M$ ):  $s_2 \approx 2.32 \cdot 10^{-3} \cdot (R_M)^{3.12}$ ,

где  $T_c$  – микротвёрдость, измеренная прибором ПМТ-3, МПа;  $R_M$  – твёрдость по шкале Мооса.

**Прочность связей между зёрнами.** Механизм влияния связей на абразивную способность горных пород недостаточно исследован и базируется на гипотетических посылах применительно к осадочным породам, основанных на прочностных свойствах цемента. Прочный цемент позволяет полнее использовать возможность каждого зерна на своем месте изнашивать инструмент, и этот процесс продолжается до момента отрыва зерна и вывода его из зоны соприкосновения с инструментом. Отсюда следует, что чем прочнее цемент, тем выше абразивная способность зёрен породы. Это

положение применимо и к кристаллическим породам. Если связь между зёрнами слаба, то процесс обновления абразивной поверхности интенсифицируется. Поскольку зёрна, отрываясь от материнской породы, остаются свободными, то абразивные их возможности не велики, даже если они отрываются острыми.

В качестве оценочного показателя прочности связей между зёрнами принят предел прочности на растяжение ( $\sigma_r$ , МПа). Полагая, что абразивная способность горных пород увеличивается с возрастанием  $\sigma_r$ , фактор влияния сил связи между зёрнами ( $\Psi_S$ ) представим в виде:

$$\Psi_S = \left[ 2.8854 \cdot \ln\left(\frac{\sigma_r}{\sigma_{0r}}\right) + 1 \right] \cdot K_{в.п.}, \quad (15)$$

где  $\sigma_r$  – прочность породы на растяжение в воздушно сухом состоянии;  $K_{в.п.}$  коэффициент водопрочности по (1).

В качестве опорного значения примем  $\sigma_{0r} = 0.312$  МПа, что характерно для слабых полускальных пород. Подставив это значение в (15), после преобразования получим:

$$\Psi_S \approx [2.8854 \cdot \ln(\sigma_r) + 4.36] \cdot K_{в.п.}, \quad 0.312 \leq \sigma_r \leq 40. \quad (16)$$

На силу связи между зёрнами большое влияние, особенно в осадочных породах, оказывает наличие влаги. В [12] приводятся количественные оценки влияния влажности горных пород и на их абразивность. Показано существенное (до 30%) снижение абразивности пород во влагонасыщенном состоянии. Этот эффект учтён в (15) коэффициентом водопрочности ( $K_{в.п.}$ ), обоснованным и определённым выше.

#### **Оценка абразивной способности горных пород по совокупности физико-механических свойств. Классификация**

Основой для оценки абразивной способности горных пород являются представленные выше зависимости (12), (14), (16). Совокупную их оценку определим суммой:

$$\check{A} = \Psi_Z + \Psi_P + \Psi_S,$$

где  $\check{A}$  – показатель абразивной способности горных пород в условных безразмерных единицах.

$$\check{A} \approx 2.8854 \cdot \{ \ln(D \cdot k_1) \cdot s_1 - \ln(P) \cdot s_2 + \ln(\sigma_r) \cdot K_{в.п.} \} + 9.64 \cdot s_1 + 10.29 \cdot s_2 + 4.36 \cdot K_{в.п.}. \quad (17)$$

В содержательном смысле (17) представляет оценку потенциальной способности горных пород проявлять абразивность в зависимости от их физико-механических свойств. При традиционном измерении абразивной изнашиваемости инденторов, показатели абразивности, хотя и имеют единицы измерения, но они относительны и используются только для построения классификаций, цель которых отнести породы к соответствующему классу абразивности. Именно классы абразивности, а не их количественные оценки, представляют интерес для выбора типа породоразрушающего инструмента при бурении скважин.

Приняв минимальные ( $D=0,05$  мм;  $k_1 = 1$ ;  $s_1=0.065$ ;  $P=0.2$  %;  $s_2=0.02$  ;  $\sigma_r=0.312$  МПа) и максимальные ( $D=10$  мм;  $k_1 = 1.3$ ;  $s_1=1$ ;  $P=25$  %;  $s_2=1$ ;  $\sigma_r=40$  МПа) значения параметров в (17), получаем, что  $\check{A}$  может изменяться в пределах  $\check{A}_{\min}=3.2$ ;  $\check{A}_{\max} = 63$ . Квантование  $\check{A}$  в этих пределах представим каноническим рядом второго порядка, приняв  $\check{A}_0 = \check{A}_{\min}=3.0$ :

$$\check{A}_J = \check{A}_0 \cdot (\sqrt{2})^{J-1}, \quad J=1, \dots, 9, \quad (18)$$

где  $J_a$  – класс абразивной способности горных пород.

Результаты вычислений по (18) представим в табл. 1 (столбец 2), где для сопоставимости, приведены данные классификации по абразивности горных пород по Л.И.Барону, А.В. Кузнецову (столбец 4) [12].

По данным в столбца 2 получены пределы изменения показателя абразивной способности в пределах класса:

$$2.12 \cdot \exp(0.3466 \cdot J_a) \leq \check{A} \leq 3 \cdot \exp(0.3466 \cdot J_a), \quad (19)$$

$$J_a = 1, \dots, 9.$$

Классы абразивной способности горных пород ( $J_a$ ), определим из (19):  $2.8854 \cdot \ln(\check{A}) - 3.17 \leq J_a \leq 2.8854 \cdot \ln(\check{A}) + 2.17$ .

Для наглядного сопоставления результатов по (19) с данными классификации Л.И.Барона, А.В. Кузнецова (столбец 4) представим их графически (рис.2а), предварительно получив:

$$2.1 \cdot \exp(0.496 \cdot Y) \leq B \leq 4.12 \cdot \exp(0.45 \cdot Y); \quad Y = 1 \div 7, \quad (20)$$

где  $B, Y$  – соответственно значение показателя абразивности (износ индентора, мг) и класс абразивности в классификации Л.И. Барона, А.В. Кузнецова.

Таблица 1. Классификация горных пород по абразивной способности в сопоставлении с классификацией по абразивности (по [12]).

Класс абразивности	Значение показателя абразивной способности горных пород, у.е. (от-до)	Показатель абразивности [12], мг		Характеристика породы по абразивной способности
		В исходной шкале по [12]	По [12] в канонической шкале	
1	2	3	4	
1	3.0-4.2	<5	4.0-5.7	Весьма малоабразивные
2	4.2-6.0	5-10	5.7-8.0	Малоабразивные
3	6.0-8.5	10-18	8.0-11.0	
4	8.5-12.0	18-30	11.0-16.0	Ниже средней абразивности
5	12.0-17.0	30-45	16.0-23.0	Средней абразивности
6	17.0-24.0	45-65	32.0-45.0	Выше средней абразивности
7	24.0-34.0	65-90	45.0-64.0	Повышенной абразивности
8	34.0-48.0	>90	64.0-91.0	Высокоабразивные
9	48.0-68.0		>91.0	В высшей степени абразивные

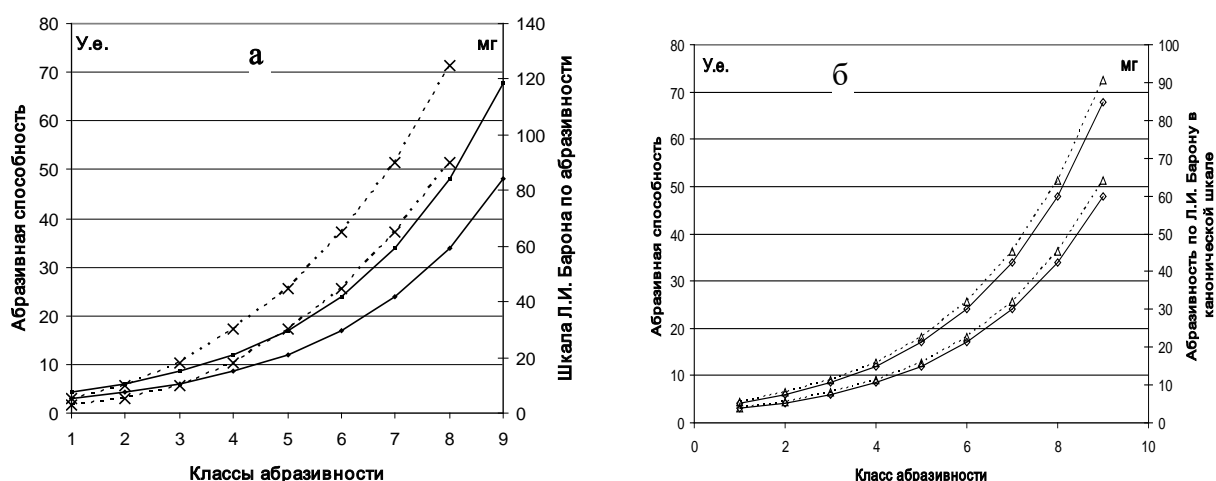


Рис.2. Классификации по абразивности горных пород:  
 а) сопоставление классификации по абразивной способности с классификацией по изнашиванию индентора (по Л.И. Барону, А.В. Кузнецову –пунктирная линия);  
 б) то же, что и (а), но классификация Л.И. Барона, А.В. Кузнецова представлена в канонической шкале – пунктирная линия.

Из сопоставления (19) и (20) следует, что в обеих классификациях показатели абразивности находятся в экспоненциальной зависимости от их классов, хотя и представлены разными единицами измерения и разным количеством классов. Отличие коэффициентов при показателях экспонент в (19) и (20) обусловлено разными подходами к распределению классифицируемых показателей по классам в однопараметрических классификациях. Что касается отличия коэффициентов перед экспонентами в (19) и (20), то требовать их равенства нельзя, поскольку используются разные единицы измерения классифицируемого показателя.

Для сравнения рассматриваемых классификаций, представим классификацию Л.И.Барона, А.В. Кузнецова в канонической шкале, приняв в качестве опорного значения  $V=3$  мг. С целью сопоставимости классификаций результаты вычислений показаны на рис. 2б. В этом случае мы изменили принцип распределения показателей абразивности по классам и привели к равному их количеству. В силу достаточной близости рассматриваемых классификаций, получим соотношение между значениями абразивной способности горных пород ( $\hat{A}$ ), определяемой по физико-механическим свойствам с показателем абразивности ( $V$ ), определяемым экспериментально методом изнашивания стального стержня по Л.И. Барону, А.В. Кузнецову:

$$2.89 \cdot \hat{A}^{-6} \leq V \leq 2.75 \cdot \hat{A}^{-4.46}.$$

Сравнение, предложенного нами метода оценки абразивной способности горных пород по совокупности физико-механических свойств, с классификацией абразивности по Л.И.Барону, А.В. Кузнецову обусловлено тем, что она широко используется в горнодобывающей промышленности.

Идея использовать базовую совокупность физико-механических свойств горных пород для оценки абразивной их способности, оказалась плодотворной. Это подтверждается тем, что классификация по абразивной способности горных пород, полученная по совокупности физико-механических свойств и, построенная по изнашиваемости стального индентора, однотипны.

### 3. Классификация горных пород по сопротивляемости бурению.

Показатель сопротивляемости горных пород бурению ( $\epsilon$ ) определим в виде  $\epsilon = F_{с.м.} + \hat{A}$ , т.е. суммированием правых частей (9) и (17), преобразуя которую запишем:

$$\begin{aligned} \epsilon = 2.8854 \cdot \{ \ln(K_{в.п.с.}) + \ln(\Delta) + \ln(\sigma_s) + \ln(D \cdot k_1) \cdot s_1 - \ln(P) \cdot s_2 + \ln(\sigma_r) \cdot K_{в.п.} \} + \\ + 9.64 \cdot s_1 + 10.29 \cdot s_2 + 4.36 \cdot K_{в.п.} - 1.3. \end{aligned} \quad (21)$$

Используя приведенные в (9) и (17) минимальные и максимальные значения параметров, составляющих (21), получим, что  $\epsilon$  изменяется (с учётом округлений) в пределах  $8.4 \leq \epsilon \leq 95$ . По этим значениям пределов определим порядок кластеризации фактора  $\epsilon$ , представив каноническим рядом со знаменателем  $\sqrt{2}$  с начальным значением ряда  $\epsilon_0 = 8.4$ . Результаты расчётов кластеризации фактора  $\epsilon$  в канонической шкале приведены в табл. 2, данные которой собственно и представляют классификацию горных пород по сопротивляемости бурению, выполненную в зависимости от их физико-механических свойств. По табл. 2 получены зависимости связи между показателем сопротивления бурению ( $\epsilon$ ) и номерами классов в классификации ( $J_6$ ):

$$\begin{aligned} 5.93 \cdot \exp(0.3466 \cdot J_6) \leq \epsilon \leq 8.4 \cdot \exp(0.3466 \cdot J_6); \\ \{ 2.8854 \cdot \ln(\epsilon) - 6.14 \} \leq J_6 \leq \{ 2.8854 \cdot \ln(\epsilon) - 5.14 \}. \\ J_6 = 1, \dots, 8. \end{aligned}$$



Таблица 2. Классификация горных пород по сопротивляемости бурению

Фактор состояния горного массива по прочности (F <sub>см</sub> по(9))								
6-9		9-13		13-18		18-26		26-37
Классы прочности пород в массиве								
1-2		2-3		3-4		4-5		5-6
Фактор абразивной способности горных пород (А по (17))								
3-4		4-6		6-9		9-12		12-17
Класс абразивной способности горных пород (Ja по (19))								
1-2		2-3		3-4		4-5		5-6
6-7		7-8		8-9		9-10		
Суммарное значение факторов определяющих сопротивляемость горных пород бурению (F <sub>см</sub> + А, по (21))								
8-12		12-17		17-24		24-34		34-48
48-67		67-95		95-135				
Класс горных пород по сопротивляемости бурению								
0-1		1-2		2-3		3-4		4-5
5-6		6-7		7-8				

Классификацию сопротивляемости горных пород бурению сопоставим с классификацией ЦНИГРИ (рис. 3а). Как видно имеет место однотипность характера зависимости показателя сопротивления горных пород бурению (Є) и зависимости показателя (Б) в классификации ЦНИГРИ от классов пород по бурению. В качестве подтверждения этого вывода на рис. 3б приведена функциональная зависимость  $Є=f(Б)$ , с корреляционным отношением  $R^2=0.99$  (уравнение тренда вынесено на поле рисунка). Таким образом, можно заключить, что предложенный метод оценки сопротивления горных пород бурению, определённый по базовым их физико-механическим свойствам, в достаточно адекватно отражает суть процесса бурения.

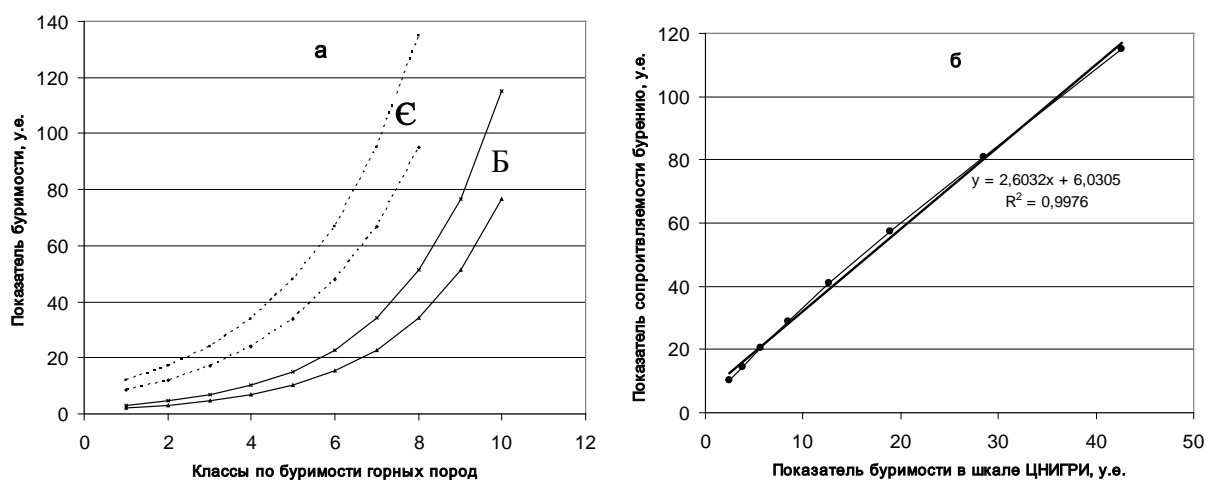


Рис.3. Сопоставление классификаций сопротивляемости горных пород бурению (Є), полученной по совокупности физико-механических свойств с классификацией по буримости ЦНИИГРИ (Б).

Таким образом, впервые предложен метод построения инвариантной, относительно технических средств бурения, классификация горных пород по сопротивляемости бурению, в основе построения которой используются физико-механические свойства пород горного массива, в котором ведётся проводка скважин.

### Список литературы

1. Опарин В.Н., Танайно А.С., Юшкин В.Ф. О дискретных свойствах объектов геосреды и их каноническом представлении //ФТПРПИ. – 2007. - № 3.
2. ГОСТ Р -50544-93. Породы горные. Термины и определения. Государственный стандарт Российской федерации. М.: 01.07.94.

3. Солодухин М.И., Архангельский И.В. Справочник техника геолога по инженерно-геологическим и гидрогеологическим работам. – М.: Недра. 1982.
4. Справочник по механическим и абразивным свойствам горных пород нефтяных и газовых месторождений /Абрамсон М.Г., Байдюк Б.М., Заварецкий В.С. и др. – М.: Недра, 1985.
5. Воздвиженский В.И., Мельничук И.П., Пешалов Ю.А. Физико-механические свойства горных пород и их влияние на эффективность бурения. – М.: Недра, 1973.
6. Барон Л. И., Глатман Л. Б. Контактная прочность горных пород. — М.: Недра, 1966.
7. Шрейнер Л. А., Петрова О. П., Якушев В. П., Портнова А.Т. и др. Механические и абразивные свойства горных пород. — М.: Гостоптехиздат, 1958.
8. Голубинцев О.Н. Механические и абразивные свойства горных пород и их буримость. – М.: Недра, 1968.
9. Спивак А.И., Попов А.Н. Разрушение горных пород при бурении скважин. – М.: Недра, 1985.
10. Мавлютов М. Р. Разрушение горных пород при бурении скважин. — М.: Недра, 1978.
11. Петтиджон Ф. Дж. Осадочные породы (Перевод с английского) – М.: Недра, 1981.
12. Барон Л.И., Кузнецов А.В. Абразивность горных пород при добычании. –М.: Изд-во АН СССР, 1961.

## Численное моделирование динамики рудных тел в процессе взрывания горной массы

Д.А. Воробьев ([vorobev@istc.kg](mailto:vorobev@istc.kg)), М.А. Райымкулов ([rmarat@istc.kg](mailto:rmarat@istc.kg))  
Институт коммуникаций и информационных технологий  
Кыргызско-Российского Славянского Университета

**Введение.** Процесс взрыва массива горных пород носит нелинейный характер и сопровождается такими явлениями, как волновое распространение энергии в массиве и перемещение элементов массива. Таким образом, выделяемая энергия в процессе взрыва затрачивается на распространение упругих волн, сопровождаемое дроблением горной массы, на рассеивание, а также на поршневое действие газов, образовавшихся в скважине в результате сгорания взрывчатых веществ, приводящее в движение раздробленную горную породу. Моделирование данных процессов позволяет оценить изменение пространственных характеристик элементов массива, а также представить изменение физического состояния массива в течении всего процесса взрыва. Эти сведения являются необходимыми для проектирования буровзрывных работ на горном предприятии, непосредственной эксплуатации месторождения, а также селективной выемки горной массы. Данные исследования особенно важны для обоснования алгоритмов, заложенных в программно-технический пакет Blast Maker [1].

В данной работе рассматривается подход, позволяющий учитывать распределение плотности среды, а так же особенности распространения волн при изменении пространственных характеристик фазы. В основу предлагаемой модели положено предположение о том, что раздробленный массив представляет собой квазисплошную систему, плотно расположенных кусков породы. Моделирование процессов соударения многих тел показало, что плотная система соударяющихся тел может рассматриваться как система связанных осцилляторов, что обеспечивает волновое распространение возмущений [2].

**Модель двухфазной среды.** Имеются две однородные среды  $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2$ , характеризующиеся параметром плотности и модуля упругости. В области  $\Omega_1$  расположен источник взрыва. Исследуется перемещение области  $\Omega_2$  под действием взрывной волны.

Рассматриваются следующие допущения:

1. однородная среда  $\Omega_2$  вложена в среду  $\Omega_1$ :  $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2$ ,
2. не учитывается воздействие гравитационного поля,
3. энергия взрыва распространяется вдоль определенно выбранной оси  $x$  (одномерная задача),
4. гидродинамическое приближение: динамика системы описывается уравнением Навье-Стокса, дополняемое законом сохранения масс и законом сохранения энергии  $E$  [3,4]:

$$\begin{cases} d \frac{\partial v}{\partial t} + (\gamma - 1) \frac{\partial(E * d)}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial d}{\partial t} + d * \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial E}{\partial t} + (\gamma - 1) * E * \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

здесь  $E = \frac{1}{\gamma - 1} \frac{p}{d}$ ,  $p$  – давление,  $d$  – плотность среды,  $\gamma$  – показатель адиабаты. С другой стороны  $c_o^2 = \gamma \frac{p}{d}$  – скорость звука. Поскольку  $E \propto c_o^2(x, t)$ , преобразуем систему уравнений (1) в вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial d}{\partial t} + d * \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \\ d \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{c_o^2}{\gamma} \frac{\partial d}{\partial x} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Из системы (2) получаем волновое уравнение:

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \frac{c_o^2}{\gamma} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) v = 0. \quad (3)$$

Распределение плотности в начальный момент времени имеет вид:

$$d(x, 0) = \begin{cases} d_1, \text{ область } \Omega_2, \\ d_1 + d_2, \text{ область } \Omega_1 \end{cases} \quad (4)$$

или

$$d = d_1 + d_2 F,$$

где

$$F(x, 0) = \begin{cases} 0, \text{ область } \Omega_2, \\ 1, \text{ область } \Omega_1. \end{cases} \quad (5)$$

Считая, что области не перемешиваются, можно использовать функцию  $F = F(x, t)$  для аппроксимации функции скорости звука:

$$c_o^2(x, t) = c_1^2 + (c_0^2 - c_1^2) F(x, t). \quad (6)$$

Преобразуя совместно систему (2) с учетом (6) [2], получаем уравнение переноса:

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} + v * \frac{\partial}{\partial x} \right) F = 0, \quad (7)$$

В общем случае для задачи перемещения масс при взрыве данное уравнение является нелинейным, поскольку  $v = v(F)$ .

Таким образом, получаем систему уравнений для скорости распространения упругой волны и уравнения переноса:

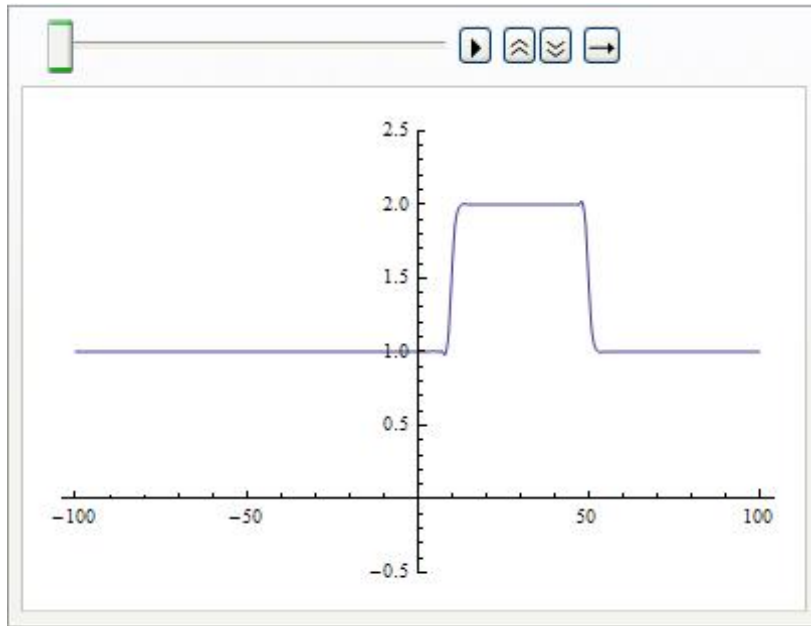
$$\begin{cases} \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \frac{c_o^2}{\gamma} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) v = 0, \\ \left( \frac{\partial}{\partial t} + v * \frac{\partial}{\partial x} \right) F = 0, \\ c_o^2(x, t) = c_1^2 + (c_0^2 - c_1^2) F(x, t). \end{cases} \quad (8)$$

Здесь первое уравнение описывает поле скоростей, а второе определяет распределение массы в результате распространения упругих волн.

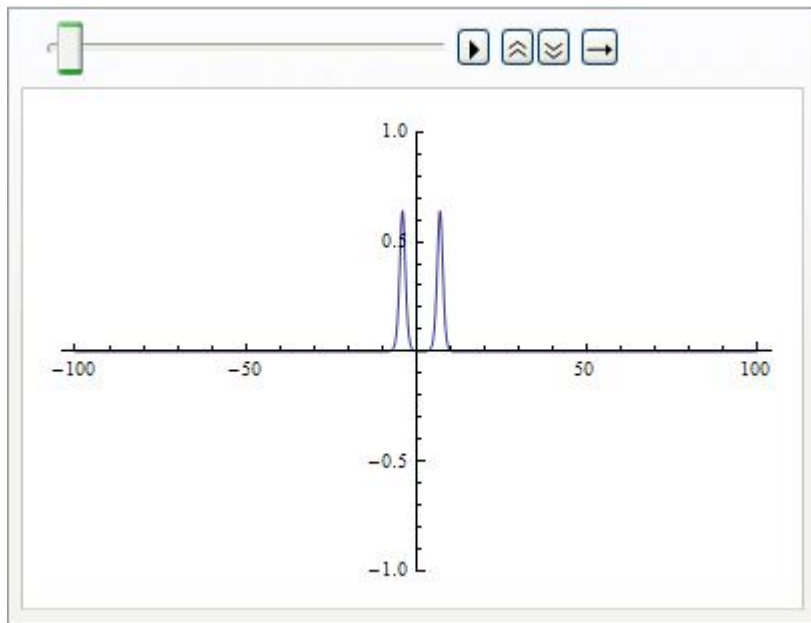
**Численное решение.** Рассмотрим две среды: менее плотная среда  $\Omega_1$  и более плотная среда  $\Omega_2$ . В качестве функции  $F$  используем следующую аппроксимирующую функцию:

$$F(x,0) = \frac{1}{4} \tanh((x-a)+1) \tanh((-x+b)+1), \quad (9)$$

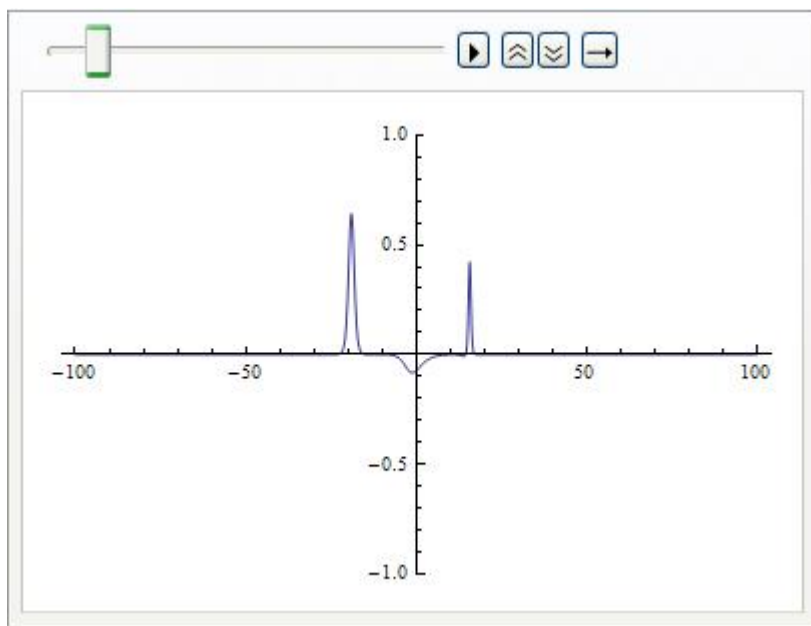
которая представлена на следующем графике:



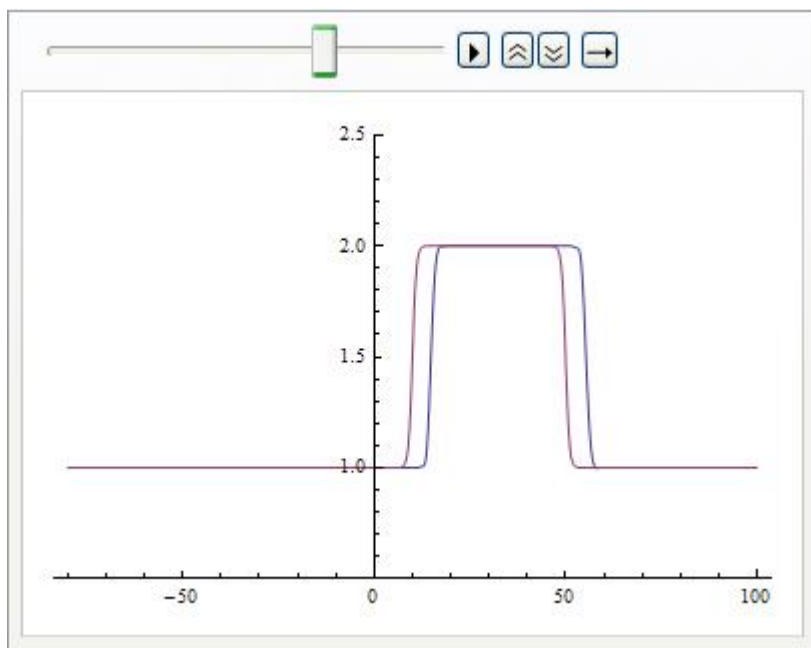
Зададим упругие волны, распространяющиеся с источника  $x=0$ :



В результате столкновения волны с областью  $\Omega_2$  формируется также отраженная волна.



Под действием упругих волн происходит смещение области  $\Omega_2$ :

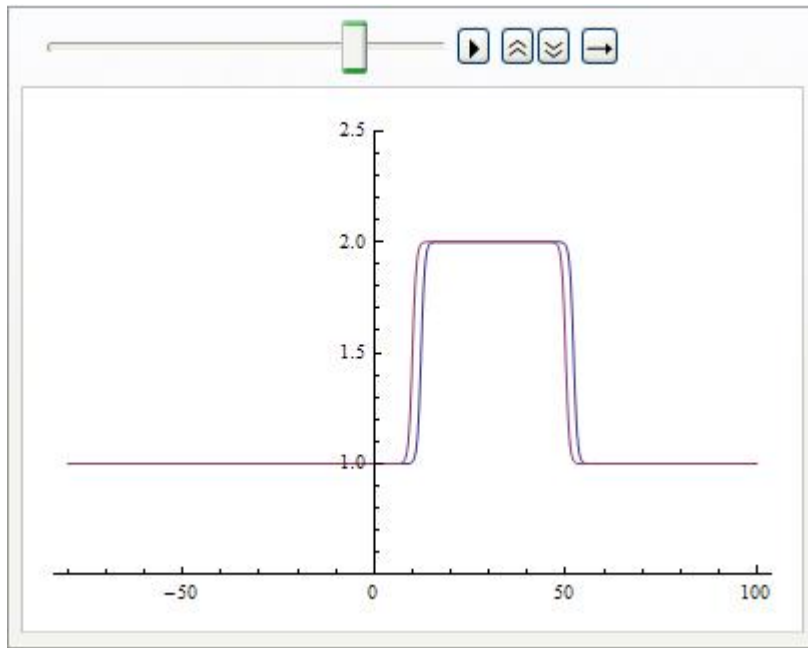


Предлагаемый метод расчета позволяет учитывать затухание волны. В этом случае система (8) принимает вид:

$$\begin{cases} \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \frac{c_0^2}{\gamma} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) v = 0, \\ \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \frac{c_0^2}{\gamma} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \beta \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial t} \right) v = 0, \\ c_0^2(x, t) = c_1^2 + (c_0^2 - c_1^2) F(x, t). \end{cases} \quad (10)$$

Численный расчет показывает, что энергии на смещение будет меньше, что сказывается на более малом отклонение массы:





**Многофазная среда.** Предлагаемая модель может быть обобщена на многофазную среду. Пусть имеется неоднородная среда  $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \dots \cup \Omega_N$ , характеризуемые параметром плотности и модуля упругости. Исследуются перемещение областей  $\{\Omega_i\}$  под действием распределенных импульсов.

Плотность для многофазной среды задается в виде:

$$d = d_i, \text{ для } \Omega_i, \quad (11)$$

или

$$d = d_1 + d_2 F \quad (12)$$

коэффициенты  $d_1, d_2$  подбираются так, чтобы значение  $d_1$  соответствовало минимальному значению плотности из всех заданных сред, а  $d_1 + d_2$  - максимальному значению плотности из всех заданных сред.

Здесь

$$F = \sum_k F_i \quad (13)$$

$$F_i = \begin{cases} \frac{d_i - d_1}{d_2}, & \text{для } \Omega_i \\ 0, & \text{для остальной области.} \end{cases} \quad (14)$$

Скорость звука многофазной среды задается в виде:

$$c^2 = c_i^2, \text{ для } \Omega_i, \quad (15)$$

или

$$c^2 = c_0^2 + \sum_i (c_i^2(x) - c_0^2) \frac{d_2}{d_i - d_1} F_i. \quad (16)$$

Уравнение динамики распределения масс, в результате распространения упругих волн сохраняет вид (8).

Для трехмерной задачи перечисленные функции задаются следующим образом:

$$F_i = \begin{cases} 0, \\ 1, \vec{r} \in \Omega_i \end{cases} \quad (17)$$

Если плотность  $i$ -той фазы  $\Omega_i$  определяется как  $d_i$ , то функция плотности для всей области определится как

$$d = \sum_{i=1}^{N-1} F_i d_i + \left( N - 1 - \sum_{i=1}^{N-1} F_i \right) d_N, \quad (18)$$

скорость звука определится как

$$c_0^2 = \sum_{i=1}^{N-1} F_i c_i^2 + \left( N - 1 - \sum_{i=1}^{N-1} F_i \right) c_N^2. \quad (19)$$

Система уравнения для распространения волны и смещения сред (8) принимает вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t} F_i + \vec{v} * \text{grad}(F_i) = 0, i \in [1, N-1] \\ \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{v} - \frac{c_0^2}{\gamma} \Delta \vec{v} = 0, \\ c_0^2 = \sum_{i=1}^{N-1} F_i c_i^2 + \left( N - 1 - \sum_{i=1}^{N-1} F_i \right) c_N^2. \end{cases} \quad (20)$$

Функция  $c_0(x, t)$  определяет характер неоднородности среды, ею задано все распределение фаз, что позволяет полю скоростей учитывать перераспределение фаз. Собственно поле скоростей записанное для каждой среды позволяет каждой фазе корректировать свое движение с учетом положения других фаз.

**Вывод.** Разработана расчетная модель динамики рудных тел, позволяющая учитывать распределение плотности среды, а так же особенности распространения волн при изменении пространственного положения руды.

## Литература

1. Коваленко В.А. Автоматизированная подготовка производства на карьерах//Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета, т.9, №11, 2009г., С.118-123.
2. Долгушев В.Г., Райымкулов М., Воробьев Д.А. Особенности расчета диссипации энергии во время моделирования развала взорванной горной массы//Сборник докладов «Передовые технологии на карьерах», 2010г. С.62-66.
3. Воронин Д.В., Анисичкин В.Ф. Моделирование поведения взвесей тяжелых частиц за фронтом ударной волны. // Физика горения и взрыва. 2001. Т. 37. №4. С. 116-121.
4. Bogdan A. Nichita, Iztok Zunb and John R. Thome. A VOF method coupled with a dynamic contact angle model for simulation of two-phase flows with partial wetting // 7th International Conference on Multiphase Flow, ICMF 2010, Tampa, FL, May 30 – June 4, 2010.

## Применение широкополосных беспроводных технологий передачи данных в открытых горных разработках

М.Х. Мамедов ([mamedov@istc.kg](mailto:mamedov@istc.kg))

Институт коммуникаций и информационных технологий  
Кыргызско-Российского Славянского Университета

С развитием передовых технологий производства в горнорудной промышленности, возникает необходимость передачи больших объемов информации между подразделениями предприятия, необходимость передачи данных в режиме реального времени, в использовании систем видеонаблюдения на карьерах и производственных цехах предприятия и т.д. Как правило, на горных предприятиях используются радиосети для обеспечения передачи голоса, имеющие крайне низкую пропускную способность, и не позволяющие путем незначительного апгрейда улучшить эти показатели. Внедрение новейших технологий производства на карьерах, как правило, ведет к установке систем широкополосного беспроводного доступа ШБД. Внедрение ШБД в горном производстве требует учета множества факторов таких, как географическое расположение карьера, сложность рельефа, радиус охвата сети, объемы передаваемой информации, необходимость резервирования ресурсов и т.д.

### *Обзор существующих беспроводных технологий*

В настоящее время существуют множество беспроводных решений для широкополосной передачи данных. Среди этого множества следует выделить такие, как Wi-Fi, WiMAX, Mesh, которые более приемлемы в сложных условиях карьеров. Каждая из этих технологий имеет свои достоинства и недостатки. Wi-Fi - это промышленное название технологии беспроводного обмена данными, относящееся к группе стандартов организации беспроводных сетей IEEE 802.11. Для организации радиосети на базе Wi-Fi требуется обеспечение «прямой видимости» между «Точкой доступа», выполняющей функции коммутатора и клиентами. В зависимости от сложности рельефа на карьере (разрезе), требуется устанавливать несколько точек доступа разнесенных по бортам для обеспечения прямой видимости. Во многих случаях приходится устанавливать «Репитеры», так называемые удлинители сети. Одним из недостатков Wi-Fi является отсутствие функции «HandOver», "бесшовного" перемещения абонентов между точками доступа.

Сети WiMAX поддерживающие стандарт IEEE 802.16e, отличаются от Wi-Fi тем, что они поддерживают мобильность клиентов, т.е. «HandOver» и возможность работы на отраженных сигналах. Как следствие этого, решение является высоко-бюджетным. Предшественником WiMAX, была так называемая технология-гибрид preWiMAX, вобравшая в себя лучшее из стандарта IEEE 802.11 и некоторые опции WiMAX. В частности, поддерживающая функцию мобильности, и имеющая бюджетное решение.

Топология Mesh стандарт IEEE 801.11s основана на децентрализованной схеме организации сети, в отличие от типовых сетей IEEE 802.11, которые создаются по централизованному принципу. Точки доступа, работающие в Mesh-сетях, не только предоставляют услуги абонентского доступа, но и выполняют функции маршрутизаторов/ретрансляторов для других точек доступа, той же сети. Благодаря этому появляется возможность создания самоустанавливающегося и самовосстанавливающегося сегмента широкополосной сети. Mesh-сети очень мобильны в использовании, легко расширяемы, поддерживают «HandOver». К недостаткам можно отнести относительно высоко-бюджетное решение.

Техническая скорость передачи данных в современных широкополосных беспроводных системах передачи данных может колебаться от нескольких десятков до нескольких сотен Мбит/с.

Следует отметить, что, как в России, так и в странах СНГ частотный ресурс является лицензируемым и представляет определенные сложности в её легализации. В настоящее время в России, немного упростилась процедура получения частот в диапазоне 2400 – 2483,5МГц. Учитывая то, что карьеры, как правило, расположены в удалении от крупных городов, процедура получения лицензии не представляет больших трудностей. Срок получения лицензии в зависимости от Вашей настойчивости может составлять от 6 месяцев до 1 года. Из таблицы видно, что максимальная мощность передатчика не может быть более -10дБВт (100МВт). Параметр мощности передатчика является критичным и при проектировании беспроводной сети следует это учитывать.

Основные тактико-технические характеристики РЭС фиксированного беспроводного доступа в полосе 2400-2483,5 МГц

пп	Наименование характеристики	Значения характеристик для различной категории заявленной территории, на которой планируется развертывание сети фиксированного беспроводного доступа				Единицы измерений
		Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV	
<b>Точка-многоточка</b>						
	Максимальная мощность передатчика БС и АС	-10	-10	-10	-10	дБВт
	Максимальная ЭИИМ БС и АС	-4	6	6	6	дБВт
	Максимальный радиус зоны обслуживания БС	0,5	4	10	20	км
<b>Точка-точка</b>						
	Максимальная ЭИИМ	30				дБВт
	Диаграмма направленности антенны	В соответствии с рекомендациями МСЭ-Р F.1336 или F.699				

\*) 1. Категория I – города с численностью населения более 1 млн. чел.

Категория II – города с численностью населения от 250 тыс. чел до 1 млн. чел.

Категория III – города с численностью населения от 100 тыс. чел до 250 тыс. чел.

Категория IV – территория Российской Федерации, за исключением городов с численностью населения более 100 тыс. чел.

2. Выбор категории определяется городом с наибольшей численностью населения, частично или полностью покрываемым заявленной зоной обслуживания базовой станции.

### **Обзор производителей оборудования.**

Производителей беспроводного оборудования достаточно много и здесь главное не ошибиться в выборе. Конечно, купив оборудование от Cisco, Вы останетесь довольны её качеством, но будете разочарованы её ценой. Тоже самое Вас ждет с Motorola, но немного успокоит цена. Вполне бюджетное решение можно достичь на D-Link, Proxim, Infinet Wireless и др. Все же при выборе оборудования беспроводной сети следует обратить внимание на следующее: в каких погодных условиях оно будет эксплуатироваться; частотный ресурс региона; рельеф местности; условия электропитания и другие. Хотелось бы остановить внимание на Российском производителе Infinet Wireless, выпускающая оборудование, рассчитанное на эксплуатацию в условиях Крайнего Севера и Сибири.

### **Особенности внедрения беспроводных сетей на карьерах**

Как правило, карьер имеет сложный рельеф, и его география постоянно меняется, перемещаясь за рудным телом. Как говорилось ранее для качественной работы беспроводных сетей передачи данных желательно иметь «прямую видимость» между Базовой станцией (БС) и Абонентом (АС). Для достижения этого условия необходимо, чтобы БС была мобильной, легко перемещаемой на местности. Из опыта внедрения беспроводной сети на ОАО «Разрез Тугнуйский» в качестве радиомачт нами были использованы деревянные опоры высотой 11 метров, которые монтировались на передвижное основание, те, что используют обычно электрики (рис.1). Для удобства монтажа радиооборудования, мачты следует оснастить «корзиной-гнездом»

Учитывая то, что электропитание на карьерах очень нестабильное и может колебаться от 150В до 300В, иметь все мыслимые и не мыслимые помехи, отключаться на продолжительное время, следует максимально защититься от всех этих проблем. Рекомендуется всю радиоаппаратуру запитывать через источники бесперебойного питания, на вводах питания устанавливать фильтры и стабилизаторы.

И последнее, для защиты от молний необходимо установить громоотводы на мачтах. На ОАО «Разрез Тугнуйский» в виде проводника нами была использована катанка диаметром 6 мм.



Рис.1. Радиомачта, выполненная на базе деревянной опоры.

## Оптимизация удельного расхода ВВ по критерию затрат

Е.И. Рогов ([igdkpms@mail.ru](mailto:igdkpms@mail.ru)), академик НАН РК, д.т.н., проф.  
А.Е. Рогов академик МЭА, д.т.н., проф.

Ранее нами была решена задача по определению оптимальной величины удельного расхода –  $q$  ВВ по критерию энергоёмкости на взрывные, выемочно-погрузочные и работ по дроблению добываемых твердых полезных ископаемых. Были получены соответствующие расчетные модели и формулы, позволяющие определить оптимальное значение  $q_0$ , кг/м<sup>3</sup> или кг/т в функции от заданного среднего значения размера куска взорванной породы калорийности ВВ и  $\sigma_{сж}$  – взрывааемых пород в массиве. Энергоёмкость указанных процессов измеряется в МДж для  $q_0$ .

Но по другому критерию  $J_{11}$  затраты на комплекс буровых, взрывных, выемочно-погрузочных и транспортных работ, выраженных в денежном эквиваленте аналогичных исследований не проводилось.

Произведем обоснование функции цели  $J$  по критерию затраты. Ясно, что:

$$J = \sum_{j=1}^4 J_j, \$ \text{ или тенге,} \quad (1)$$

где  $J_1$  – затраты на бурение скважин;  
 $J_2$  – затраты на взрывные работы;  
 $J_3$  – затраты на выемочно-погрузочные работы;  
 $J_4$  – затраты на транспортировку горной массы.  
 Определим время обуривания рабочего блока в виде:

$$t_{\delta} = \frac{S_{\delta л} \cdot h}{a^2 \cdot П_{ст} \cdot N_{ст}}, \text{ сутки,} \quad (2)$$

где  $S_{\delta л}$  – площадь блока в плане, м<sup>2</sup>;  
 $h$  – глубина (высота) скважины, м;  
 $a$  – размер стороны квадрата, м;  
 $П_{ст}$  – производительность станка, м/сут;  
 $N_{ст}$  – число станков в блоке, шт.  
 Общая длина буримых скважин в блоке:

$$L = \frac{S_{\delta л}}{a^2} \cdot h, \text{ м.} \quad (3)$$

Общая длина заряда:

$$L = \frac{S_{\delta л}}{a^2} \cdot h_3, \quad (4)$$

где  $h_3$  – длина заряда ВВ в скважине, м.

Затраты на бурение

$$J_1 = t_{\delta} \cdot C_{\delta}, \quad (5)$$

где  $C_{\delta}$  – стоимость буровых работ, \$/сут. или тенге/сут. С учетом (2) получим:



$$J_1 = \frac{S_{\text{бл}} \cdot h \cdot C_6}{a^2 \cdot \Pi_{\text{ст}} \cdot N_{\text{ст}}}, \$ \text{ или тенге.} \quad (6)$$

Затраты на взрывные работы с учетом ВВ, СВ и забойки

$$J_2 = \rho_{\text{п}} \cdot V_{\text{бл}} \cdot q \cdot C_{\text{ВВ}}, \$ \text{ или тенге,} \quad (7)$$

где  $\rho_{\text{п}}$  – плотность пород в массиве, т/м<sup>3</sup>;

$C_{\text{ВВ}}$  – стоимость ВВ, \$/кг.

Затраты на выемочно-погрузочные работы определяются по формуле:

$$J_3 = V_{\text{бл}} \cdot K_p \cdot t_{\text{ц}} \cdot C_{\text{п}}, \$, \quad (8)$$

где  $C_{\text{п}}$  – стоимость выемочно-погрузочных работ в блоке, \$/сут.м<sup>3</sup>;

$t_{\text{ц}}$  – время цикла экскавации взорванной массы блока, сут.

$$t_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{бл}} \cdot K_p \cdot \tau}{E_{\text{к}} \cdot k}, \text{ сут,} \quad (9)$$

где  $E_{\text{к}}$  – емкость ковша экскаватора, м<sup>3</sup>;

$k$  – коэффициент наполнения ковша;

$\tau$  – цикл черпания ковша экскаватора, сут.

Но  $\tau$  зависит от среднего размера  $\bar{d}$  куска взорванной горной массы или от  $q$  в виде:

$$\tau = \alpha \cdot e^{-\beta \cdot q}, \quad (10)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – статистические коэффициенты.

Если известны результаты хотя бы двух опытных взрывов, то имеем для  $\bar{d}_1, \bar{d}_2$  и  $\tau_1, \tau_2$ :

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= -0,0033 \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot \ln \bar{d}_1, \text{ м,} \\ q_2 &= -0,0033 \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot \ln \bar{d}_2, \text{ м.} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Подставляя в (10) уравнения значения  $\tau_1$  и  $\tau_2$ , а также  $\bar{d}_1$  и  $\bar{d}_2$ , будем иметь систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \tau_1 &= \alpha \cdot e^{-\beta q_1}, \\ \tau_2 &= \alpha \cdot e^{-\beta q_2}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Поделив первое уравнение на второе при  $q_2 > q_1$

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = e^{-\beta(q_2 - q_1)}. \quad (13)$$

Из уравнения (13) находим  $\beta$ :

$$\beta = \frac{1}{q_2 - q_1} \ln \frac{\tau_1}{\tau_2}. \quad (14)$$

Здесь  $\tau_1 > \tau_2$ , т.к.  $\bar{q}_2 > \bar{q}_1$ . Затем из (12) находим параметр  $\alpha_1$ :

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= \tau_1 \cdot e^{\beta q_1}, \\ \alpha_1 &= \tau_2 \cdot e^{\beta q_2}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Проверкой правильности вычислений (12), (13) и (14) является совпадение численных значений  $\alpha_1$  в (15).

Подставляя в уравнение (9)  $\tau$  из уравнения (10) и  $t_{ц}$  в функцию (8), получаем:

$$J_3 = \frac{V_{бл} \cdot K_p \cdot \alpha \cdot e^{-\beta q} \cdot C_{п}}{E_k \cdot k}, \$ \quad (16)$$

Затраты на транспортировку горной массы из блока за время  $t_{ц}$  составят:

$$J_4 = C_T \cdot t_{ц}, \$ \quad (17)$$

где  $C_T$  – суточные затраты на транспортировку горной массы, \$/сут.

Подставляя в (17) значение  $t_{ц}$ , получим:

$$J_4 = \frac{V_{бл} \cdot K_p \cdot \alpha \cdot e^{-\beta q} \cdot C_T}{E_k \cdot k}, \$ \quad (18)$$

В общем виде теперь функция цели запишется:

$$J(q) = \frac{S_{бл} \cdot h \cdot C_{б}}{a^2 \cdot n_{ст} \cdot T_{ст} \cdot \Pi_{ст} \cdot N_{ст}} + \rho_{п} \cdot V_{бл} \cdot C_{вв} \cdot q + \frac{C_{п} \cdot V_{бл} \cdot K_p \cdot \alpha \cdot e^{-\beta q}}{E_k \cdot k} + \frac{C_T \cdot V_{бл} \cdot K_p \cdot \alpha \cdot e^{-\beta q}}{E_k \cdot k} \rightarrow \min \quad (19)$$

при ограничении

$$q \leq q \leq \hat{q}. \quad (20)$$

Функция цели имеет абсолютный минимум в точке для уравнения:

$$\frac{\partial J}{\partial q} = 0.$$

Введем обозначение постоянной:

$$A = \frac{V_{бл} \cdot K_p \cdot \alpha (C_{п} + C_T)}{E_k \cdot k} \quad (21)$$

И после определения частной производной  $\frac{\partial J}{\partial q}$  получим в явном виде:

$$-\beta \cdot A \cdot e^{-\beta q} + \rho_{п} \cdot V_{бл} \cdot C_{вв} = 0$$

или иначе:

$$\rho_{п} \cdot V_{бл} \cdot C_{вв} \cdot e^{\beta q} = \beta A. \quad (22)$$

Откуда имеем оптимум по  $q_0$

$$q_0 = \frac{1}{\beta} \ln \frac{\beta \cdot A}{\rho_{п} \cdot V_{бл} \cdot C_{вв}}. \quad (23)$$

Подставляя из (21) значение  $A$  в уравнение (23), окончательно будем иметь:

$$q_o = \frac{1}{\beta} \ln \frac{\beta \cdot K_p \cdot \alpha \cdot (C_{\Pi} + C_T)}{E_k \cdot k \cdot \rho_{\Pi} \cdot C_{\text{ВВ}}}, \text{ кг/т} \quad (24)$$

или в кг/м<sup>3</sup>

$$\tilde{q}_o = \frac{\rho_{\Pi}}{\beta} \ln \frac{\beta \cdot K_p \cdot \alpha \cdot (C_{\Pi} + C_T)}{E_k \cdot k \cdot \rho_{\Pi} \cdot C_{\text{ВВ}}}, \text{ кг/м}^3.$$

Если  $q_o \in \left\{ \underset{\vee}{q}; \overset{\wedge}{q} \right\}$ , то  $q_o$  – это и есть решение задачи по оптимизации удельного расхода ВВ для конкретной породы.

При  $q_o < \underset{\vee}{q}$  решением по  $q'_o$  будет:

$$q'_o = \underset{\vee}{q}. \quad (25)$$

При  $q_o > \overset{\wedge}{q}$ , решение будет на правой границе:

$$q''_o = \overset{\wedge}{q}. \quad (26)$$

Оптимальная величина заряда  $q_o$  позволяет определить средний оптимальный размер куска -  $\bar{d}_o$  взорванной горной породы:

$$\bar{d}_o = \exp\left(-\frac{q_o}{0,0033\sigma_{\text{сж}}}\right), \text{ м}, \quad (27)$$

где  $\sigma_{\text{сж}}$  – предел прочности породы на сжатие, МПа.

Также, исходя из заряда  $q_o$  – находится сеть скважин по формуле для квадратной ячейки

$$a_o = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{\pi \cdot \gamma_{\text{В}} \cdot h_3}{h \cdot \tilde{q}_o}}, \text{ м}, \quad (28)$$

где  $a_o$  – размер стороны квадратной ячейки, м;

$d$  – диаметр скважины, м;

$\gamma_{\text{В}}$  – насыпная плотность ВВ в скважине, кг/м<sup>3</sup>;

$h_3$  – длина заряда в скважине, м;

$h$  – высота уступа, м;

$\tilde{q}_o$  – удельная величина заряда, кг/м<sup>3</sup>.

Но поскольку  $q_o$  определена была в кг/т пород в массиве, то величина

$$\tilde{q}_o = q_o \cdot \rho_{\Pi}, \text{ кг/м}^3 \quad (29)$$

и тогда формула (28) примет вид:

$$a_o = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{\pi \cdot \gamma_{\text{В}} \cdot h_3}{h \cdot q_o \cdot \rho_{\Pi}}}, \text{ м}. \quad (30)$$

Пример: дано  $\gamma_{\text{В}} = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $h_3 = 10$  м;  $h = 15$  м;  $q_o = 0,8$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\Pi} = 2,6$  т/м<sup>3</sup>;  $d = 0,3$  м

$$a_o = 0,15 \sqrt{\frac{\pi \cdot 800 \cdot 10}{15 \cdot 0,8 \cdot 2,6}} = 4,2 \text{ м}$$

принимаем сторону квадрата  $a_0 = 4$  м.

В итоге исследований получена достаточно простая расчетная формула (24) для определения  $q_0$  – оптимального удельного расхода ВВ в кг/т или кг/м<sup>3</sup> из которой следует:

- эта величина не зависит от размера блока;
- она прямо пропорциональна натуральному логарифму от затрат на погрузку и транспортировку ( $C_{п+С_{т}}$ ); обратно пропорциональна  $E_k$  – емкости ковша экскаватора или погрузочно-доставочной машины (ПДМ) и стоимости ВВ и СВ –  $C_{вв}$ ;
- по величине  $q_0$  однозначно прогнозируется средний размер куска взорванной горной породы;
- по величине  $q_0$  определяется размер квадратной ячейки или оптимальная схема расположения взрывных скважин.

## Мониторинг прибортовых массивов с использованием современного маркшейдерско-геодезического оборудования

С.В. Турсбеков (Алматы, КазНТУ)  
В.И. Нифадьев ([krsu@krsu.edu.kg](mailto:krsu@krsu.edu.kg)) (Бишкек, Кыргызско-Российский  
Славянский Университет)

### Резюме

Инструментальный маркшейдерско-геодезический контроль состояния устойчивости бортов карьера Соколовский производился с октября 2009 года по сентябрь 2010г. с использованием современного электронного геодезического оборудования: роботизированного электронного тахеометра Leica TCA 1202 и с помощью двухчастотного приемника GPS Leica 1200.

### Summary

Tool markshejdersko-geodetic control of a condition of stability of boards of an open-cast mine Sokolovsky was made from October, 2009 till September 2010г. With use of the modern electronic geodetic equipment: robotized electronic tacheometer Leica TCA 1202 and by means of two-frequency receiver GPS Leica 1200.

Наблюдение за сдвижением карьерных откосов в странах СНГ до сих пор проводится в рамках инструкций не учитывающих возможности современных маркшейдерских приборов [1, 2].

Современное маркшейдерско-геодезическое оборудование позволяет выполнять высокоточные наблюдения за деформациями карьерных откосов. При этом обеспечивается высокая точность и на несколько порядков повышается производительность работ, оперативность получения важной информации для принятия решений, а в отдельных случаях реализуется возможность наблюдений за недоступными или труднодоступными объектами.

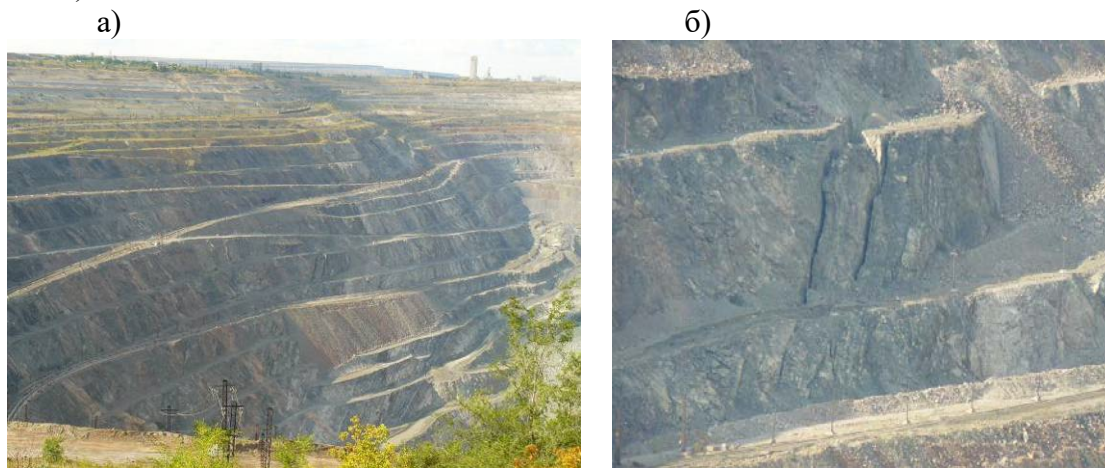
В настоящее время при инструментальных маркшейдерских наблюдениях, выполняемых с целью обеспечения мониторинга прибортовых массивов на глубоких карьерах необходимо использовать комплекс современных методов высокоточных измерений на потенциально опасных участках, включающих электронную тахеометрию, лазерное сканирование и спутниковую навигацию.

В зависимости от конкретных горногеологических условий эти методы следует применять в различных комбинациях. Мониторинг прибортовых массивов с использованием современного маркшейдерско-геодезического оборудования подразумевает не только наблюдения за рабочими и опорными реперами, но и изучение структурно-тектонических особенностей и создания геомеханических моделей прибортовых массивов.

Изучив опыт использования глобальных спутниковых систем (GPS) на карьерах: Кальмакырский (Узбекистан), Варваринский (Казахстан), Коршуновский (Россия) была разработана методика наблюдений за деформациями бортов глубоких карьеров на основе заложенных наблюдательных станций. Наблюдательные станции для геомеханического исследования состояния прибортовых и отвальных массивов карьера "Соколовский" заложены с учетом горно-геологических условий разработки месторождения, где фактически наблюдаются процессы смещение массива карьерных откосов или имеется наибольшая вероятность их проявления [3, 4].

Проектом наблюдательных станций [3] разработана система геомеханического мониторинга состояния устойчивости прибортовых массивов карьера "Соколовский" АО "ССГПО".

Для производства наблюдений за деформациями бортов карьера созданы четыре наблюдательные станции I, II, III, IV, где закладываются репера на верхней площадке и бермах уступах бортов карьера перпендикулярно простиранию верхней бровки борта (рисунок 1).



а) общий вид западного борта карьера

б) локальные деформации уступов

Рисунок 1 - Район расположения наблюдательной станции I-I на карьере Соколовский АО "ССГПО"

Наблюдательная станция I (рисунок 2) заложена в районе трещины на западном борту карьера до горизонта  $-125\text{м}$ , проектом предусмотрено создание площадной станции, состоящей из пяти профилей [1].

Местоположение наблюдательной станции II обусловлено наличием деформаций на западном борту до горизонта  $+120\text{м}$ . Станция предназначена для контроля устойчивости участка борта над транспортной бермой.

Наблюдательная станция III, согласно проекту, проходит через деформацию на северном борту карьера до горизонта  $+154\text{ м}$  и предназначена для контроля за состоянием устойчивости съезда.

Основанием для закладки наблюдательной станции IV на юго-восточном борту карьера, является наличие деформации на горизонте  $-125\text{м}$  и максимальной глубины карьера на данном участке.

Инструментальный маркшейдерско-геодезический контроль состояния устойчивости бортов карьера Соколовский производился с октября 2009 года по сентябрь 2010г. с использованием современного электронного геодезического оборудования: роботизированного электронного тахеометра Leica TCA 1202 и с помощью двухчастотного приемника GPS Leica 1200 [5].

Анализ результатов измерений с помощью электронного тахеометра Leica TCA 1202 показал следующие недостатки использования данной методики:

- опорные репера профильных линий наблюдательных станций находятся на расстоянии от бровки более  $1.5\text{ Н}$  ( $\text{Н}$  - глубина карьера), что приводит к накоплению ошибок измерений при определении координат реперов на глубоких горизонтах [1];
- для наблюдения за состоянием рабочих реперов наблюдательной линии расположенных на бермах уступов карьеров, возникает необходимость дополнительных связующих точек, и их количество возрастает для глубоких карьеров;
- ограничение видимости между рабочими реперами в связи с большой глубиной карьера, высотой уступов, наличием промышленных сооружений на борту карьера приводит к необходимости создания дополнительных переходных точек, что



увеличивает объем работ и накопление ошибки передачи высотных и плановых координат.

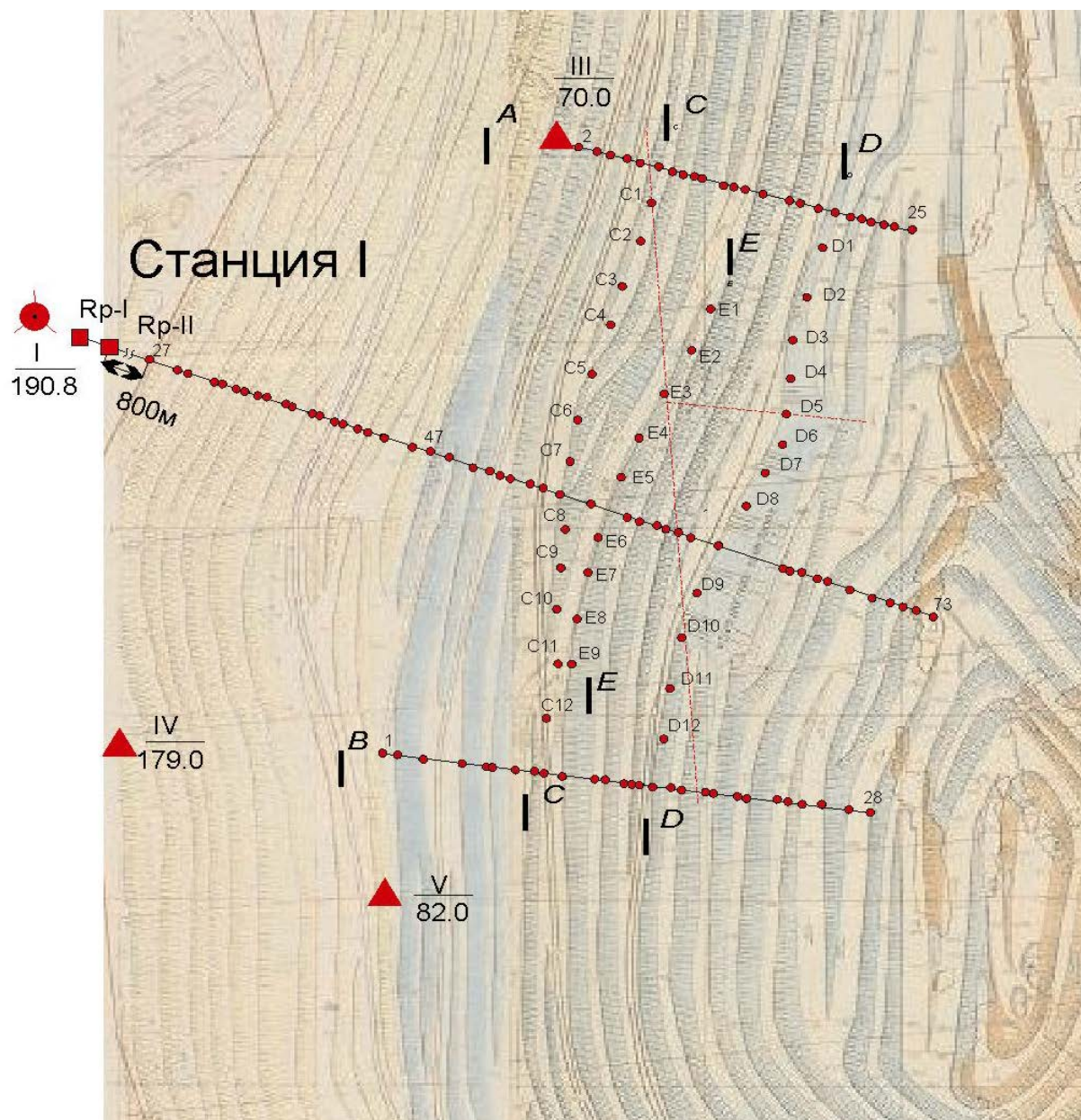


Рисунок 2 - Наблюдательная станция I на карьере "Соколовский"

Для условий глубоких карьеров, в связи с их очень большими размерами выемки, достигающими трёх и более километров при глубинах порядка 500 м, обеспечить точность измерений в пределах 10мм не везде представляется возможным. Поэтому на карьере потребовалось внедрение спутниковых систем GPS для исключения выше названных недостатков [6,7].

Наблюдение с GPS проводилось с учетом уменьшения ошибок за ионосферу, искажение спутникового сигнала и теневого эффекта. Теоретические исследования ошибок с использованием GPS проводились на базе Технического университета Клаусталь (Германия) и КарГТУ. Для уменьшения отраженных от откосов и от поверхности земли радиоволн, использовался металлический диск диаметром 0,5 м с толщиной металла 2 мм (рисунок 3).

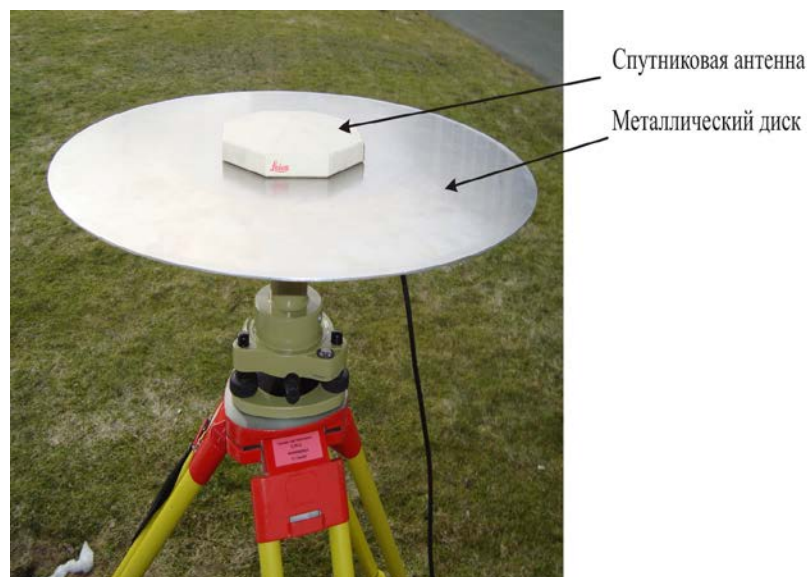


Рисунок 3- Антенна с металлическим диском

Подобные антенны необходимо использовать для получения наиболее точных результатов, которые необходимы при наблюдениях за сдвижением откосов уступов бортов карьеров. Применение металлического диска при измерении в режиме быстрой статики позволяет увеличить точность измерения на 11 %.

Антенны GPS имеют одноточечную схему подачи питания, что делает антенну асимметричной и ведет к разбросу колебаний фазового центра. Проведенное исследование антенны GPS приемника Leica AT 501 показало что при измерении при разных углах разворота антенны  $0^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$ ,  $270^{\circ}$ ,  $360^{\circ}$  в режиме «быстрая статика», результаты отличались по местоположению вследствие нестабильности положения фазового центра (рисунок 4). Поэтому при наблюдении на карьере ориентирование всегда проводилось в одном направлении на север.

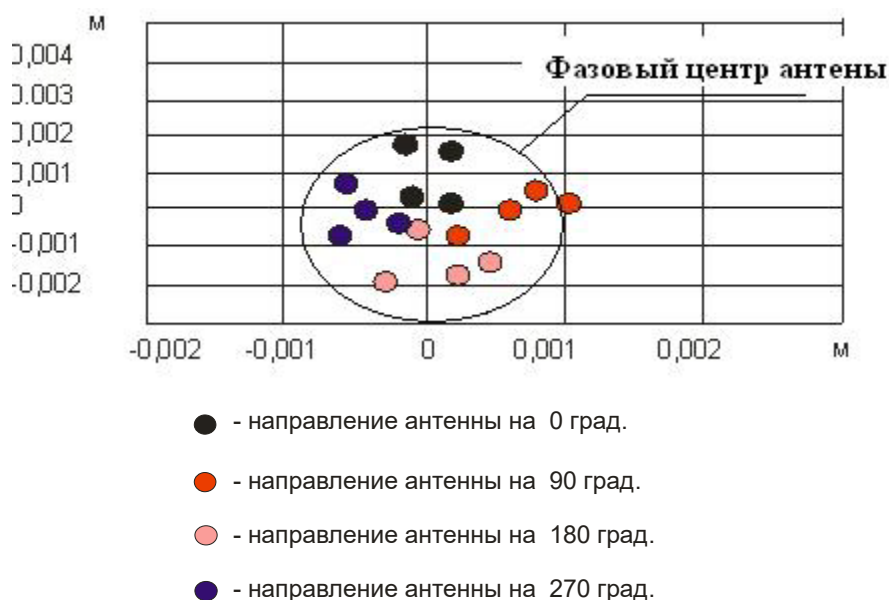


Рисунок 4- Стабильность фазового центра антен Leica AT 501

Определения координат точек наблюдательной станции I на глубоких горизонтах произведено путем вставки дополнительной переходной точки с помощью GPS технологий. Вставка переходной точки на западном борту ИЕ-6" на горизонте -25м осуществлялась тахеометра Leica TCA 1202 и с помощью двухчастотного приемника

GPS Leica 1200. GPS измерения проводились в режиме быстрая статика с точностью до  $(1 - 3) \cdot 10^{-3}$  мм [5]. Результаты измерений сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты инструментальных маркшейдерско-геодезических наблюдений за положением реперов по станции I Соколовского карьера (в условных координатах)

№ репера	Y	X	Z
<b>Результаты измерения электронным тахеометром Leica TCA 1202</b>			
Rp-I	1235,494	5145,544	177,364
IE-6"	2496,423	4811,434	-25,762
<b>Результаты измерения GPS приемником Leica 1200</b>			
Rp-I	1235,491	5145,546	177,359
IE-6"	2496,419	4811,437	-25,767

На основе анализа результатов исследования состояния устойчивости прибортовых и отвальных массивов Соколовского карьера по состоянию на 24.09.2010 г. сделаны следующие выводы:

- применение электронных тахеометров для наблюдения за состоянием рабочих реперов наблюдательной линии расположенных на бермах уступов карьеров из-за ограничения видимости между рабочими реперами в связи с большой глубиной карьера, высотой уступов, приводит к необходимости создания дополнительных переходных точек, что увеличивает объем работ и накопление ошибки при передачи высотных и плановых координат;

- применять спутниковые системы GPS для вставки переходных точек в режиме быстрая статика, при этом необходимо учитывать разработанную методику по уменьшению искажения спутникового сигнала в ионосфере, фазового центра антенны и теневого эффекта;

- методику измерения для наблюдения за состоянием рабочих реперов наблюдательной линии с использованием электронных тахеометров и глобальных спутниковых систем необходимо отразить в отчетах и разрабатываемых инструкциях;

- на горизонте -2м и -107м, различия в координатах контрольных реперов на разные даты наблюдений не превысили точности измерений, смещения реперов не обнаружены.

#### **Список литературы:**

1. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Согласованы приказом Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью Республики Казахстан от «22» сентября 2008 г. № 39.

2. Инструкция по наблюдению за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Л.:ВНИМИ, 1971.

3. Проект наблюдательных станций за состоянием устойчивости бортов и отвала Соколовского карьера //Отчет НИР, КарГТУ, Караганда, 2008.

4. Рабочий проект. Реконструкции Соколовского карьера с вовлечением в отработку новых запасов вкрапленных руд для поддержания мощности ССГОКа, Том II. Горно- транспортная часть. Гипроруда, 1992.

5. Инструкция "По развитию съемочного обоснования и съемки ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS". - Разработана ЦНИИГАиК, ГКИНП (ОНТА)-02-262-02 - Москва, 2002. -55с.

6. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Том 1.: Научное издание.- М.: Картоцентр, Новосибирск: Наука, 2005.- 334 с.
7. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Том 2.: - Научное издание.- М.: Картоцентр, Новосибирск: Наука, 2006. - 360 с.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Турсбеков С.В. – зам.директор по учебно – воспитательной и научной работе, кандидат технических наук, доцент член – корреспондент Международной Академии Информатизации, КазНТУ им. К.И. Сатпаева; дом. тел.: +7(727) 3093096, сот.: 8777 296 22 80;
2. Нифадьев В.И. – д.т.н., проф., академик НАН КР, ректор КРСУ им. Б.Н. Ельцена; тел.: 996(312) 66 – 25 -67, 996(312) 61- 16 - 50.

## Комплексное обеспечение устойчивости бортов карьеров

М.Б. Нурпеисова, д-р техн. наук,  
Г.М. Кыргызбаева, канд.техн. наук.,  
Х.М. Касымканова, д.т.н.  
Казахский национальный технический университет  
г.Алматы, РК

*In article application of the complex approach to calculation of stability of piles is offered, that will allow with sufficient reliability to estimate their actual condition and stability on design contours.*

Недра Казахстана содержат в промышленных масштабах практически все виды минерального сырья, используемого в металлургии, строительстве и энергетике. Разработка большинства месторождений в настоящее время осуществляется открытым способом. Увеличение глубины и объемов открытых горных работ, усложнение инженерно-геологических условий разработки определяют качественно новый подход к обеспечению устойчивости бортов глубоких карьеров, как Соколов-Сарбайский, Качарский, Акжал и др.

Анализ причин деформирования откосов бортов, поставленных в предельное положение показывает, что характер и величины разрушающих деформаций зависят от глубины: угла наклона бортов карьера, физико-механических свойств и структурных особенностей породного массива. Время устойчивого существования откоса колеблется от 2 месяцев до 6-7 лет.

Для обеспечения устойчивости бортов карьеров необходим прогноз, осуществление которого определяется, главным образом, установлением причин, условий, времени и места образования деформаций. Знание потенциально опасных по деформациям участков месторождения позволяет еще на стадии планирования горных работ установить места возможных деформаций и принять меры по их предотвращению.

Задача прогнозирования деформаций сводится к определению характеризующих состояние массива горных работ признаков и разработке на этой основе оперативного прогноза. Для решения поставленной задачи разработана схема прогноза (рисунок 1), используемая для наблюдений и оценки состояния горного массива во времени и в пространстве. Использование схемы позволяет достоверно оценить состояния массива, своевременно предвидеть возможные опасные последствия для обеспечения сохранности недр [1].

Массив горных пород характеризуется разнообразными видами структурных элементов, среди которых выделяется трещиноватость. Трещиноватость горного массива, как ослабевающий фактор оказывает решающее влияние на устойчивость откосов, а физико-механические свойства пород во взаимосвязи с трещиноватостью определяют напряженное состояние прибортового массива и условия их деформирования. Поэтому особое внимание было уделено изучению и учету влияния природных факторов.

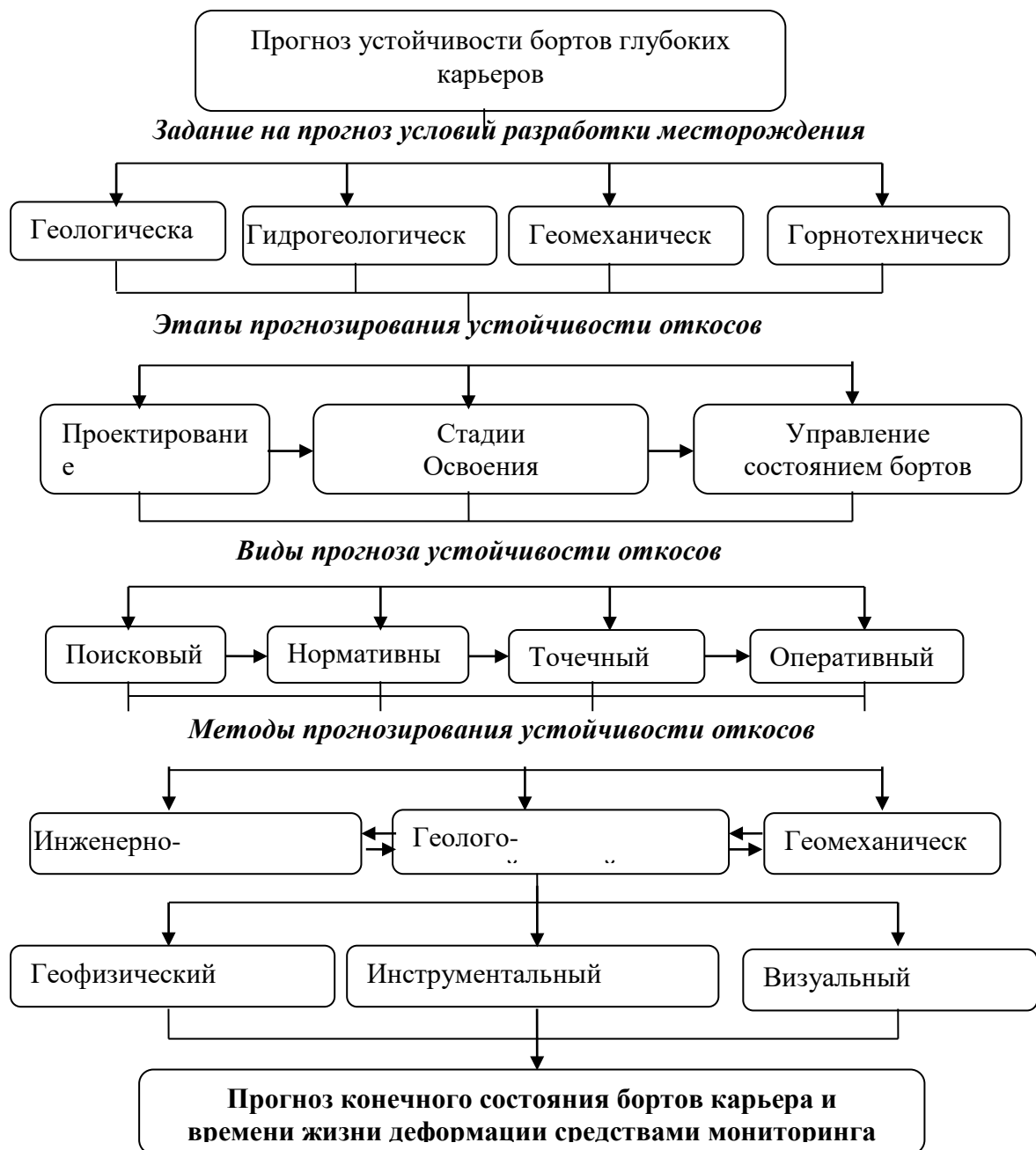


Рисунок 1- Схема разработки прогноза состояния откосов бортов карьера

Анализ полученных результатов, особенно пространственная изменчивость свойств и структурных особенностей, а также различная степень трещиноватости в пределах одних и тех же пород на разных участках показал, что для успешного решения проблемы устойчивости карьерных откосов необходимо разработка геофизических способов и средств, обеспечивающих получение оперативной и достоверной информации о напряженном состоянии прибортового массива.

Нами разработаны геофизические (теплотрический и ультразвуковой) способы оценки нарушенности массивов горных пород, которые позволили решить вопросы оперативного контроля их состояния и с достаточной для решений задач геомеханики степенью детализации выполнять районирование карьерных полей по фактору нарушенности.

Для проведения крупномасштабных исследований нарушенности породных массивов, определение границ и размеров однородных и выявление потенциально



неустойчивых участков уступов и бортов карьеров предлагается использовать теплотрический способ, где производится одновременное измерение температуры участков массива всеми термометрами в процессе остывания массива и определение взаимосвязи параметров теплового излучения массива горных пород [2,3].

Разработанные геофизические способы экспресс- оценки нарушенности массива, а также анализ геологического строения и физико - механических свойств пород карьера, характера обводненности породного массива, данных деформаций и условий их возникновения, что дало возможность выявить протяженные участки с одинаковыми условиями устойчивости и составить карту районирования карьерного поля по степени устойчивости (устойчивый, условно устойчивый, неустойчивый).

На основании карты районирования карьерного поля выполнено районирование бортов карьера (таблица).

Для установления продолжительности устойчивого состояния отработанных участков месторождения организовано наблюдение средствами мониторинга, предусматривающего несколько последовательных этапов работы, позволяющих развивать и дополнять методы интерпретации результатов наблюдений и прогнозирования устойчивости прибортового массива.

При изучении трещиноватости горных пород накапливается большое количество данных полевых замеров. Обработку и обобщение этих измерений производят с использованием различных круговых диаграмм и стереографических сеток, обладающих рядом недостатков, наличие которых снижает эффективность, достоверность и надежность получаемых результатов. Поэтому нами разработана методика автоматизированного построения прямоугольной диаграммы трещиноватости, являющаяся компьютерной технологией моделирования структурных особенностей пород массива

Для установления продолжительности устойчивого состояния отработанных участков месторождения, находящихся в выявленных предварительному прогнозу потенциально опасных по деформациям участках, были организованы наблюдения средствами мониторинга.

При этом решающее значение в оценке состояния массива горных пород принадлежит инструментальному маркшейдерскому контролю с применением спутниковых навигационных систем (GPS - систем), позволяющих определить приращение (ординат между опорным пунктом и рабочими реперами с точностью до 1-2 см [4].

Получаемая в результате маркшейдерских наблюдений информация представляет собой значительный объем, требующий компьютерной обработки. Для решения данной задачи создана база данных геолого-маркшейдерской информации (БД ГМИ), являющаяся основой для проектирования, планирования горного производства и геомеханических исследований.

Назначением созданной системы БД ГМИ является автоматизация и компьютеризация процессов сбора, передачи, обработки и выдачи пользователям геомеханической информации, используемой при планировании горных работ на карьере. Система включает базы инженерно-геологических и геомеханических данных, базы данных геофизических и маркшейдерских исследований, а также программное обеспечение расчетов устойчивости откосов бортов карьера по различным алгоритмам.



Районы	Местоположение	Геологическое строение	Гидрогеологические условия	Оценка устойчивости		
<b>Устойчивый</b>	Северный борт гор. + 250 и выше	Породы представлены алевролитами и сланцами различного состава с прослоями песчаников	Участки обводнены	Относительно устойчивы. Возможны мелкие обрушения и осыпи. Дополнительные требования по безопасному ведению горных работ не требуются		
	<b>Условно неустойчивый</b>	Восточный борт	Участок сложен переслаивающимися алевролитами и сланцами	Участки обводнены	Условно не устойчивы. Возможны обрушения. Работать согласно «Требования по безопасному ведению горных работ в зонах деформаций»	
		Северный борт				Участок сложен окварцованными алевролитами
		Южный борт				Породы малопрочные
Западный борт	Переслаивание алевролитов и сланцев					
<b>Неустойчивый</b>	Южный борт	Породы малопрочные разбиты многочисленными нарушениями	Участки обводнены	Условно не устойчивы. Возможны обрушения. Работать согласно «Требования по безопасному ведению горных работ в зонах деформаций»		
	Северный борт	Породы сильно трещиноватые				
Район	Местоположение	Геологическое строение	Гидрогеологические условия	Оценка устойчивости		
<b>Устойчивый</b>	Северный борт гор. + 250 и выше	Породы представлены алевролитами и сланцами различного состава с прослоями песчаников	Участки обводнены	Относительно устойчивы. Возможны мелкие обрушения и осыпи. Дополнительные требования по безопасному ведению горных работ не требуются		
	<b>Условно неустойчивый</b>	Восточный борт	Участки обводнены	Условно не устойчивы. Возможны обрушения. Работать согласно «Требования по безопасному ведению горных работ в зонах деформаций»		
		Северный борт			Участок сложен окварцованными алевролитами	
Южный борт	Породы малопрочные					

Таблица 1 - Районирование бортов карьера

Таким образом, на основе многолетних наблюдений за процессом деформирования массива горных пород на ряде рудных месторождений:

- разработаны геофизические способы определения нарушенности массива, позволяющие оперативно производить районирование бортов карьеров по фактору устойчивости, техническая новизна которых подтверждены инновационными патентами Республики Казахстан;

- разработаны новые методы автоматизированной обработки результатов массовых замеров трещин на основе геометризации структурных показателей с применением компьютерной техники, позволяющие наиболее точно и оперативно определять положение центра системы трещин.

- реализована система мониторинга и управления информативными параметрами в процессе ведения горных работ, позволяющая еще на стадии проектирования горных работ составить надежный прогноз устойчивости бортов, установить места возможных деформаций и принять меры по их предотвращению, тем самым обеспечить сохранность недр в условиях непрерывно действующего производства.

### ***Список литературы***

1. Нурпеисова М.Б., Касымканова Х.М., Кыргызбаева Г.М. Прогнозирование устойчивости бортов карьеров // Материалы XVI Международной научной школы им. Академика С.А. Христановича. - Крым, Алушта, 2006. – С. 211 – 214.

2. Инновационный патент РК №20700 «Способ определения нарушенности горного массива /Нурпеисова М.Б., Бек А.Ш., Касымканова Х.М. и др..Опубл. от 15.01.2009 г.

3. Инновационный патент РК №1031 «Способ определения трещиноватости массива / Нурпеисова М.Б., Бек А.Ш., Касымканова Х.М. и др. Опубл. от 02.10.2008 г..

4. Нурпеисова М.Б., Касымканова Х.М., Кыргызбаева Г.М. Методика контроля и прогноза устойчивости бортов карьера //Горный журнал Казахстана. - 2006.- №7.- С.10-12.

## Анализ результатов наблюдений смещений бортов карьера

А.П. Демиденко ([demidenko@istc.kg](mailto:demidenko@istc.kg))

Институт коммуникаций и информационных технологий  
Кыргызско-Российского Славянского Университета

В течении 2010 года были проведены наблюдения за смещениями бортов карьера Кумтор. Для удобства обработки полученной в результате мониторинга информации на базе системы управления базами данных Microsoft Access 2000 разработана автоматизированная система, позволяющая производить по запросам пользователей группировку информации, вычисления среднего и максимального значения смещения и скорости смещения наблюдаемых реперов, изображать графически скорость смещения выбранного репера за все месяцы 2010 года.

Основная информация по наблюдениям за 2010 год хранится в таблице **итог\_2010**, фрагмент которой приведен на рис.1.

Код	Номер точки	Смещение, мм	Скорость, мм/ч	Борт (зона)	Месяц	мес
1	3842-46	21.4587344250308	2.88423849798801E-02	07 Центральная Зона Повышенного Внимания ЮВ борта	январь	1
2	3842-47	32.4016453928378	4.35505986462873E-02	07 Центральная Зона Повышенного Внимания ЮВ борта	январь	1
3	3842-49	16.9566179475045	2.27911531552479E-02	07 Центральная Зона Повышенного Внимания ЮВ борта	январь	1
4	3842-50	12.5871323989941	1.69181887083255E-02	07 Центральная Зона Повышенного Внимания ЮВ борта	январь	1
5	3866-132	29.5903313643638	3.97719507585534E-02	07 Центральная Зона Повышенного Внимания ЮВ борта	январь	1
6	3866-133	19.8565220546381	2.66888737293522E-02	07 Центральная Зона Повышенного Внимания ЮВ борта	январь	1
7	3866-134	21.9041658561273	0.029441083139956	07 Центральная Зона Повышенного Внимания ЮВ борта	январь	1
8	3866-135	22.7088578520721	3.05226584033227E-02	07 Центральная Зона Повышенного Внимания ЮВ борта	январь	1
9	3874-11	14.4147675875969	1.93746876177378E-02	07 Центральная Зона Повышенного Внимания ЮВ борта	январь	1
10	3874-12	16.4744278443637	2.21430481779083E-02	07 Центральная Зона Повышенного Внимания ЮВ борта	январь	1

Рис.1. Фрагмент таблицы **итог\_2010**.

Таблица содержит 5502 записи, характеризующие сдвигения наблюдаемых реперных точек. Поля записей видны из таблицы. Единицей измерения смещения (за месяц) является миллиметр, а скорости (средней за месяц) миллиметр/час. С помощью запросов можно вывести информацию о тех реперных точках, скорость смещения

которых не меньше предела, задаваемого пользователем. Такой подход хорошо согласуется с нормативными документами [1], предписывающими усилить наблюдение за активными оползнями со скоростями смещения, превышающими определенный предел. Таким образом, можно исключить из анализа точки с незначительными сдвигами.

На рис.2 и рис.3 представлены графики изменения скорости во времени. При построении графиков учитывается введенный порог скорости. Точки, у которых скорость ниже пороговой, исключаются из рассмотрения.



Рис.2. Графическое представление изменения скорости смещения (мм/час) репера в точке наблюдения с номером 3962-78 (северо-западный борт)

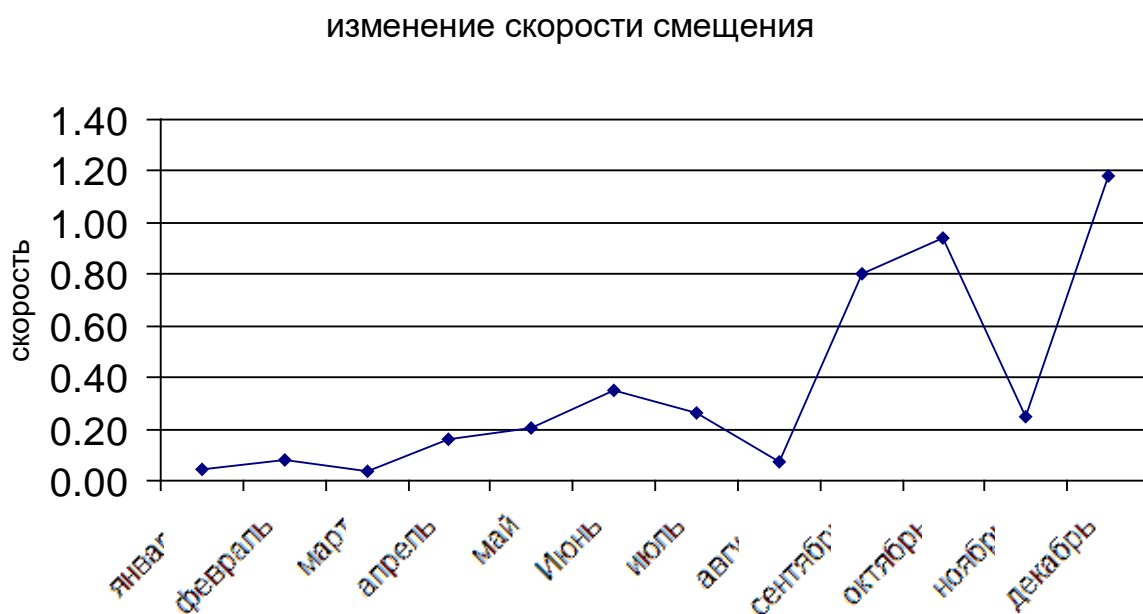


Рис.3. Графическое представление изменения скорости смещения (мм/час) репера в точке наблюдения с номером 3954-10 (северо-западный борт)

На основе имеющейся информации был выполнен прогноз смещения наблюдаемых реперов. Для получения прогноза использовались модели, основанные на применении экстраполяционных методов прогнозирования. В нашей работе применялись следующие экстраполяционные модели: линейная регрессионная модель прогноза, логарифмическая прогнозная модель, полиномиальная модель регрессии третьего порядка и степенная модель прогноза, а также метод скользящего среднего. После выбора экстраполяционной модели осуществлялся расчет ее параметров. При этом использовался метод наименьших квадратов. Оценка качества моделей осуществлялась с помощью величины достоверности аппроксимации  $R^2$ . Для модели скользящего среднего предполагается, что члены наблюдаемого временного ряда  $y_t$  есть реализации следующего случайного процесса:

$$y_t = b + \varepsilon_t,$$

где  $b$  – неизвестный постоянный параметр, который оценивается на основе представленной информации,  $\varepsilon_t$  шум (случайный компонент) в момент времени  $t$ . Принимается гипотеза, что случайная ошибка  $\varepsilon_t$  имеет нулевое математическое ожидание и постоянную дисперсию. Кроме того, считается, что данные для различных периодов времени не коррелированы. Метод с использованием скользящего среднего предполагает, что последние  $n$  наблюдений являются одинаково важными для оценки параметра  $b$ . Другими словами, если в текущий момент времени  $t$  последними  $n$  наблюдениями являются  $y_{t-n+1}, y_{t-n+2}, \dots, y_t$ , тогда оцениваемое значение для момента времени  $t+1$  вычисляется по формуле

$$y_{t+1}^* = \frac{y_{t-n+1} + y_{t-n+2} + \dots + y_t}{n}.$$

Четкого правила для выбора базы метода  $n$  не существует. В нашем случае база  $n$  принимается равной пяти. Ниже на рисунках приведены результаты экстраполяции для одной критической точки с идентификационным номером 3938-88. Точка расположена на северо-западном борте карьера и ее скорость смещения не ниже 0,04 мм/ч.



Рис.4. Для прогноза используется линейная функция. Величина достоверности аппроксимации  $R^2$  мала и равна 0,0141.



Рис.5. Для прогноза используется логарифмическая функция. Величина достоверности аппроксимации  $R^2$  мала и равна 0,0309.



Рис.6. Для прогноза используется полином третьей степени. Величина достоверности аппроксимации  $R^2$  мала и равна 0,0385.



Рис.7. Для прогноза используется степенная функция. Величина достоверности аппроксимации  $R^2$  мала и равна 0,0357.

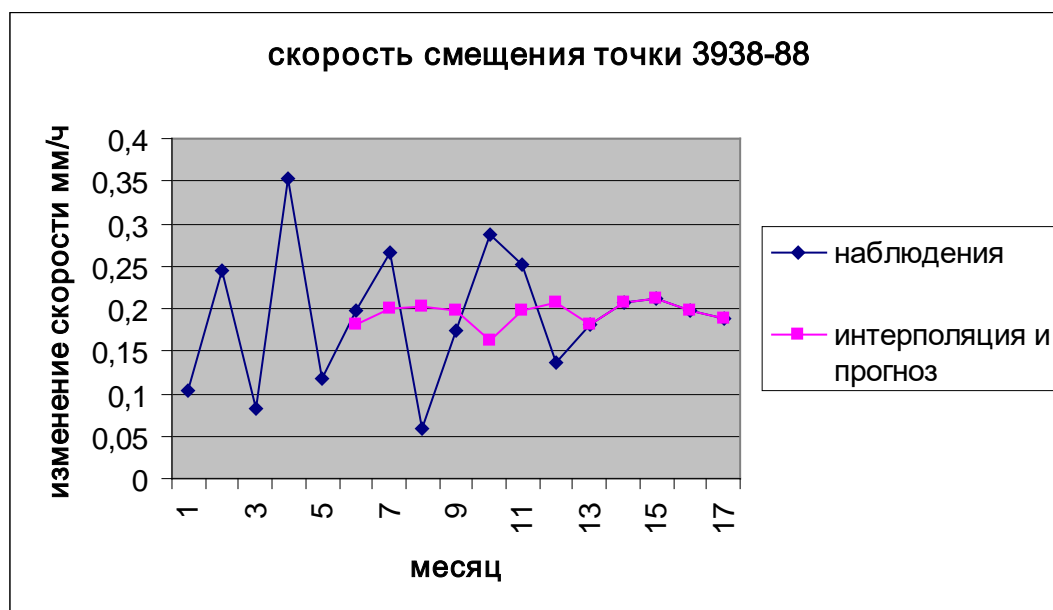


Рис.8. Для прогноза используется метод скользящего среднего с базой  $n=5$ .

Анализ полученных результатов, как приведенных в докладе так и не приведенных, позволяет сделать вывод, что лучшими из использованных прогнозных моделей являются степенная функция и скользящее среднее. Результаты прогноза в этих случаях составляют величину скорости смещения около 0,2 мм/час на пятый месяц после окончания периода наблюдений.

Темой дальнейших исследований является определение наиболее опасных участков с целью предсказания возможного зарождения и развития оползня. Проведение такого анализа будет базироваться на том факте [2], что скольжение грунта в процессе зарождения и развития оползня происходит из-за локальных разделений и разрушений блоков массива. Скольжение развивается, только если разделенные блоки приспособят



их взаимное движение, изменение скорости и направления скольжения и сгруппируются в кластеры блоков. Эти кластеры формируются иерархически, что требует их воссоединения и разделения в процессе скольжения. Границы этих кластеров могут создаваться за счет дезинтеграции блоков массива, которые находятся в кластерной мозаике. В [3] было показано, что приращения необратимых сдвижений массива горных пород являются гораздо более информативными, чем суммарные сдвижения. Это обусловлено тем, что положительный или отрицательный знак либо поворот вектора сдвижений вправо или влево могут вычитаться друг от друга и таким образом, данные вектора исчезнут, что повлечет за собой существенную потерю информации. Для такого анализа будут выбраны наиболее критичные точки, т.е. точки с наибольшими скоростями смещения. Назовем их базовыми. Для этих точек будут определены близлежащие реперные точки. По всем таким реперным точкам для каждого месяца за период наблюдения будет определена разницы в скоростях смещения между базовыми точками и их окружением. На основе этих исследований будет сделан вывод о возможных локальных разделениях и разрушениях, приводящих к формированию дезинтегрированного блока, смещающегося со скоростью большей чем соседние, и потому потенциально более опасному с точки зрения образования оползня.

### **Литература**

1. Министерство угольной промышленности СССР. Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела ВНИМИ. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Утверждена Госгортехнадзором СССР 21 июля 1970 г.

2. И.В.Назименко. Исследование особенностей образования и развития оползня // Проблемы гірського тиску. Випуск 16. Під заг.ред. О.А. Мінаєва.-Донецьк, ДонНТУ, 2008. – 260 с.

3. Бокий Б.В., Александров С.Н., Назимко И.В. Кластерный механизм динамики сдвижения подрабатываемого движущейся лавой массива горных пород // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2007». – Д: Національний гірничий університет, 2007. – С. 55-59.

## Влияние формирования внутреннего отвала на устойчивость борта глубокого карьера

К.К. Тулебаев, Н.К. Абдибеков, Н. А. Кенжегалиев  
Институт Горного Дела им. Д.А.Кунаева

Доля открытого способа в разработке мировых ресурсов твердых полезных ископаемых составляет 75 %. По мере первоочередной выработки поверхностных месторождений, как наиболее доступных и высококорентабельных, увеличивается удельный вес глубинных месторождений с высотой рабочей зоны более 100 м.

Карьерные поля и внешние отвалы глубинных месторождений своими горными отводами занимают и загрязняют значительные площади земель и увеличивают транспортные расходы при перемещении минеральных грузов по ним. Следовательно, в свете вышесказанного возрастает актуальность внутреннего отвалообразования.

Однако, использование выработанного пространства карьера под внутренние отвалы не превышает, в частности на угольных разрезах РФ 30 - 35%.

Причем, при создании технологических схем разработки месторождений с внутренним отвалообразованием вопрос геомеханической безопасности прибортовых и насыпных породных массивов встает более остро.

В данной работе исследуется влияние формирования первоначального внутреннего отвала на устойчивость прибортового массива пород глубокого карьера по мере пригрузки борта отвалом. Рассмотрим месторождение с углубочно-сплошной системой разработки. Генеральный угол нерабочего борта – более  $30^{\circ}$ , следовательно, развитие отвала на углубочном этапе от борта по высоте «сверху вниз» и в плане неосуществимо по горно-техническим и геомеханическим причинам. Поскольку результирующий угол рабочего откоса отвала составляет  $29^{\circ}$ , а генеральный угол нерабочего борта равен  $44^{\circ}$ , то, следовательно:

- во-первых, борт по условию устойчивости слишком крутой для применения схемы отстройки отвала от борта «сверху вниз» в строительный период карьера, притом, что геомеханически рациональный угол борта для такой схемы внутреннего отвалообразования – до  $30^{\circ}$ ;

- и во-вторых, по горно-техническим условиям для такой схемы складирования вскрышных отходов на поверхность борта результирующий угол рабочего откоса отвала должен быть больше генерального угла нерабочего борта карьера, что тоже не совпадает.

В связи с этим начало строительства отвала возможно на сплошном этапе, то есть, когда отвал возводится от поставленного на предельный контур дна карьера, иначе говоря, от дна карьерного поля, в порядке развития по высоте «снизу вверх» и в плане, при этом отвал опирается своим нижним основанием на дно карьера, а своей боковой стороной – на борт карьера.

Схема строительства высокого многоярусного внутреннего отвала со стыковкой по всей высоте борта следующая. Отвал отстраивается от дна карьерного поля и по мере наращивания по высоте и в плане пригружает борт по всей его высоте «снизу вверх». По достижении полной высоты отвал развивается только в плане.

Ввиду трудоемкости расчетов по методике устойчивости откосов борта и отвала задача решается с применением программно-машинных средств.

Решение задачи производилось по методу бокового давления [1].

Все расчеты устойчивости откосов бортов карьера и отвалов производились с помощью компьютерной программы УСТО «Расчет устойчивости откосов» (версия 3.0; автор методики: Г.Ф. Рожковский, автор программы: М.А. Майстровский). Алгоритм

программы основан на применении методики расчета коэффициента запаса устойчивости (КЗУ) отсека обрушения, ограниченного снизу кругло-цилиндрической поверхностью (кривая возможного обрушения). Результаты расчета выводятся программой в табличной и графической форме.

Изменчивость геомеханических показателей исследуется в динамике по ходу развития внутреннего отвала на полную проектную высоту и соответственно по мере пригрузки борта.

Исходные условия следующие. Высота внутреннего отвала принята равной высоте борта карьера. Расчет ведется программой в заданном режиме для целиком сухих пород, слагающих прибортовой и отвальной массивы. Такой режим выбран с целью оценки степени влияния свойств пород в сухом состоянии на устойчивость борта и отвала. Борт и дно карьерного поля сложены мягкими и полускальными горными породами. Физико-технические свойства грунтов к программно-машинному расчету представлены в таблице 1. Дно и придонной участок борта ослаблены слоем 1 мягких пород. Такой неблагоприятный в геомеханическом отношении случай возможен, например, когда контур карьера подрезает толщу пород, затронутых и преобразованных более ранними подземными разработками.

Таблица 1 - Физико-технические свойства пород (исходные данные).

Номера слоев пород в нисходящем порядке залегания	Прочность породы на одноосное сжатие	Объемный вес сухого грунта, т/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения сухого грунта, град (tg φ)	Сцепление сухого грунта, т/м <sup>2</sup>	Коэффициент Пуассона, μ L = μ (1 - μ)	Коэффициент степени консолидации (сухой грунт)
1	2	3	4	5	6	7
1	σ <sub>сж</sub> = 420 кг/см <sup>2</sup>	2,2	18 (0,364)	57	0,35 (0,23)	1
2	σ <sub>сж</sub> = 1000 кг/см <sup>2</sup>	2,68	30 (0,577)	200	0,26 (0,19)	1
3	σ <sub>сж</sub> = 500 кг/см <sup>2</sup>	2,55	25 (0,466)	81	0,30 (0,21)	1
4	σ <sub>сж</sub> = 800 кг/см <sup>2</sup>	2,58	32 (0,625)	150	0,28 (0,2)	1
5	σ <sub>сж</sub> = 350 кг/см <sup>2</sup>	2,0	20 (0,325)	28	0,35 (0,23)	1

Конструктивные параметры постоянно нерабочего борта: высота борта - 300 м; высота нерабочего уступа - 30 м; количество нерабочих уступов 10; угол естественного откоса нерабочего уступа - 60° (не погашается, так как откос пригружается); ширина предохранительной (транспортной) бермы - 15 м, генеральный угол нерабочего борта – 44°.

Конструктивные параметры внутреннего отвала: высота первоначального отвала и высота отвала - 300 м; высота отвального рабочего яруса – 60 м; количество рабочих ярусов первоначального отвала и отвала – 5; угол естественного откоса отвального рабочего яруса 45°; ширина разгрузочной площадки отвального яруса – 60 м, результирующий угол рабочего откоса отвала – 29°.

Контуры борта и прибортового массива до нагружения отвалом, и соответствующие кривые обрушения с расчетными КЗУ обозначены на рисунке 1. Положение промежуточных контуров отвала в контакте с прибортовым массивом без привязки к календарным годам, а также положение дуг возможного обрушения с соответствующими КЗУ отражены на рисунках 2 – 7. На рисунке 6 показан контур внутреннего отвала, отстроенного на полную свою высоту. На рисунке 7 – контур внутреннего отвала на полную свою высоту, развиваемого только в плане.

На рисунки, автоматически отстраиваемые программно-машинным комплексом, в качестве пояснения нанесены обозначения с выносными линиями, не предусмотренные в оригинальных цветных графических формах.

Для удобства и наглядности анализа результатов расчета представим их в форме таблицы 2. В таблице нумерация отвальных ярусов проведена снизу вверх, что соответствует направлению их развития по высоте борта. Таким образом, первый ярус является нижним ярусом, а пятый ярус соответствует верхнему ярусу отвала. Нумерация слоев, слагающих прибортовой массив, осуществлена сверху вниз в порядке их вскрытия по мере углубки карьера.

Таблица 2 - Результаты расчета

Номер рисунка	Номера слоев прибортового массива	Номера ярусов внутреннего отвала	Номер дуги скольжения призмы возможного обрушения		Коэффициент запаса устойчивости		
			борт	отвал	борт	отвал	
1	2	3	4		5	6	
1	1 - 5	борт не пригружен, ярусы отсутствуют	26	-	1,444		
2	1 - 5	Насыпь одноярусная	62	14	2,932	1,385	
3	1 - 5	Насыпь двухярусная	2		3,061		
		1		10		1,385	
4	1 - 5	Насыпь трехярусная	16		3,058		
	2 - 5		14		3,867		
		1		10		1,387	
5	1 - 4	Насыпь четырехярусная	16		3,304		
		4				4	1,545
		2 - 4				5	1,891
6	1 - 4	Насыпь пятиярусная	16		2,396		
		1, 2				10	1,697
		3 - 5				5	1,96
7	1 - 4	Насыпь пятиярусная	15		3,22		
		1 - 5				16	1,715
		1 - 5				13	2,684
		1 - 5				15	3,22

Согласно рисунку 1 нерабочий борт в сухом состоянии до пригрузки отвальными насыпями имеет КЗУ не менее 1,444 (дуга обрушения 26), то есть в целом достаточно устойчив.

На рисунке 2 пригрузка нижнего участка сухого борта сухой одноярусной отвальной насыпью повышает его устойчивость, КЗУ равен 2,932 (дуга 62). Отсюда следует, что насыпь, повышая КЗУ борта, работает по принципу упорной призмы. При этом насыпь имеет КЗУ, равный 1,385, дуга 14, насыпь в сухом состоянии достаточно устойчива.

Пригрузка борта сухой двухъярусной насыпью ведет к дальнейшему повышению его КЗУ до 3,061, дуга 2 (рисунок 3). Минимальный КЗУ двухъярусной насыпи 1,385 (дуга 10) имеет место на ее нижнем ярусе, иначе говоря, величина КЗУ верхнего яруса этой насыпи более 1,385, а нижний ярус в сухом состоянии допустимо устойчив. С пригрузкой трехъярусной насыпью (рисунок 4) устойчивость борта в целом почти не изменяется (КЗУ= 3,058, дуга 16), а КЗУ участка борта, подрезающего слои 2 – 5 возрастает до 3,867 (дуга 14). Устойчивость трехъярусной насыпи практически такая же, как у двухъярусной, дуга 10 с минимальным КЗУ, равным 1,387, прослеживается на нижнем ярусе. На рисунке 5 видно, что минимальное значение устойчивости наблюдается на верхнем ярусе четырехъярусного первоначального отвала (дуга 4, КЗУ=1,545). Устойчивость трех ярусов в целом, расположенных над нижним ярусом четырехъярусной насыпи, определяется КЗУ со значением 1,891 (Дуга 5). А устойчивость участка борта, охватывающего слои 1 – 4, оценивается КЗУ со значением 3,304 (дуга 16). На рисунке 6 первоначальный отвал, сформированный на полную свою высоту, имеет в зоне нижнего и лежащего над ним яруса КЗУ, равный 1,697 (дуга 10). А следующие вышележащие ярусы показывают КЗУ с несколько большим значением 1,96 (дуга 5). Здесь же, участок пригруженного на полную свою высоту борта имеет КЗУ со значением 2,396 по дуге 16, проходящей по слоям 1 – 4. Как видно из предыдущего рисунка устойчивость полностью пригруженного борта существенно снижается на том же участке. Следовательно, поведение борта в геомеханическом отношении неоднозначно и требует детального исследования в динамике нагружения на всех этапах и стадиях горных работ. На рисунке 7, когда приращение контура отвала происходит только в плане, опять наблюдается существенное возрастание КЗУ участка борта в той же зоне слоев 1 – 4 до величины 3,22 по дуге 15. Устойчивость внутреннего отвала, развиваемого в плане, возрастает от профиля генерального рабочего откоса отвала, то есть его открытой стороны, в направлении тыльной стороны отвала, контактирующей с бортом (дуга 16, КЗУ=1,715; дуга 13, КЗУ=2,684; дуга 15, КЗУ=3,22).

Повышение геомеханической безопасности следует осуществлять мероприятиями по укреплению прибортового и отвального массивов, в основном, анкерованием и сооружением гидроупорных призм.

Таким образом, следует сделать вывод о том, что разработка технологических схем и обоснование оптимальных параметров освоения природных месторождений открытым способом должна осуществляться с обязательным учетом геомеханического фактора.

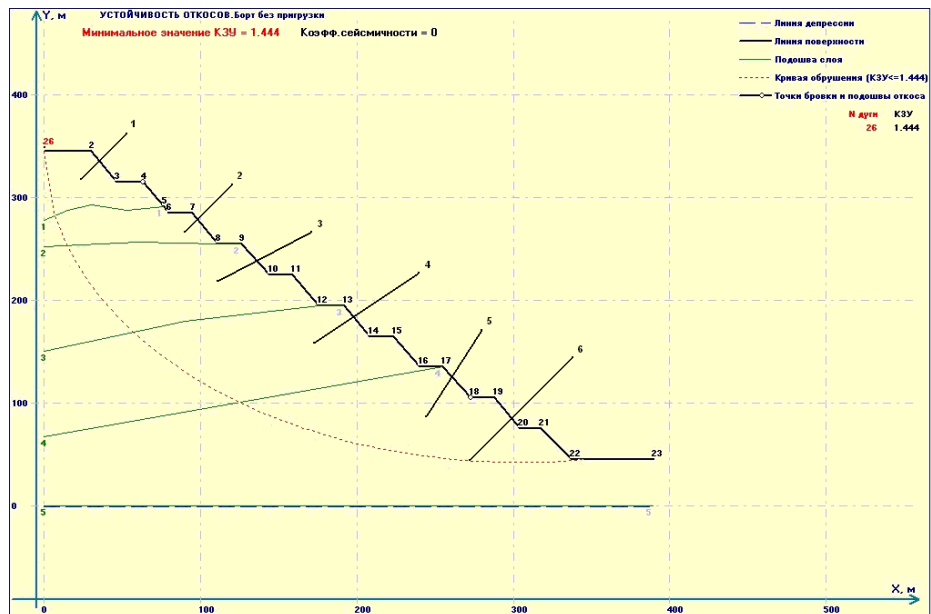


Рисунок 1. Разрез борта и дна карьера на предельном контуре без пригрузки внутрикарьерным отвалом:  
 1, 2, 3, 4, 5 – соответственно слои 1, 2, 3, 4, 5 пород прибортового массива; 6 – кривая обрушения (дуга № 26)

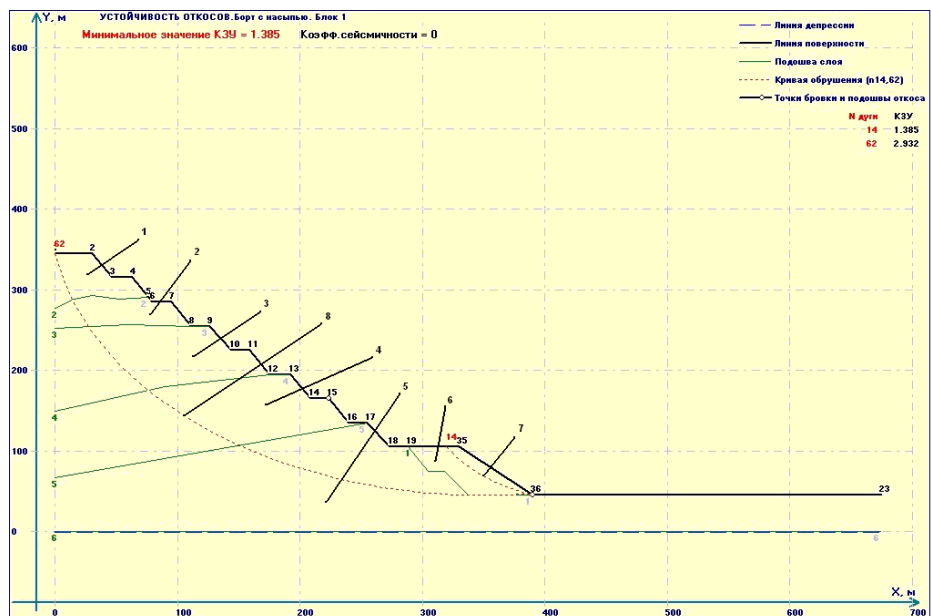


Рисунок 2. Разрез борта и дна карьера на предельном контуре с пригрузкой одноярусным первоначальным внутренним отвалом, наращиваемым по высоте и в плане:  
 1, 2, 3, 4, 5 – соответственно слои 1, 2, 3, 4, 5 пород прибортового массива; 6 - одноярусный насыпной массив; 7, 8 – кривые обрушения (соответственно дуги №№ 14, 62)

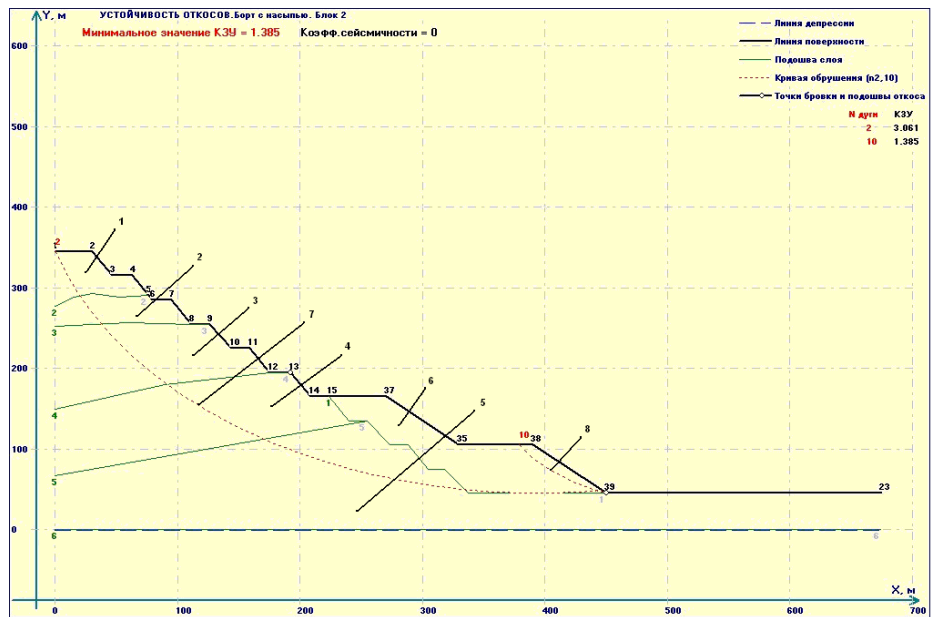


Рисунок 3. Разрез борта и дна карьера на предельном контуре с пригрузкой двухъярусным первоначальным внутренним отвалом, наращиваемым по высоте и в плане:  
 1, 2, 3, 4, 5 – соответственно слои 1, 2, 3, 4, 5 пород прибортового массива; 6 – двухъярусный насыпной массив; 7, 8 – кривые обрушения (соответственно дуги №№ 2, 10)

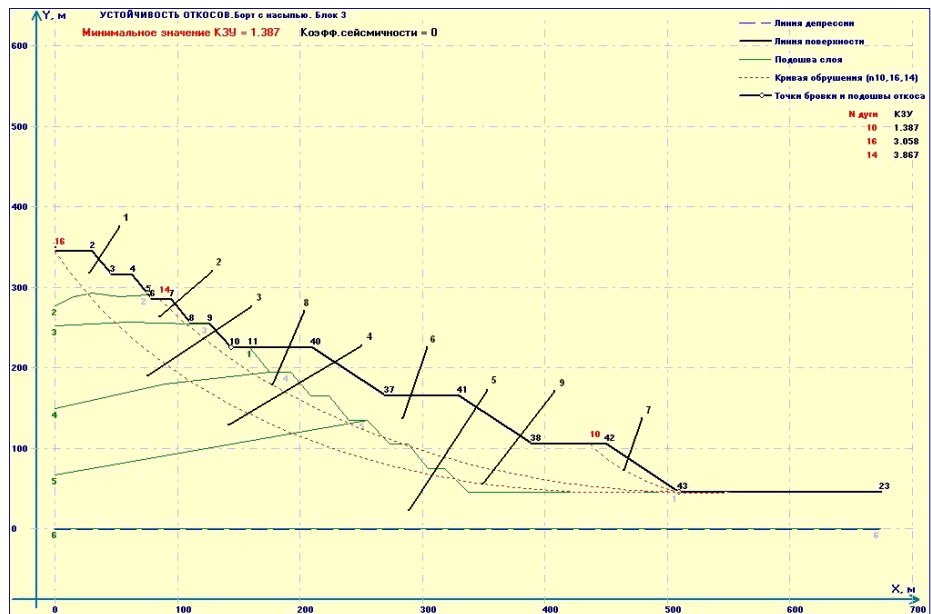


Рисунок 4. Разрез борта и дна карьера на предельном контуре с пригрузкой трехъярусным первоначальным внутренним отвалом, наращиваемым по высоте и в плане:  
 1, 2, 3, 4, 5 – соответственно слои 1, 2, 3, 4, 5 пород прибортового массива; 6 - трехъярусный насыпной массив; 7, 8, 9 – кривые обрушения (соответственно дуги №№ 10, 14, 16)



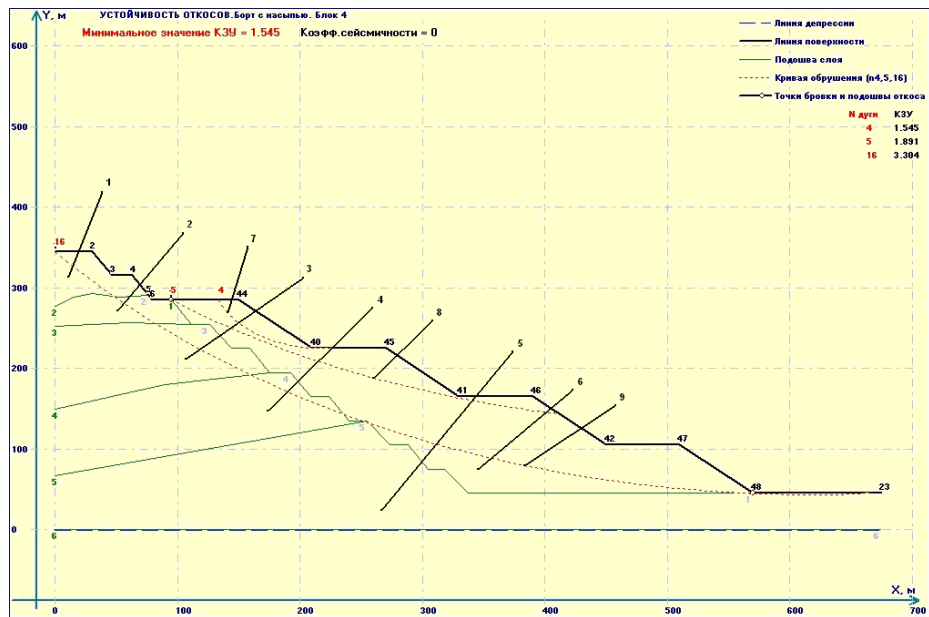


Рисунок 5. Разрез борта и дна карьера на предельном контуре с пригрузкой четырехъярусным первоначальным внутренним отвалом, наращиваемым по высоте и в плане:  
 1, 2, 3, 4, 5 – соответственно слои 1, 2, 3, 4, 5 пород прибортового массива; 6 - четырехъярусный насыпной массив; 7, 8, 9 – кривые обрушения (соответственно дуги №№ 4, 5, 16)

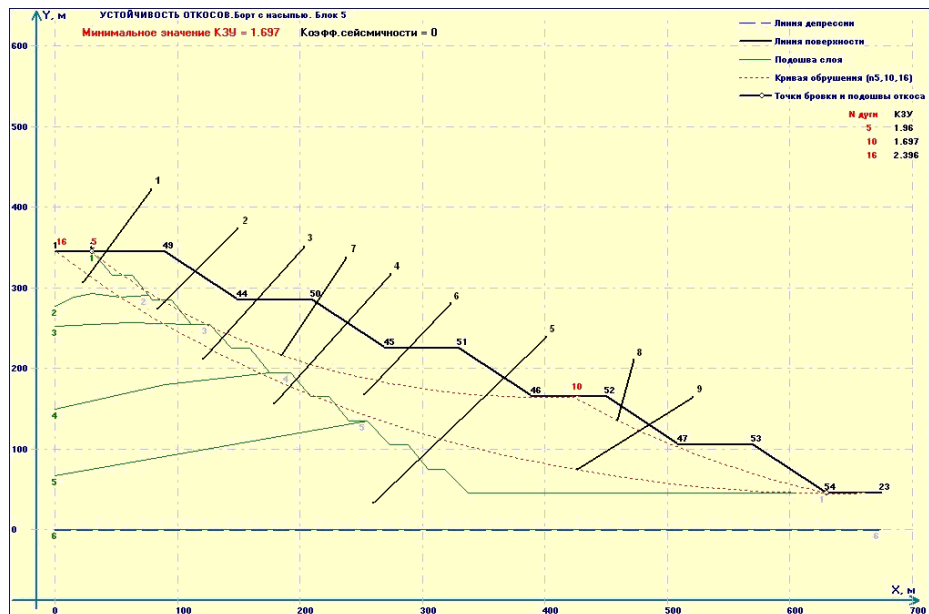


Рисунок 6. Разрез борта и дна карьера на предельном контуре с пригрузкой пятиярусным первоначальным внутренним отвалом, наращиваемым по высоте и в плане:  
 1, 2, 3, 4, 5 – соответственно слои 1, 2, 3, 4, 5 пород прибортового массива; 6 - пятиярусный насыпной массив; 7, 8, 9 – кривые обрушения (соответственно дуги №№ 5, 10, 16)

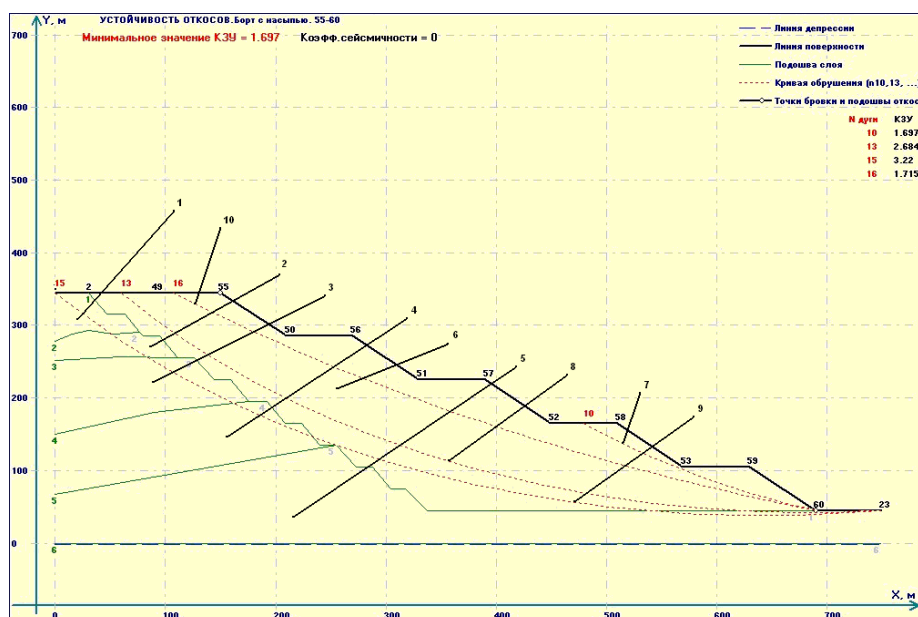


Рисунок 7. Разрез борта и дна карьера на предельном контуре с пригрузкой внутренним отвалом, наращиваемым в плане: 1, 2, 3, 4, 5 – соответственно слои 1, 2, 3, 4, 5 пород прибортового массива; 6 - пятиярусный насыпной массив; 7, 8, 9, 10 – кривые обрушения (соответственно дуги №№ 10, 13, 15, 16)

## Литература

1. Г.Ф.Рожковский. Способы расчета устойчивости откосов земляных плотин. УДК 622.7'17:622.69 ,РГАСНТИ 52.45.27

## Сведения об авторах:

1. Тулебаев Кайрат Карибозович, Институт Горного Дела им. Д.А. Кунаева, заведующий лаборатории Управления геомеханическими процессами отдела Геомеханики, 050046, г. Алматы, пр. Абая,191, тел.: 8(7272) 3769805, 8(7272) 3769801 вн. (423, 425), E-mail: [lab-ugp-igd@yandex.ru](mailto:lab-ugp-igd@yandex.ru)
2. Абдибеков Нурмахамбет Канапиевич, Институт Горного Дела им. Д.А. Кунаева, научный сотрудник лаборатории Управления геомеханическими процессами отдела Геомеханики, к.т.н., 050046, г. Алматы, пр. Абая,191, тел.: 8(7272) 3769805, 8(7272) 3769801 вн. (423, 425), E-mail: [lab-ugp-igd@yandex.ru](mailto:lab-ugp-igd@yandex.ru)
3. Кенжегалиев Надир Ахмедьярович, Институт Горного Дела им. Д.А. Кунаева, научный сотрудник лаборатории Управления геомеханическими процессами отдела Геомеханики, 050046, г. Алматы, пр. Абая,191, тел.: 8(7272) 3769805, 8(7272) 3769801 вн. (423, 425), E-mail: [lab-ugp-igd@yandex.ru](mailto:lab-ugp-igd@yandex.ru)

## Способы и средства формирования устойчивых бортов в глубоких карьерах

А. А. Коваленко ([a.kovalenko@istc.kg](mailto:a.kovalenko@istc.kg)), канд. техн. наук, главн. научн. сотр.,  
Институт Коммуникаций и Информационных Технологий  
Кыргызско-Российского Славянского университета

Темпы подготовки к эксплуатации новых месторождений, пригодных для рентабельной открытой разработки, не соответствуют возрастающему спросу мировой экономики на алмазы, цветные и редкоземельные металлы, другие полезные ископаемые.

Увеличение затрат на строительство новых карьеров и создание инфраструктуры, рост цен на сырье приводят к переоценке запасов на действующих предприятиях за счет вовлечения в разработку более бедных руд, или понижению карьеров, что ведет к смещению проектного положения границ выработанного пространства.

Известны действующие карьеры, глубина которых достигла 1000 и более метров, например, Bingham Canyon, США [1]. В будущем многие карьеры, в частности, Мурунтау в Республике Узбекистан [2], будут работать на такой же отметке. Из прогнозов следует, что в XXI веке открытая разработка месторождений на глубине, превышающей 1 км, станет обычной практикой.

Несмотря на разнообразие горногеологических условий, на вскрышных и добычных работах применяют систему развития выработанного пространства карьеров горизонтальными слоями.

Достоинства указанных технологии и устройств известны: высокие производительность и надежность, сравнительно низкая себестоимость добычи полезных ископаемых. Основные недостатки – значительные затраты средств на приобретение горнотранспортного оборудования и строительство карьеров, неприемлемые экологические последствия – выброс в атмосферу вредных для окружающей среды взрывных газов в результате детонации зарядов из смеси селитры и дизельного топлива [3], необратимое разрушение массива пород в бортах и за граничными контурами карьеров от сейсмического воздействия массовых взрывов. Серьезную опасность представляет также возможное падение камней с верхних горизонтов карьера на нижние, а в некоторых случаях – обрушения больших объемов породы из разрушенных бортов [4-5].

Переход на более безопасные и экологически чистые технологии и устройства при разработке глубоких месторождений в неблагоприятных условиях становится все более актуальной задачей [6-9].

Известны способы и средства придания откосам уступов и бортам карьеров заданных положения и качества обнаженных поверхностей [10-12]. Известно также, что ни один из способов не в состоянии полностью защитить массив пород в приконтурной зоне от многократно повторяющегося воздействия массовых взрывов и других причин, ослабляющих целик в приграничном слое и создающих условия для обрушения пород в выработанное пространство карьеров.

Защиту и обновление поверхности бортов, сложенных крепкими и скальными породами, чаще всего осуществляют щелеобразованием и одновременным взрыванием слоя предразрушенных пород сближенными зарядами в наклонных скважинах уменьшенного диаметра [10, с. 24, 28]. Отбитая взрывом порода размещается на берме безопасности в виде развала произвольной формы, причем часть породы может переместиться в выработанное пространство, что опасно для людей и оборудования, находящихся на нижних горизонтах.

Неуправляемая ситуация возникает в случае, когда состояние бортов требует проведения постоянных работ по обновлению обнажений с одновременным производством

плановых вскрышных и добычных работ. Существующие способы строительства и реконструкции бортов не в состоянии устранить такое противоречие.

### ***Реконструкция бортов буроклиновзрывными стругами***

С целью совмещения вскрышных и добычных работ с разрушением породы в приграничной зоне карьера разработаны технология и устройства для послойного отделения предразрушенной породы в наклонной плоскости высоких уступов.

Предлагаемая технология [13] горных работ включает: непрерывное послойное разрушение крепких пород и полезных ископаемых в приповерхностном слое откоса высоких уступов с полным исключением негабаритов непосредственно в забое, перемещение разрушенной породы к основанию откоса под действием собственного веса и перегрузку на ленточные конвейеры без экскаваторов.

В качестве средств для непрерывного отделения предразрушенной породы в бортах карьеров могут быть приняты автоматизированные устройства: струги клинобуровзрывные с использованием чередующихся газовых импульсов из воды и механические – дисковые или баровые.

Поверхностный слой породы ограниченной мощности отделяют от массива стругом в наклонной плоскости в направлении сверху вниз. Сравнительно мягкую породу разрушают одновременным бурением нескольких шпуров и без извлечения буровых штанг в полость шпуров синхронно вводят клинья под воздействием быстро чередующихся ударных нагрузок. В этом случае генераторы взрывов отключаются, и струг на время отделения мягких пород превращается в буроклиновой.

Схема модели устройства – буроклиновзрывного струга для непрерывного разрушения скальных пород в наклонной плоскости высоких уступов показана на рис. 1.

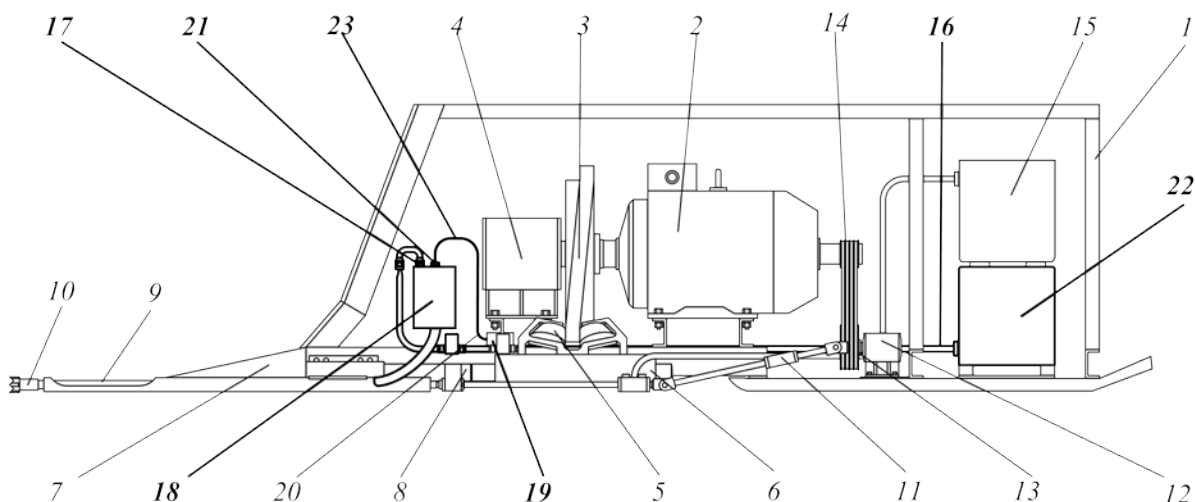
В соответствии с технологией высоту откосов в предельном положении борта желательно увеличивать до максимального значения, если такое изменение параметров карьера не противоречит горно-геологическим или иным условиям.

Угол наклона откоса должен быть не меньше, чем необходимо для перемещения отбитой породы по плоскости к нижней рабочей площадке или берме безопасности под действием собственного веса.

Особенность устройства для разрушения скальных пород непрерывными взрывами заключается в совмещении функций буровых станков, зарядных машин, экскаваторов, в отсутствии общепринятых средств взрывания – патронов-боевиков, взрывных сетей, капсулей-детонаторов, в создании напряжений в поверхностном слое породы.

Породоразрушающее устройство буроклиновзрывного струга выполнено в виде многомашинного агрегата, включает установленные в ряд буровые штанги длиной 350-400 мм с коронками диаметром 25-32 мм, сопряженные с клиньями и связанные каналами с генераторами газовых импульсов высокого давления, которые подают в полости шпуров с определенными интервалами.

Принцип работы генератора состоит в том, что в тепловую камеру, нагретую до температуры быстрого испарения, подают распыленные дозы воды, после создания необходимого давления водяного газа расходный клапан камеры открывают с большой скоростью. Поток газа высокой энергии поступает по каналам в полости шпуров, в результате чего происходит чередующееся разрушение породы в забое и отделение доли слоя в поверхности откоса [14].



*Рис. 1. Схема буроклиновзрывного струга – модель устройства для непрерывного разрушения скальных пород газовыми потоками из воды (вид сбоку):*

- |                     |                           |   |
|---------------------|---------------------------|---|
| 1. Рама             | 10. Коронка буровая       | 17. Канал подачи воды в камеру генератора |
| 2. Электродвигатель | 11. Вал карданный         | 18. Генератор газовых импульсов           |
| 3. Маховик          | 12. Опора карданного вала | 19. Дозатор зарядов из воды               |
| 4. Опора маховика   | 13. Шкив                  | 20. Кабель электрический                  |
| 5. Ролики           | 14. Ремни приводные       | 21. Датчик температуры                    |
| 6. Боек             | 15. Пылесборник           | 22. Емкость для воды                      |
| 7. Клин             | 16. Трубопровод для воды  | 23. Электрокабель подогревателей          |
| 8. Хвостовик клина  |                           |   |
| 9. Штанга буровая   |                           |   |

Действие газового потока, образованного макетом устройства и процесс разрушения образца крепкой породы взрывом заряда из воды, показаны на рис. 2-4.



*Рис. 2. Действующая модель генератора взрывов зарядов из воды*



*Рис. 3. Генератор взрывов до разрушения блока породы*



*Рис. 4. Генератор взрывов в процессе разрушения блока породы*

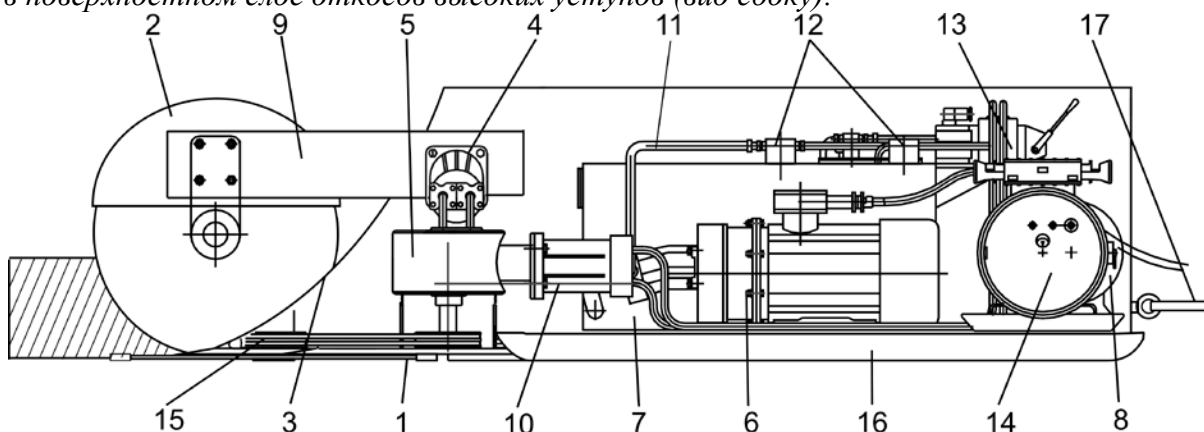
Объем внутренней полости генератора составляет 750 см<sup>3</sup>, число нагревателей – 6; суммарная мощность - 7,5 кВт, объем заряда из воды – 35 см<sup>3</sup>, температура в полости генератора – 200-220° С, время преобразования заряда – 30 сек, диаметр отверстия расходного клапана для выброса взрывного газа – 20 мм. В торце канала на выходе из сопла генератора помещались металлические пластины толщиной от 0,05 до 0,2 мм.

Разработан новый, усовершенствованный макета генератора чередующихся взрывов зарядов из воды.

### **Отделение предварительно разрушенных пород в бортах карьеров дисковыми стругами**

Для непрерывной разработки мягких, средней крепости пород и угля предлагаются дисковые струги с пилами, режущие кромки которых армированы твердосплавным покрытием с применением нанотехнологий [15-16]. Схема дискового струга с гидрприводом исполнительных механизмов показана на рис. 5-6. Диски установлены в нижней плоскости отвала струга параллельно поверхности откоса; в постоянно образуемую в основании слоя отделяемой породы щель синхронно вводят кромку отвала клиновидной формы, интенсивность проникновения которого в случае необходимости может быть усилена вибрацией или ударными нагрузками. В результате распорных усилий происходит отрыв подрезанного слоя породы от массива и его разрушение.

*Рис. 5. Схема дискового струга для послойного разрушения мягких горных пород в поверхностном слое откосов высоких уступов (вид сбоку):*



1 - горизонтальный диск, 2 - подрезной диск, 3 - отвал, 4 - гидромотор привода подрезного диска, 5 - привод горизонтального диска, 6 - масляный насос, 7 - маслобак, 8 - барабан с электрическим кабелем, 9 - кронштейн подрезного диска, 10 - редуктор главного привода, 11 - трубопроводы, 12 - фильтры, 13 - дистанционный пульт управления, 14 - пускатель, 15 - ременная передача, 16 - платформа струга на лыжах, 17 - тяговый трос.

Вертикальные отрезные диски в торцах разрушаемых долей породы предназначены для отделения слоя от целика [17].

Длина струга – 2600 мм, ширина – 1500 мм, высота – 600 мм, мощность привода – 45 кВт, диаметр дисков – 800 мм, мощность отделяемого слоя породы – 250-300 мм.

После отработки полосы породы на откосе струг поднимают вверх, размещают на несущей платформе и передвигают на шаг в направлении фронта работ. Далее операции повторяются.

В донной части глубоких карьеров дисковые струги могут оказаться эффективными устройствами для производства вскрышных и добычных работ, так как в ограниченном пространстве практически невозможно производительно и безопасно осуществлять такие работы традиционными способами и средствами: массовые взрывы штатных ВВ в глубоких скважинах большого диаметра, погрузку разрушенной породы экскаваторами – механическими лопатами и транспортирование большегрузными автосамосвалами с дизельными двигателями.

Применение обсуждаемых способа и устройств для непрерывной реконструкции бортов в глубоких карьерах позволит:

1) безопасно, с максимальным соблюдением самых жестких экологических требований реконструировать старые и строить новые откосы в обнажениях глубоких карьеров;

2) совместить производство текущих вскрышных и добычных работ со строительством новых или ремонтом старых бортов;

3) повысить качество бортов, то есть улучшить состояние поверхности и уменьшить напряженное состояние в приконтурном массиве пород за счет максимально щадящего послойного отделения предразрушенной части целика за контуром карьера;

4) увеличить высоту бортов между горизонтами до максимального значения благодаря способности струга перемещаться по плоскости откосов, высота которых ограничивается параметрами карьера и конструкцией подъемных лебедок - длиной тросов, удерживающих струг на поверхности откосов;

5) расширить нижние площадки новых, высоких бортов сложением размеров расположенных выше бERM безопасности и увеличить угол наклона откосов в результате высокого качества новых поверхностей и уменьшения концентраций напряжений в бортах за счет исключения промежуточных горизонтальных площадок;

6) создать предпосылки для понижения дна глубоких карьеров без дополнительных затрат и продлить срок рентабельной разработки глубоких месторождений открытым способом.

#### Список литературы

1. Bingham Canyon, United States of America. - <http://www.mining-technology.com/projects/ingham/>

2. К. С. Санакулов, П. А. Шеметов. Карьер «Мурунтау» на пути к рекордной глубине: основные этапы развития и модернизации горных работ. // Горный журнал, № 11, Москва, 2009, с. 98–102.

3. Сытенков В. Н. К проблеме нормализации санитарно-гигиенических условий труда в глубоких карьерах: осознанная реальность и пути решения // Горный журнал, 2009, № 11, с. 30-33.

4. Коркино. Самый глубокий в мире угольный разрез // <http://www.webpark.ru/comments.php?id=29348>

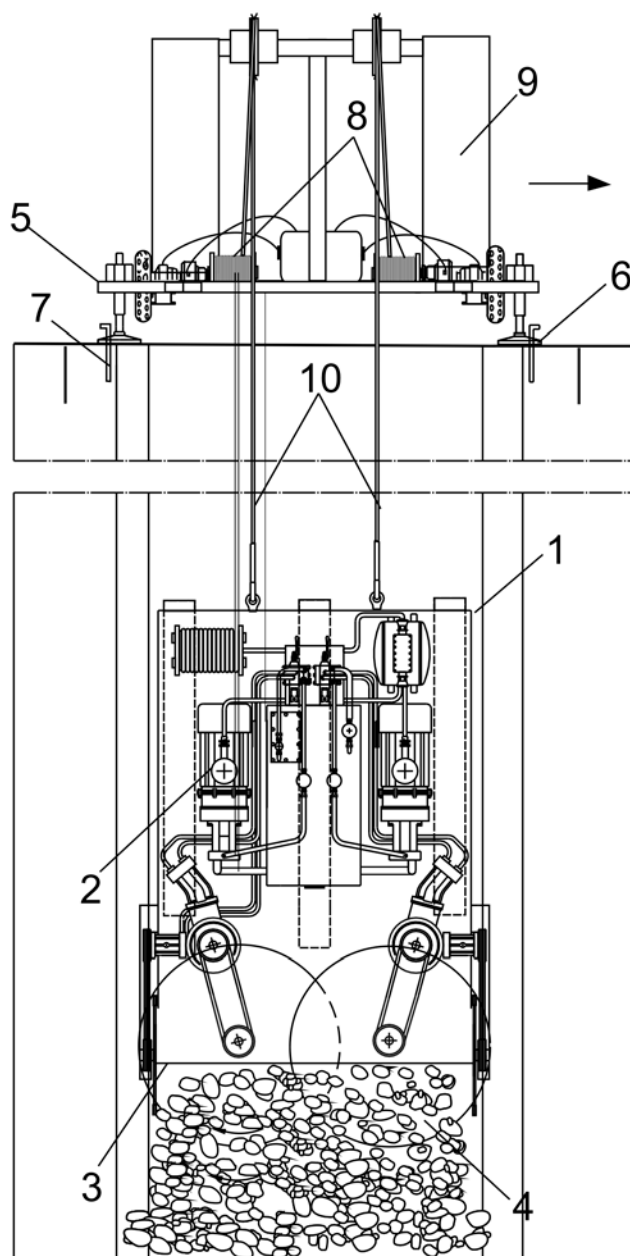


Рис. 6. Технологическая схема отделения предразрушенных слоев породы в бортах карьера дисковым стругом:

- 1 – струг дисковый;
- 2 – гидравлический привод дисковых пил;
- 3 – режущая кромка отвала;
- 4 – дисковые пилы;
- 5 – самоходная несущая платформа струга;
- 6 – опорные домкраты;
- 7 – анкеры;
- 8 – лебедки тяговых тросов;
- 9 – подвижная платформа;
- 10 – тросы тяговые.



5. 44th US Rock Mechanics Symposium - <http://tslope.com/44th-us-rock-mechanics-symposium>
6. Wilke , F. L. , Spachtholz , F. X. 1993. Operational Conditions for Continuous Mining Systems in Hard Rock Open Pit Mines. – Brite EuRam II project BE 6044 of the European Commission: [www.tu-berlin.de](http://www.tu-berlin.de)
7. Mining Industry of the Future. Exploration and Mining Technology Roadmap // Sept. 2002 – <http://www1.eere.energy.gov/industry/mining/pdfs/emroadmap.pdf>
8. Greg Rowan. Advanced Mining Technologies // Доклад на конференции “2007 Step Change to a Safer Future”, 2007 г.
9. Catherine Madden. Mine of the Future // [http://www.sciencewa.net.au/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2031:mine-of-the-future](http://www.sciencewa.net.au/index.php?option=com_content&view=article&id=2031:mine-of-the-future), 2008.
10. Фокин В. А. Проектирование и производство буровзрывных работ при постановке уступов в конечное положение на предельном контуре глубоких карьеров. // Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2003 – 231 с.
11. Fernberg Hans. Steeper slopes – more profit // Mining Magazine. October 2003. – p. 35
12. Способ формирования нерабочего борта карьера в глинистых породах. Пат. РФ № 2208163, Е 21С 41/26, опубл. в 2003 г.
13. Патент ЕАПВ № 013438 «Способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых и призабойный комплекс устройств для его осуществления», опубл. 30.04.10 // Коваленко А. А., Нифадьев В. И. (КРСУ).
14. Пат. 885 КР. Способ разрушения горных пород газовыми импульсами высокого давления и генератор газовых импульсов высокого давления/ Коваленко А.А. Опубл. 31.07.06, Бюл. № 7.
15. Износостойкие покрытия как движитель инновационного процесса в технологии инструментальных материалов и современной металлообработке // <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2010/iznosostoikie-pokrytiya-kak-dvizhitel-innovationnogo-protsesssa-v-tekhnologii-instrume>
16. Оборудование Platit нанесения покрытий на промышленный режущий инструмент // <http://metal.nestormedia.com/index.pl?act=product&id=222&print=1>
17. Заявка № 20110080.1 от 18.07. 2011 на изобретение «Способ формирования устойчивых откосов в бортах глубоких карьеров и устройство для его осуществления», авторы: Нифадьев В. И., Коваленко А. А., Усманов С. Ф.

## **Моделирование геоэкологических последствий горного предприятия**

Е.Г. Карибаев – зам.пред. Комитета промышленности МИИТ РК, к.т.н.

Г.М.Кыргызбаева – доцент КазНТУ, к.т.н.

А.Ш. Бек - профессор КазНТУ , д.т.н.

*In clause the system of ecological monitoring which includes a information-measuring network, a network of data transmission, the center of monitoring and a network of the user terminals is considered.*

Освоение недр является процессом техногенного воздействия на породный массив, который ведет к нарушению его природного равновесия. Важное значение при контроле за состоянием нарушенного массива имеет мониторинг, который должен включать в себя комплексную систему сбора, накопления, обработки и анализа информации за состоянием массива.

В настоящее время на абсолютно большинстве рудных месторождений при техногенном воздействии (проходке горных выработок, водопонижающие мероприятия) на природные воды и породы массивов, что приводит к возникновению техногенных процессов и изменяет экологические условия эксплуатации горных предприятий. Оценка геоэкологических последствий на объектах окружающей среды будущих, действующих и завершенных производств и обработка данных мониторинговых наблюдений является основной задачей информационного обеспечения.

Система экологического мониторинга включает информационно-измерительную сеть, сеть передачи данных, центр мониторинга и сеть пользовательских терминалов. Система включает в себя обширную картографическую базу данных о территории и позволяет в реальном времени на основе методов математического моделирования путем решения прямых и обратных задач переноса составлять карты текущих и прогнозируемых загрязнений контролируемой территории.

На программное обеспечение (ПО) станции автоматического мониторинга возложены решаемые в реальном времени задачи как чисто технические, так и информационного характера. Для создания ПО требовалось применение многозадачной операционной системы и использование минимальных требований к вычислительным ресурсам. Одной из составляющих системы инженерно-экологического мониторинга является автоматизированная информационная система предупреждения, ликвидации чрезвычайных ситуаций и устранения их последствий. Основное назначение – обеспечение информацией органов управления с целью предупреждения экологически опасных ситуаций на предприятиях.

Проведены исследования по созданию автоматизированной системы инженерно-экологического мониторинга выброса вредных веществ в атмосферу; созданию математической модели оптимального размещения сети экологического мониторинга атмосферного воздуха на территории предприятия, разработке методики сбора и обработки экологических данных, а также изложены методы применения географических информационных систем при создании автоматизированной системы экологического мониторинга АСИЭМ предназначена для ведения автоматизированного непрерывного контроля экологической обстановки на объекте и для составления базы данных (БД) с последующей поддержкой принятых управленческих решений.

На рисунке 1 изображена принципиальная схема автоматизированной системы инженерно-экологического мониторинга (АСИЭМ) действующего горного предприятия.

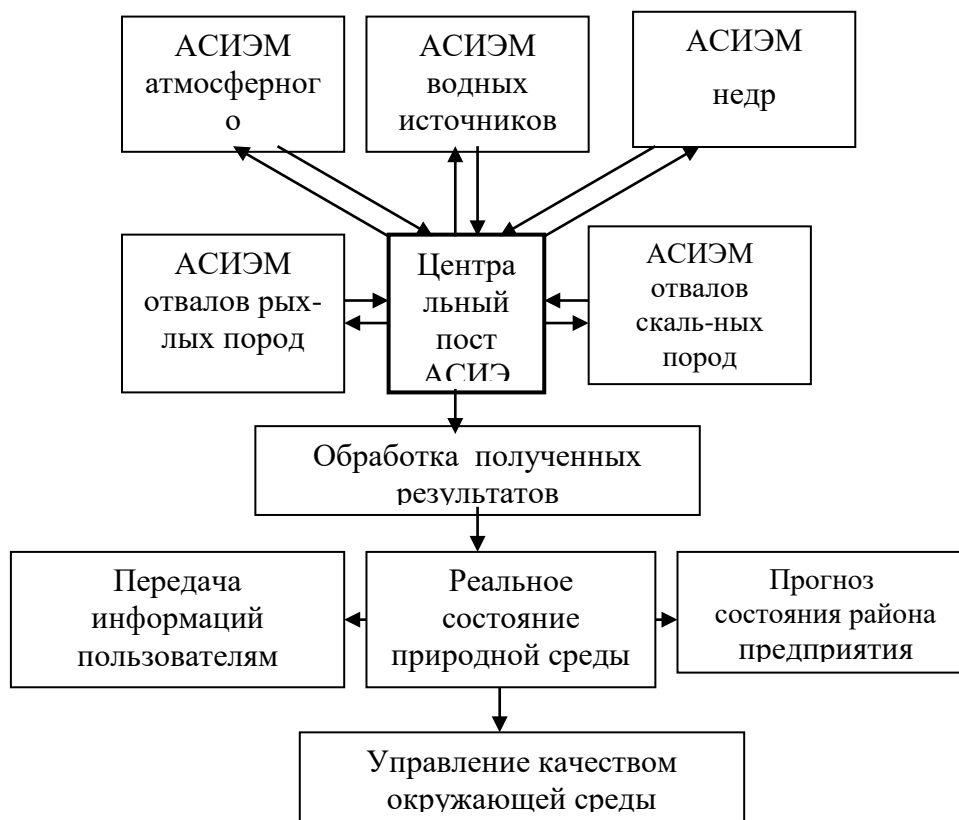


Рисунок 1 -Принципиальная схема АСИЭМ горного предприятия

Система имеет иерархическую структуру и строится по радиально-узловому принципу. Разработанная система обеспечивает: сбор данных от постов контроля и их обработку в реальном масштабе времени; оперативное представление экологической информации на экране монитора; подачу сигнализации при обнаружении постами контроля превышения ПДК вредных веществ; подготовку и выдачу требуемых документов; составление базы данных за весь период контроля.

В зависимости от цели и задачи мониторинга атмосферного воздуха выбирается критерий (условия или требования) для размещения станций. Выбран критерий размещения АСИЭМ, учитывающий возможность сбора проб при превышении нормы ПДК. В этом случае для построения математической модели оптимального размещения сети АСИЭМ целесообразно применить алгоритм Нолля. Тогда модель, созданная на основе алгоритма Нолля, реализуется следующим образом:

*Подготовка входного материала.* С помощью стандартных программ рассчитываются рассеивания вредных веществ на территории рудника. Результаты расчета наносятся на карту-схему территории карьера – ситуационную карту рассеивания вредных выбросов.

*Декомпозиция* изучаемой территории на отдельные участки в виде сетки с количеством ячеек.

*Распределение на кластеры,* как совокупность всех точек узлов сетки, соответствующих концентраций, превышающих пороговое значение, т.е.:

$$Q_1 = \frac{M}{C_{m,t}} \text{ при } m,t \geq C_{\text{ПДК}} \quad (1)$$

*Присвоение информативного содержания разным точкам сетки.* Это можно осуществить в следующем порядке:

-каждый кластер характеризуется зоной концентрации вредных веществ:

$$G_t = \sum_{m \in Q_t} (C_{m,t}); \quad (2)$$

-величина концентрации, полученная каждым узлом:

$$S_m = \sum_{t, m \in Q_t} (G_t); \quad (3)$$

- полная величина концентрации:

$$G = \sum_t (G_t); \quad (4)$$

Для определения совокупности точек, в которой необходимо разместить станции наблюдения, должна быть определена эффективная величина – нормализованное значение концентрации, получаемое станцией:

$$E_m = \frac{S_m}{G} \quad (5)$$

Для определения количество постов концентрации вредных веществ и расстояния между ними использовался метод оптимальной интерполяции.

Структура экологической информации и принцип ее регистрации описаны математическими формулами, которые дают возможность ранжировать экологические данные по значимости и при необходимости выделить ту или иную информацию для пользователя в виде отчетной документации.

Создание эффективной системы инженерно--экологического мониторинга обусловлено необходимостью получения надежной и своевременной информации о состоянии природной среды, изменениях, происходящих в ней под воздействием горного производства, и последующего использования этих данных для разработки комплекса мероприятий по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов в горнопромышленных регионах. Для автоматического расчета и построения экологических карт разработана математическая модель и ее алгоритмы (рисунок 2).

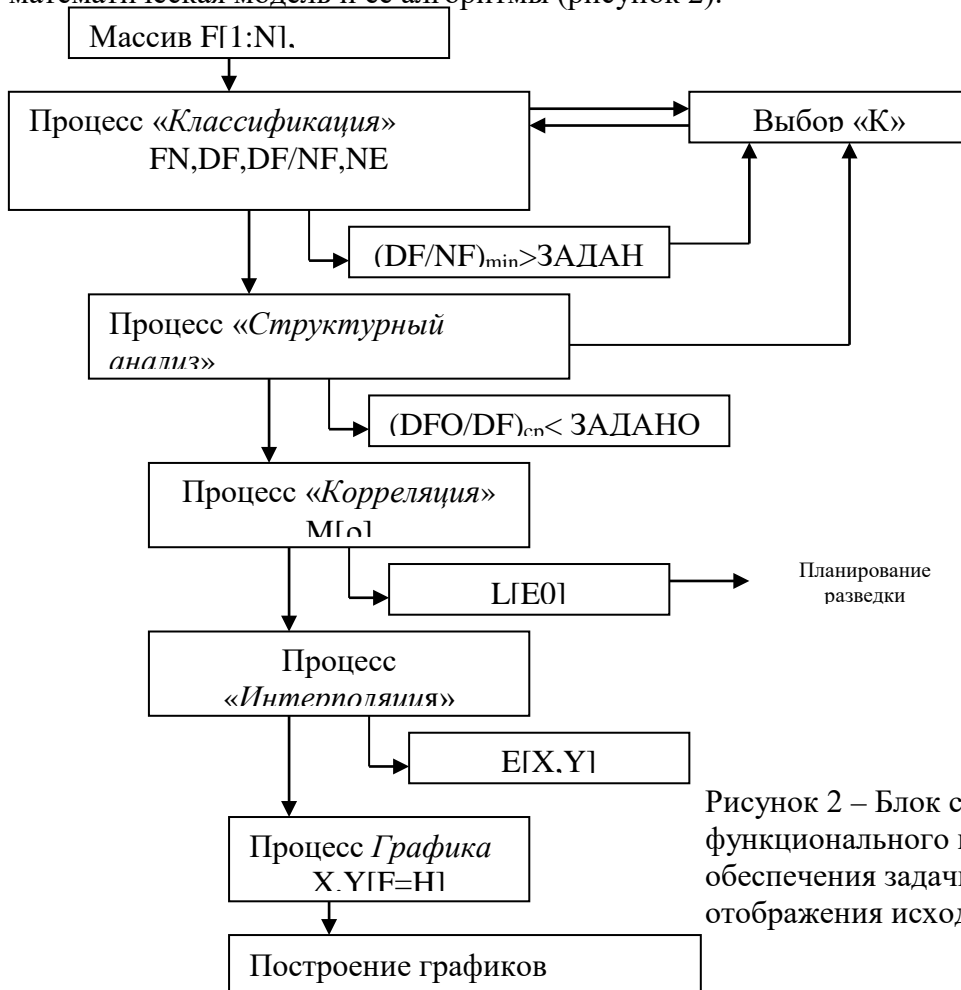
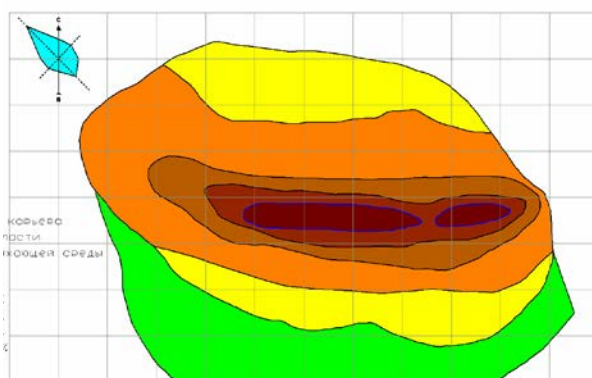


Рисунок 2 – Блок схема реализации функционального математического обеспечения задачи обработки и отображения исходной информации

Модель состоит из пяти процессов и реализуется в следующей последовательности: выбор и последующий ввод исходной экологической информации, т.е. разбиение исходной совокупности экологических данных на количество классов (процесс «классификация»); расчет «средних» значений, отклонений от «среднего» и дисперсии, в каждом из выделенных классов; структурный анализ в каждом из классов (процесс «структурный анализ»); построение нормированной корреляционной функции картируемого поля (процесс «корреляция»); поиск для каждого узла влияющих измерений в области корреляции; восстановление значений картируемого поля в узлах регулярной сетки по точным формулам оптимальной интерполяции (процесс «интерполяция»); расчет координат точек изолинии заданного уровня (процесс «графиков»); организация рассчитанных значений координат в информационную последовательность; построение экологических карт (графический вывод).

Результаты создания экологической карты карьера «Центральный» месторождения Акжал изображены на рисунке 3,а и карьера Жерек – на рисунке 3, б.

а



б

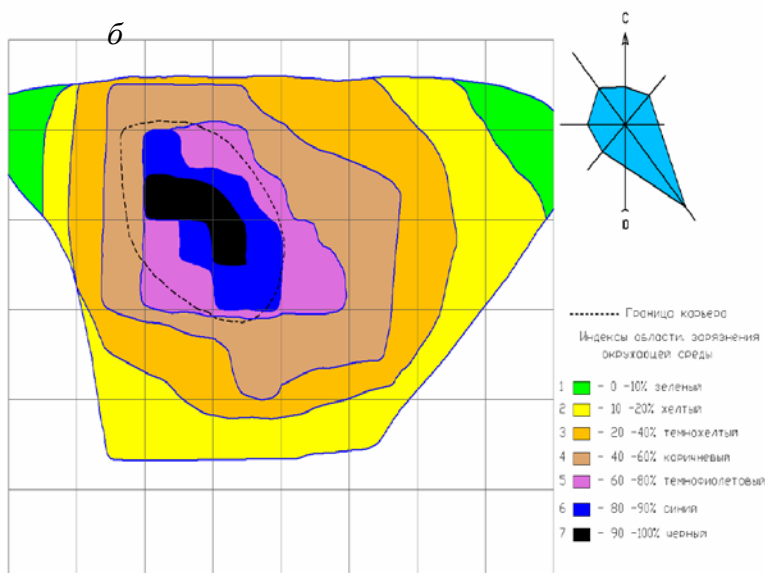


Рисунок 3 – Карта загрязнения территории горных предприятий  
а) месторождение Акжал (Центральный карьер);  
б) месторождение Сокольное

Таким образом, разработаны методы геоинформационного обеспечения оценки экологических последствий и методы автоматизированного построения их графических изображений. Возможности моделирования экологической обстановки горнодобывающих предприятий расширяются с применением новейших геоинформационных технологий, и это позволяет выполнить анализ и прогноз состояния окружающей природной среды в горнопромышленных регионах в целом.

### **Литература**

1. Бек А.Ш. Кыргызбаева Г.М. Методика и технология создания динамических карт //Материалы VI международной конференции «Stosowane naukowe opracowania 2010»,-Прага, - С.60-62.
2. .Бек А.Ш., Карибаев Е.Г. Моделирование экологической обстановки предприятия с использованием ГИС-технологий // Труды симпозиума «Неделя горняка – 2010», М.: МГГУ, ГАИБ. УДК 517.958

М.Б. Нурпеисова – докт.техн.наук, профессор  
Л.К. Жусупова – ст.преподаватель

*In article the condition of the Kyzylordinsky economic zone including of a Kyzylorde are resulted researches ecological*

С древних времен долина реки Сырдарьи была одним из центров земледельческой культуры Средней Азии и Казахстана. Позднее здесь возник важный экономический район Республики Казахстан. В Кызылординской области сосредоточены значительные природные ресурсы. Здесь расположен один из крупных городов юга Казахстана - Кызылорда.

В последние десятилетия в связи с усыханием Аральского моря, интенсивным освоением долины р. Сырдарьи и безвозвратным водопотреблением стока этой реки на территории Кызылординской области сложилась катастрофическая экологическая обстановка. Негативное антропогенное воздействие привело к деградации целых экосистем, гибели Аральского моря.

До настоящего времени экологами Казахстана проводятся комплексные исследования Казахстанского Приаралья, ландшафтов долины р. Сырдарьи. Однако при этом все еще отсутствуют попытки комплексного геоэкологического исследования окружающей среды крупных населенных пунктов и, в том числе, г. Кызылорды.

Город Кызылорда, как центр региона Казахстанского Приаралья, развивается и функционирует в тесном взаимодействии с окружающей его средой. Эколого-географическое положение г.Кызылорды характеризуется противоречивыми особенностями. С одной стороны, Кызылорда относительно небольшой по площади (605 км<sup>2</sup>) и численности населения (157,3 тыс. чел.) город со слабо развитой промышленностью и промышленной инфраструктурой. С другой стороны, на экологическое состояние г. Кызылорды оказывают заметное воздействие соседние регионы, загрязняющие атмосферный воздух (Аральское море, космодром Байконур) и поверхностные воды (транзитный перенос загрязнителей по реке Сырдарье из Узбекистана и Южно-Казахстанской области).

Важное значение имеет также и направление ветра, от него зависит перемещение загрязняющих веществ из источника выброса. В Кызылорде в среднегодовом цикле преобладают ветры северо-восточного и северного румбов. В теплое время года часто наблюдаются пыльные бури. Во время пыльной бури со скоростью 10 -12 м/сек, на 100 п.м. в приземном метровом слое может переноситься от 5 до 11 кг солей в течение часа. Это подтверждает определенное влияние Аральского моря на состояние окружающей среды города. Например, с 70-х гг, совпадающих с началом усыхания Аральского моря, на космических съемках в Приаралье фиксируются мощные пыльные бури, очагом возникновения которых является обсохшая прибрежная полоса северо-восточного и восточного побережья моря. Шлейф пыле-солевого выноса распространяется на значительные расстояния, в том числе в юго-восточном направлении, где расположен г.Кызылорда.

Таким образом, климатические условия г.Кызылорды являются фактором экологического риска и способствуют экологической дестабилизации окружающей среды.

Благоприятное гидроэкологическое положение г.Кызылорды определяется прежде всего его расположением вдоль второй по величине реки Средней Азии - Сырдарьи. Она служит главным источником водоснабжения города и прилегающих к нему населенных пунктов. Характерной особенностью речной воды является повышенное содержание ионов магния и сульфатов. Это объясняется тем, что в верхнем течении на качество р.Сырдарьи оказывают влияние сточные воды предприятий Узбекистана и Таджикистана. Присутствие соединений азота в сырдарышской воде связано с процессами, протекающими внутри водоема, а также



поступлением этих веществ с промышленными и бытовыми стоками. Повышенное содержание минеральных веществ привело к увеличению жесткости воды: она почти в 1,5 раза превышает ПДК.

Кроме того в Кызылординской области действует ОАО «ПетроКазахстан Кумколь Ресорсиз», имеющее в своих активах 16 действующих нефтяных месторождений, газоперерабатывающий комплекс и добывающее в настоящее время около 10,0 млн. тонн нефти в год. Освоение нефтегазовых месторождений является источником интенсивного загрязнения воздуха, воды и почвы, деградации животного и растительного мира и, наконец, истощения природных ресурсов.

Поэтому первостепенной задачей является комплексная оценка экологического состояния региона, в том числе города Кызылорды, составление экологических карт и разработка на основе геоэкологического районирования меры снижения экологической нагрузки.

В условиях суверенного Казахстана г.Кызылорда был включен в состав Кызылординской специальной экономической зоны (КСЭЗ). Она была создана в соответствии с Указом Президента Республики Казахстан от 8 октября 1996 года № 3123 "О создании Кызылординской специальной экономической зоны". Кызылординская специальная экономическая зона представляет собой единый *урбапромышленный комплекс*. За весь период деятельности (с 1996 по 2010 гг) в КСЭЗ наблюдался устойчивый рост промышленного производства, а это усилило процесс антропогенного воздействия на окружающую среду (рисунок 1).



Рисунок 1 – Основные факторы антропогенного воздействия на экологическое состояние окружающей среды г.Кызылорды

Относительно экологически безопасными являются ареалы малоэтажной застройки, где проявлениями экологического воздействия являются: загрязнение атмосферного воздуха зимой при индивидуальном печном отоплении и использование поливной воды на приусадебном

участке. Наибольшую экологическую опасность представляют промышленная и транспортная зоны, оказывающие крайне негативное экологическое воздействие на все природные компоненты. На их долю приходится 19,5% территории города. Перечисленные функциональные элементы эколого-хозяйственной структуры г.Кызылорды являются частью единой Кызылординской урбасистемы.

Большая роль в экологическом состоянии урбасистемы города принадлежит промышленности. В городе производится более 90% всей промышленной продукции Кызылординской области. В качестве примера рассмотрим удельный вес отраслей экономики в общем объеме промышленного производства г.Кызылорды в 2009 г. Лидирующее положение по объему промышленной продукции занимают предприятия по добыче и транспортировке нефти Кумкольского месторождения(80,9%). На втором месте находится производство энергии на ТЭЦ-6 (17,1%). Остальные отрасли экономики занимали более скромное место в объеме валовой продукции города (рисунок 2).

Состав выбросов промышленных предприятий и степень проявления негативных воздействий на окружающую среду г.Кызылорды различные. Так, наибольшее количество выбросов приходится на Кызылординский экспериментально-механический завод. Валовые выбросы этого предприятия составили 8371 т в год (2008 г). Причем преобладают твердые выбросы (пыль, сажа), на долю которых приходится 6433 т в год (76 %). Газообразные выбросы преобладают над твердыми на таких предприятиях, как Фабрика нетканых материалов, Целлюлозно-картонный комбинат.



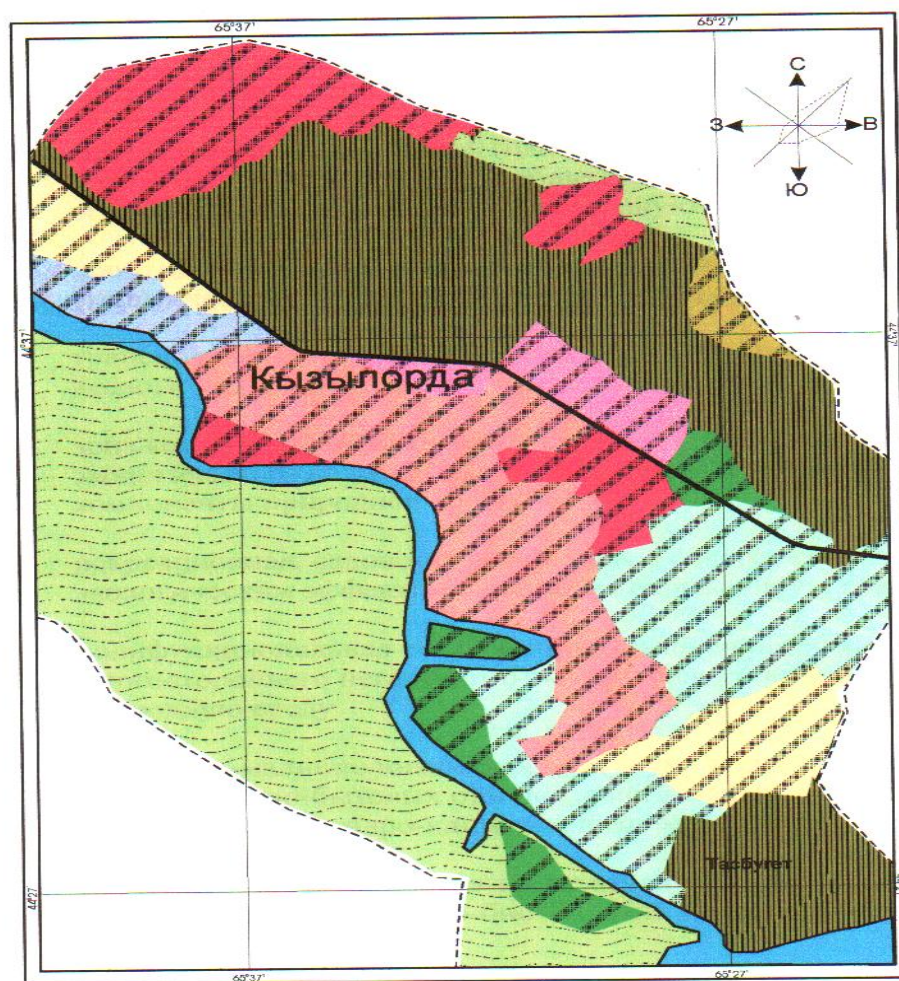
Рисунок 2 – Удельный вес отраслей экономики в общем объеме промышленного производства

Значительное негативное воздействие на состояние окружающей среды города оказывают нестационарные источники загрязнения - железнодорожный и автомобильный транспорт. Здесь на долю автотранспорта приходится более половины всех вредных выбросов в атмосферу. Особое место в загрязнении атмосферного воздуха г.Кызылорды отработанными газами автотранспорта занимают поли циклические углеводороды и прежде всего 3,4- бензопирен,

содержание которого вблизи транспортных магистралей превышает ПДК этого соединения в 10-12 раз, а внутри жилых кварталов в 2 раза.

Таким образом, современное экологическое состояние города является следствием всестороннего воздействия природных и антропогенных экологических факторов, рассмотренных нами выше. Их совместное проявление определяет современное экологическое состояние окружающей среды г.Кызылорды.

Территория г. Кызылорды представляет собой единую урбасистему, составной частью которой являются природная и антропогенная (урбатехногенная) подсистемы. Пространственная структура урбасистемы представлена на составленной нами урбэкологической карте г.Кызылорды (рисунок 3). На карте показаны основные антропогенные факторы, определяющие экологическую дестабилизацию среды города. Отчетливо выявляются функциональные зоны антропогенного воздействия на окружающую среду: селитебная, промышленная, транспортная, коммунально-складская, рекреационная и др.







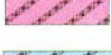





Масштаб 1:75000

Рисунок 3 – Урбэкологическая карта г.Кызылорды



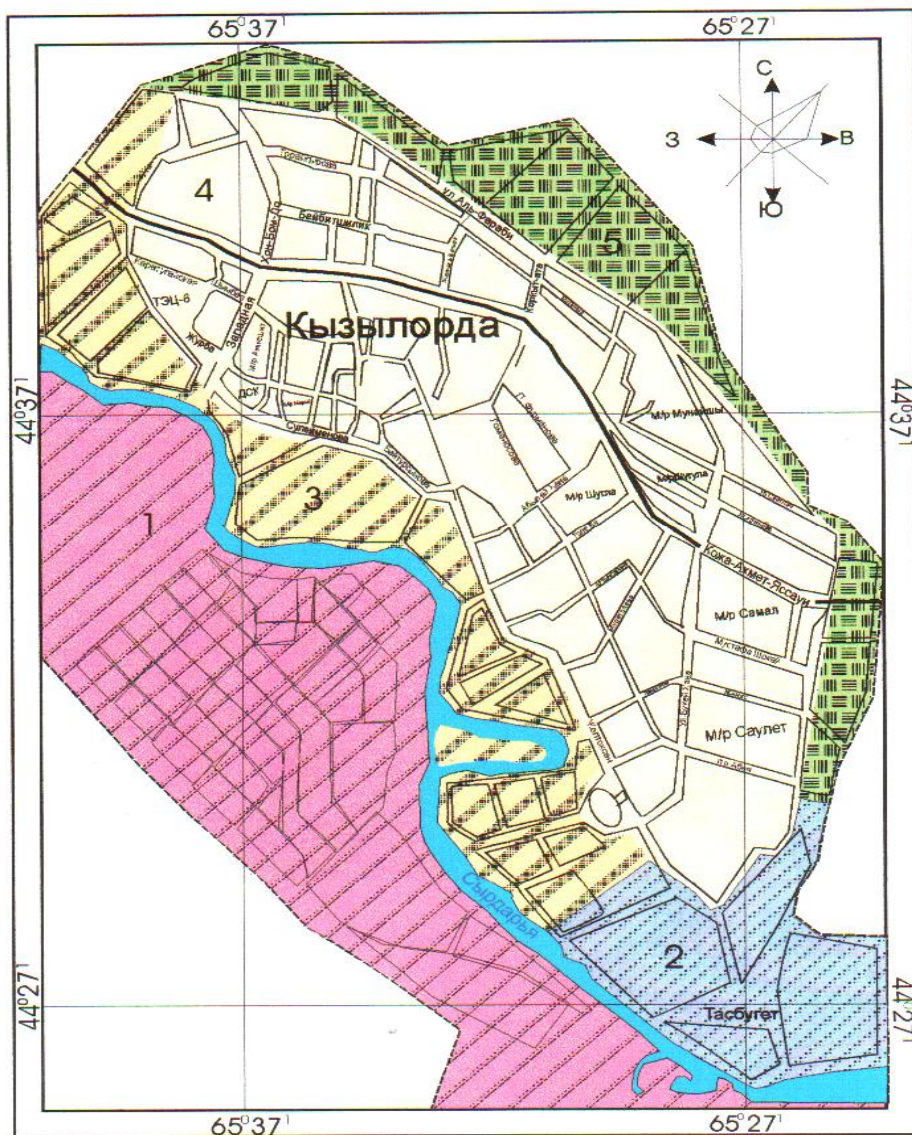
Условные обозначения  
урбазкологические зоны

53

	селитебная зона многоэтажной жилой застройки и инфраструктуры общественного обслуживания с режимом всестороннего воздействия на природную среду
	селитебная зона одноэтажной застройки с частичным сохранением почв и биоты
	селитебная зона смешанной (одноэтажно-многоэтажной) застройки и инфраструктуры общественного обслуживания с режимом ограниченного воздействия на природную среду
	промышленная зона, с проявлениями всестороннего негативного экологического воздействия на природную среду
	транспортная зона, с проявлениями всестороннего негативного экологического воздействия на природную среду
	зона коммунально-складской застройки, с проявлениями негативного экологического воздействия на литогенные и почвенно-биотические компоненты природной среды
	рекреационная, садово-парковая зона, с облагораживающим экологическим эффектом влияния на окружающую среду
	полифункциональная селитебно-промышленная зона многостороннего негативного экологического воздействия на природную среду
	санитарно-мелисологическая зона аккумуляции промышленных и коммунально-бытовых отходов, с негативным экологическим воздействием на гидро-климатогенные компоненты природной среды
	селитебно-земледельческая зона с ограниченным экологическим воздействием на почвенно-биотические компоненты природной среды
	Прочие обозначения границы города
	железные дороги

Вызывает определенный интерес изучение характера антропогенного воздействия на окружающую среду в пределах зон влияния полифункциональных факторов.

Важная роль в обосновании природоохранных мероприятий на основе учета местных природных условий урбасистемы города принадлежит геоэкологическому районированию (рисунок 4).



Масштаб 1:75 000

Условные обозначения

- Геозоологические подрайоны
- 1 Левобережно-Сырдарьинский пойменный, селитебно-садоведческо-земледельческий;
  - 2 Тасбугетский городской Надпойменно-террасовый, городской малоэтажный подрайон;
  - 3 Аюкарминский Правобережно-Сырдарьинский надпойменно-террасовый промышленно-селитебный малоэтажный;
  - 4 Присырдарьинско-Центральный надпойменно-террасовый городской, многоэтажный;
  - Кызылжарминский Правобережно-Сырдарьинский надпойменно-террасовый земледельческо-селитебный-малоэтажный;

Рисунок 25

Рисунок 4 – Геозоологическое районирование г.Кызылорды

Геозоологические зоны выделяются, как правило, на основе таксономических единиц физико-географического районирования, с учетом ведущего экономического фактора, определяющего экологический фон окружающей среды. В соответствии с принципами геозоологического районирования мы считаем возможным приравнять ландшафт г.Кызылорды к геозоологическому району, а типы местности отождествить с геозоологическими подрайонами.

На территории г.Кызылорды нами выделены и подробно описаны 5 геоэкологических подрайонов (рисунок 4). Каждому геоэкологическому подрайону свойственны специфические природные свойства, что определяет характер природоохранных рекомендаций. Они отличаются также характером селитебной инфраструктуры. Таким образом, геоэкологическому районированию принадлежит важная роль в обосновании природоохранных мероприятий на основе учета местных природных условий урбасистемы города.

### **Литература**

1.Нурпеисова М.Б., Жусупова Л.К. Повышение точности геодезических измерений при съемке застроенных территории//Труды ИГД им.Д.А.Кунаева «Научно-техническое обеспечение горного производства».-Алматы,2010,том 80. –С.6-9.

2. Нурпеисова М.Б., Жусупова Л.К. Дистанционное зондирование Земли для решения экологических задач //Материалы за У1 межд.научно-практической конференции «Проглед върху световната наука-2010». София, 2010, том 22.- С.56-58

3.Нурпеисова М.Б., Жусупова Л.К. Усовершенствование методики составления карт природных явлений //Материалы VI международной конференции «STOSOWANE NAUKOWE OPRACOWANIA – 2010», 25.08 -05.09.2010 г., секция 7-Технически науки: Прага. 2010.- С.60-63.

## Моделирование воздействия поллютантов на литосферу

Б.С. Турсбеков, А.Б. Абдуллаева  
Казахский национальный технический университет  
имени К.И.Сатпаева, г. Алматы (Казахстан)

*It was determined quantity and properties of different salts pollutants in the soil and by the method of simplex-lattice planning of experiments was obtained full diagram "composition- properties" for system NaCl-MgSO<sub>4</sub>-CaSO<sub>4</sub>. Obtained regularity of influence sulphates and chlorides in soil.*

*Определены количество и состав различных солей в почве, методом симплекс-решетчатого планирования построена полная диаграмма состав-свойство системы NaCl-MgSO<sub>4</sub>-CaSO<sub>4</sub>. Выявлено воздействие засоленности почвы на содержание сульфатов и хлоридов.*

В результате исследований определены приоритетные загрязняющие соли, наиболее сильно влияющие на засоленность почвы. Это- хлориды, сульфаты кальция и магния. В составе гумуса бурых почв, к которым относятся почвы под жилым массивом города, сульфокислоты заметно преобладают над гуминовыми кислотами. В формах связи гуминовых кислот содержание первой и третьей фракций незначительно. Количество второй фракции гуминовых кислот более высокое, по сравнению с этой же фракцией сульфокислоты. Такой состав гумуса бурых почв находится в полном соответствии с биохимическими условиями разложения органической части фитомассы. Реакция почв слабощелочная. Емкость поглощения: песчаных и супесчаных почв -3-10 мг-экв/100 г; суглинистых - 10-25 мг-экв/100 г почвы.

В преобладающем большинстве у бурых, в подошве разреза первого метра, появляются легкорастворимые соли. Реакция почвенного раствора, обычная для бурых почв – щелочная (рН 7.50). Для почв города характерно первичное залегание легкорастворимых солей, представленных главным образом, сульфатами кальция. Сумма солей в опробованном горизонте составила 0.9%. Водный режим почв – непромывной. Небольшая глубина промачивания почв, за счет атмосферных осадков, обуславливает перемещение солей в верхнем слое профиля (до 1м.).

Выполнены химико-аналитические исследования почв в изучаемом районе границе отвода. Во всех образцах грунта определили содержание щелочно-земельных металлов (Са, Mg), щелочных металлов (Na, K), а также хлора и сульфатов (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) и величину рН. Средняя концентрация элементов из верхних интервалов скважины не отличалось от проб поверхностного слоя почвы (в подошве разреза первого метра). Возрастание содержания легкорастворимых солей объясняется усилением промачивания почв и, как следствие промываемости почв (таблица 1). За этот период засоленность возросла на 2.5%.

Как видно из таблицы 1, наблюдается наибольшее загрязнение почв хлоридами, кальциевым ионом и сульфатами.

Результаты аналитических исследований, по продаж бурых почв свидетельствуют об отсутствии выраженного техногенного воздействия.

Таблица 1 - Содержание солей в бурых солонцеватых почвах

Параметр	Содержание, мг/100г	
	2005 г.	2007 г.
Калий (Kailua)K <sup>+</sup>	12,30	13,20
Магний (Magnesium) Mg <sup>2+</sup>	21,40	22,70



Натрий (Natrium)Na <sup>+</sup>	69,87	69,17
Хлор-ион (Chloride) [Cl <sup>-</sup> ]	125,50	127,60
Кальций (Calcium) Ca <sup>2+</sup>	238,27	242,38
Сульфаты (Sulphate) [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	660,34	670.40
Сумма солей	912,00	942,47

Разработана методика, исследования систем, включающая природные минералы (галлит –  $NaCl$ , сульфат магния  $Mg_4SO_4$  и сульфат кальция  $CaSO_4$ ). Изучение взаимодействия в подобных многокомпонентных системах ставит целью получение полной диаграммы «состав-свойство»: степень засоления. Целью исследования сложных многокомпонентных систем обычно является построение зависимостей свойств от состава и режима обработки, нахождение оптимального состава и режима, удовлетворяющих требованиям по одному или нескольким выходным параметрам (свойствам системы) [1].

Известно, что построение многокомпонентных диаграмм состояний и диаграмм «состав-свойство» связано, как правило, с очень большим объемом экспериментальных работ [2-3]. Такие системы можно изучить методом математического моделирования: состав  $q$  – мерной системы задаётся  $(qn)$  – симплексом, и функция, описывающая влияние состава на свойства системы, может быть выражена полиномом некоторой степени от значений независимых переменных  $X_1, X_2, X_3$  – количество  $n$ -го компонента в смеси, Для случая, когда свойство зависит от состава смеси, а не от её количества, Шеффе предложил особый случай планирования экспериментов, в основе которого лежит расположение экспериментальных точек по так называемым симплексным решеткам.

Симплекс- решетчатые планы являются насыщенными, т.е. содержат минимального возможное число экспериментальных точек, необходимых для оценки коэффициентов полиномов. Поэтому адекватность полученных моделей оценивается по дополнительным контрольным точкам.

Выбор последних весьма произволен. Обычно контрольные точки располагают на тех участках диаграммы, изучаемое свойство в которых и представляет наибольший интерес для экспериментатора, либо выбор их основан на модели высокого порядка. Адекватность описания исследуемого свойства полученной модели в некоторой точке симплекса оценивается с помощью  $t$  – критерия.

Принята нормированность суммы независимых переменных  $\sum X_n = 1$ . В рассматриваемой системе изучаемое свойство (степень засоления) зависит от состава смеси, но не от ее количества. Для изучаемой 3-х компонентной системы находили модель четвертой степени по приближению.

Модель четвертой степени, описывающая влияние состава на степень засоления образцов в системе **NaCl-MgSO<sub>4</sub>-CaSO<sub>4</sub>** имеет вид:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \gamma_{12} X_1 X_2 (X_1 - X_2) + \gamma_{13} X_1 X_3 (X_1 - X_3) + \gamma_{23} X_2 X_3 (X_2 - X_3) + \alpha_{12} X_1 X_2 (X_1 - X_2)^2 + \alpha_{13} X_1 X_3 (X_1 - X_3)^2 + \alpha_{23} X_2 X_3 (X_2 - X_3)^2 + \beta_{1123} X_1^2 X_2 X_3 + \beta_{1223} X_1 X_2^2 X_3 + \beta_{1233} X_1 X_2 X_3^2$$

В результате выполнения экспериментов получены значения степени засоления образцов при изучаемой температуре. Составлена матрица планирования, в которой независимые переменные  $X_1, X_2, X_3$  представляют собой компоненты системы (таблица2).

Таблица 2 – Матрица планирования системы  $NaCl-MgSO_4-CaSO_4$ 

Номер опыта	Состав смеси						Индекс коэфф.	Степень засоления, %
	доли единиц			мас. %				
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$NaCl$	$Mg_4SO_4$	$CaSO_4$		
1	1	0	0	100	100	0	$Y_1$	87,0
2	0	1	0	0	0	0	$Y_2$	86,3
3	0	0	1	0	0	100	$Y_3$	93,0
4	½	½	0	50	50	0	$Y_{12}$	90,1
5	½	0	½	50	0	50	$Y_{13}$	84,9
6	0	½	½	0	50	50	$Y_{23}$	96,0
7	¾	¼	0	75	25	0	$Y_{112}$	95,7
8	¼	¾	0	25	75	0	$Y_{1223}$	93,1
9	¾	0	¼	75	0	25	$Y_{1113}$	90,0
10	¼	0	¾	25	0	75	$Y_{1333}$	96,8
11	0	¾	¼	0	75	25	$Y_{2223}$	97,9
12	0	¼	¾	0	25	75	$Y_{2333}$	97,9
13	½	¼	¼	50	25	25	$Y_{1123}$	97,9
14	¼	½	¼	25	50	25	$Y_{1223}$	99,4
15	¼	¼	½	25	25	50	$Y_{1233}$	97,9

Для геометрического представления полученной поверхности степени засоления строили линии через каждые 10%. С этой целью в начале вычисляли точки на диаграмме по степени засоления через 10% и наносили точки на треугольник.

Нами изучено взаимодействие в системе  $NaCl - Mg_4SO_4 - CaSO_4$ , при  $t=25^{\circ}C$ . Сложная многоминеральная смесь в процессе взаимодействия рассматривалось с точки зрения интегрального эффекта засоленности почв за счет образования солевых отложений, минералов, состоящих из хлоридов и сульфатов щелочных и щелочноземельных металлов. Взаимодействие наблюдается на границе контакта, т.е. на межповерхности в системе «соль-соль». В объеме прессованного образца формируется сетчатая структура, где точечным центром кристаллизации новообразованных твердых фаз засоления являются образования минерализованных связок, окристаллизованных агрегатов, за счет чего возрастает степень засоленности.

На диаграмме, построенной методом симплексных решеток, нанесены изотермические кривые степени засоленности с выявлением областей образования наиболее засоленных почв.

Наибольшая степень засоления достигается при соотношении компонентов  $X_1 : X_2 : X_3 = 10:60:30$  (рисунок).

В области обогащенной сульфатами (3 область, рисунок 4) степень засоления наибольшая (до 99,6: в то время как в «хлоридном углу» степень ниже (до 75-85%, что обусловлено большей растворимостью хлоридов щелочных металлов (в частности хлорида калия  $NaCl$ ), т.е. более интенсивной вымываемостью хлоридов в сравнении с сульфатами.

Таким образом, диаграммный анализ засоленности локального участка территории показал, что наиболее приоритетные загрязнители в солевом балансе сульфат кальция и хлориды (Рисунок).

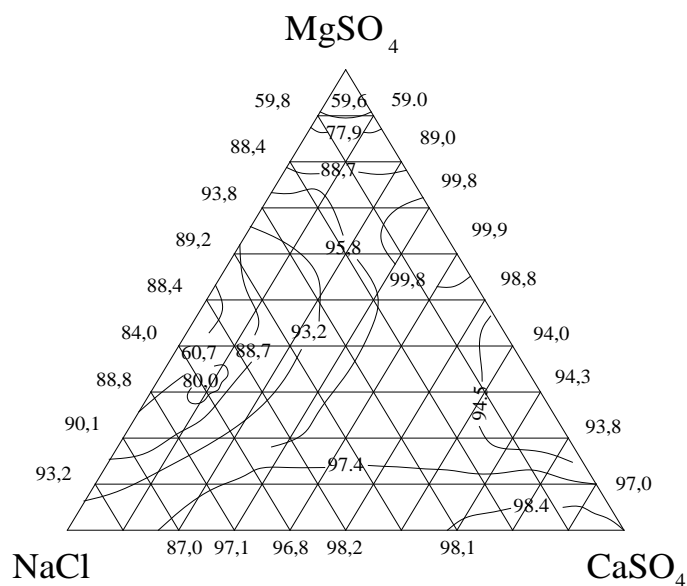


Рисунок - Изотермический разрез системы  $\text{NaCl-MgSO}_4\text{-CaSO}_4$

### Литература

1.Турсбеков Б.С. Городская экосистема и проблемы создания земельного кадастра.//Вестник КазНТУ. №5. 2007.-с.171-178.

2. Турсбеков Б.С., Казова Р.А., Нуркеев С.С. Географические, ландшафтные, градостроительные факторы при кадастровой оценке земель.//Труды 9-ой Международной научно-практической конференции «Новое в БЖД (Экология)». Алматы: КазНТУ.2007.-с.50-56

3.Казова Р.А., Турсбеков Б.С., Казова А.М. Воздействие антропогенного фактора на литосферу г.Алматы. // Вестник КазНТУ. №3. 2007.-с. 22-26.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Турсбеков Б.С. – преподаватель кафедры «Инженерной геодезии и землеустройства», КазНТУ им. К.И. Сатпаева; дом. тел.: +7(727) 3093096, сот.: 8777 296 22 80;

2. Абдуллаева А.Б. – магистрант кафедры «Инженерной геодезии и землеустройства», КазНТУ им. К.И. Сатпаева; сот.: 8701 785 94 52.

## Разработка метода определения оптимальной величины коэффициента извлечения урана из ячейки от времени ее эксплуатации

Н.С. Турсбеков  
Казахский национальный технический университет  
имени К. И. Сатпаева

### Резюме

Был разработан новый метод оптимального извлечения урана.

### Summary

The new method of obtaining uran from cell was developed and worked out.

Неоднородность рудных тел по основным его параметрам - коэффициенту фильтрации  $K_f$ , коэффициенту  $\beta = \frac{\bar{V}_a}{\bar{V}_e}$ , отношению некоторой средней характерной скорости  $\bar{V}_e$  - выщелачивания металла к скорости фильтрации раствора;  $M_{\Sigma}$  - эффективной мощности рудовмещающего горизонта и других приводит к большому разбросу времени работы отдельных блоков и элементарных ячеек. При этом проектный уровень коэффициента извлечения урана по участку  $\varepsilon_{II}$  будет достигнут за длительный период времени, с которым связаны все эксплуатационные расходы.

С целью достижения максимального эффекта минимизации потерь урана в недрах при их ПСВ предлагается определять оптимальные значения коэффициента извлечения урана из ячейки и времени ее эксплуатации на базе методов математического моделирования систем, что было изложено ранее.

Для решения оптимизационной задачи сформулируем математическую модель. Задана сеть технологических скважин на некотором ЭУ и ее параметры  $R_0$  и  $a$ .

Известна статистическая зависимость коэффициента извлечения урана от параметра  $f$  в виде [1]:

$$\xi = 1 - \frac{1}{e^{fC}}, \quad (1)$$

где  $f = \text{Ж:Т}$  - отношение жидкого к твердому по объему,  $\text{мг}^3/\text{м}^3$  или  $\text{т/т}$ ;  
 $C$  - статистический параметр  $> 0$ .

Представим  $f_j$  для каждой ячейки в виде:

$$f_j = \frac{V_{\text{ж}j} t_j}{V_{\text{зр}mj}}, \quad (2)$$

где  $t_j$  - время эксплуатации (отработки) одной  $j$ -ой ячейки, лет;

$$V_{\text{ж}j} = Q_j * 365, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3)$$

$$V_{\text{зр}mj} = \alpha * M_{\Sigma j} * R_0^2, \text{ м}^3, \quad (4)$$

где

$$Q_j = \frac{1.157 * 2\pi * K_{\phi j} * M_{\Sigma j} * (nS_{Hj} + S_{oj})}{10^2 (\ln \frac{R_0}{R_c} + S_k)}, \text{ м}^3/\text{сутки}. \quad (5)$$

Подставляя в (2), (3), (4) и (5) получим:

$$f_j = \frac{8.4 * K_{\phi j} * (nS_{Hj} + S_{oj}) * C * t_j}{R_0^2 (\ln \frac{R_0}{R_c} + S_k)}, \quad (6)$$

В условиях рыночной среды главным критерием для принятия решения является прибыль. При этом функцию цели запишем в виде:

$$J = \Pi \sum_{j=1}^{N_0} B_j (1 - \frac{1}{e^{A_{ij}}}) - C_{эj} t_j \rightarrow \max, \quad (7)$$

при ограничениях:

$$t_j \leq T^*, j = \overline{1, N_0}, \quad (8)$$

Здесь приняты обозначения:

$T^*$  - срок эксплуатации оборудования рудника ПВ, лет;

- запасы урана в ячейке:

$$\beta_j = \alpha * m_{яj} * R_0^2, \text{ кг} \quad (9)$$

- коэффициент извлечения урана из j-ой ячейки, доли ед.:

$$\xi = (1 - \frac{1}{e^{A_{ij}}}), \quad (10)$$

$$A_j = \frac{8.4 * K_{\phi j} * (nS_{Hj} + S_{oj}) * C}{R_0^2 \left[ \ln \frac{R_0}{R_c} + (\frac{K_{\phi j}}{K_{1j}} - 1) * \ln \frac{R_{1j}}{R_c} \right]}, \text{ 1/год}; \quad (11)$$

$\Pi$  - цена реализуемого уранового концентрата, \$/т;

$C_{эj}$  - эксплуатационные годовые затраты по одной конкретной ячейке для конкретного рудника ПСВ урана с определенной суточной (годовой) добычей, \$/год;

$t_j$  - время эксплуатации j-ой ячейки - откачной скважины, лет.

В формулах (9) и (11) входят следующие параметры:

$m_{яj}$  - продуктивность ячейки, кг/м<sup>2</sup>;

$R_0$  - радиус ячейки;

$a$  - коэффициент, имеющий различные значения для восьмигранной, гексагональной, квадратной и рядных схем расположения скважин, определяется по таблице [1];

$K_{\phi j}$ , — средний коэффициент фильтрации продуктивного пласта j-ой ячейке, м/сут;

$n_j = \frac{N_{зс}}{N_{ос}}$  - безразмерный параметр отношения числа закачных скважин к

откачным на эксплуатационном участке;

$S_{nj}$  - компрессия j-ой закачной скважине, м;

$S_{oj}$  - депрессия на u'-ой закачной скважине, м;

$R_c$  - радиус технологической скважины, м;

$R_{1j}$  — радиус приствольной части скважины либо закольматированной, либо обработанной, например, обсыпкой прифильтровой зоны;

$C$  — некоторая постоянная величина для каждого типа месторождения или его части, определяемая экспериментально из формулы:

$$\xi_1 = 1 - e^{-f_1 C}. \quad (12)$$

Здесь в (12)  $\xi_1$  - известный коэффициент извлечения урана по фактическому параметру  $f_1 (Ж: T)$ .

Из формулы (12) имеем:

$$-C f_1 = \ln(\xi_1 - 1), \quad (13)$$

так как  $\ln(\xi_1 - 1) < 0$ , то из (13) получим значение параметра  $C$  для конкретного типа участка

$$C = \frac{\ln(\xi_1 - 1)}{f_1}, \quad (14)$$

Если имеются и другие данные по участку ПВ для  $\xi_2 \rightarrow f_2$ , то можно брать среднее значение  $C$ . Но из практики известно, что уравнение (10) соблюдается довольно точно для любого участка конкретного месторождения. Так обработкой статических данных нами получены такие значения  $C$ :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Карамурун } C = 1,21, \\ \text{Акдала } C = 0,64, \\ \text{Канжуган } C = 0,51. \end{array} \right\} \quad (15)$$

Функция цели (7) аддитивна по параметру времени  $t_j$  и она выпукла, имея единственную точку максимума, которая отыскивается решением системы уравнений:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial t}{\partial t_j} = ЦB_j A_j e^{-A_j t_j} - C_{эj} = 0 \\ j = \overline{1, N_0} \end{array} \right\} \quad (16)$$

Из уравнений (9) имеем для каждой ячейки:

$$e^{-A_j t_j} = \frac{Ц * B_j * A_j}{C_{эj}}, \quad j = \overline{1, N_0}. \quad (17)$$

Из уравнений (17) находим оптимальное время эксплуатации каждой ячейки  $j$ :

$$t_{jo} = \frac{1}{A_j} \ln \frac{Ц * B_j * A_j}{C_{эj}}, \quad j = \overline{1, N_0}. \quad (18)$$

Если в результате решения конкретной задачи для некоторых ячеек окажется нарушенным условие (8), то для них принимаем  $t_{jo}$  на границе множества ограничений, т.е.

$$t_{jo} = T^*, \quad \text{где } j \in \{1, 2, \dots, N_0\} \quad (19)$$

Зная оптимальное время эксплуатации каждой ячейки  $t_{jo}$ , получим оптимальные значения коэффициентов извлечения урана из ячейки:

$$\xi_{0j} = 1 - \frac{1}{e^{A_j t_{jo}}}, \quad j = \overline{1, N_0}. \quad (20)$$

По данным (20) находим оптимальные извлекаемые запасы из каждой ячейки:

$$q_{Uj} = \alpha * m_{эj} * R_0^2 (1 - e^{-A_j t_{jo}}), \quad \text{кг} \quad (21)$$

и извлекаемые запасы урана по участку:

$$q_{Uj} = \alpha * R_0^2 \sum_{j=1}^{N_0} m_{эj} (1 - e^{-A_j t_{jo}}), \quad \text{кг}. \quad (22)$$

Теперь легко определить оптимальный уровень (процент) потерь по любому участку ПСВ урана по формуле:

$$П_{uj} = \left[ 1 - \frac{\alpha * R_0^2 * m_{эj} * (1 - e^{-A_j t_{jo}})}{\alpha * R_0^2 * m_{эj}} \right] * 100, \quad (23)$$

Или после преобразований получим для каждой ячейки:

$$P_{uj} = 100 * e^{A_j t_{j0}}, \%, \quad j = \overline{1, N_0}, \quad (24)$$

и средние потери по участку ПСВ:

$$\overline{P} = \frac{100}{N_0} \sum e^{-A_j t_{j0}}, \%. \quad (25)$$

### **Выводы**

Таким образом, нами дано полное решение задачи по оптимизации коэффициента извлечения урана из блока, включая запасы и потери его в блоке.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Рогов А.Е. Теоретическое обоснование геотехнологических параметров при подземном скважинном выщелачивании урана. Дисс. на соискание уч. ст. докт.техн.наук. Алматы. - 2003.

### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

1. Турсбеков Н.С. – инженер КазНТУ им. К.И. Сатпаева; дом. тел.: +7(727) 3093096, сот.: 8777 296 22 80;



**Summary**

It was worked out technological testing of high temperature treatment of west, which forming on phosphor enterprise. The optimal conditions of technology was determined.

**Резюме**

Была разработано высокотехнологическое тестирование, которое определило оптимальное условие обжига.

В результате лабораторных исследований декарбонизирующего обжига окатышей фосфоритов были определены оптимальные условия процесса, разработаны физико-химические основы термохимической подготовки фосфоритов [1-2].

Для изучения условий декарбонизирующего обжига кусковых и гранулированных фосфоритов в условиях непрерывности (самопроизвольного движения материала под действием гравитационных сил по наклонным решеткам) создана укрупненно-лабораторная шахтная установка производительностью 0,5 т/сутки по кусковому материалу. Проведены укрупненно-лабораторные испытания по обжигу окатанного фосфоритов. Опыты проводили в шахтной печи с наклонными газораспределительными решетками (рисунок 1).

Исходя из размеров решетки 400x230 (мм) и продолжительности обжига кускового фосфорита в течение 1 часа, рассчитали производительность печи по кусковому материалу.

Обрабатываемый материал через загрузочный бункер (9) поступает на решетку (3) - зону подогрева и сушки и самопроизвольно опускается по наклонной решетке.

Нагрев материала осуществляется при сжигании мазута в комбинированной автотракторной форсунке прямого распыления, которая была отрегулирована на давление  $176,6 \times 10^4$  Па. Вторичный воздух подавали топливным насосом УНТ-5П(800 об/мин). Вытяжной вентилятор снабжен асинхронным двигателем типа УА80АЧУ на 1400 об/мин. Охлаждающий воздух подавали компрессором типа СО-7А(рабочее давление Р-39,24 Па, расход Q=0,5 м<sup>3</sup>/мин).

Газораспределительные решетки расположены в шахте так, что направление движения материала изменяется на 180°, при переходе с одной решетки на другую происходит переворот верхнего и нижнего слоя материала, что способствует более равномерному прогреву его по всей толщине слоя. Для выработыванию скорости движения материала по решеткам выгрузка предусмотрена по всей ширине решетки. Контроль температуры по зонам печи осуществляли многоточечной термопарой. На выходе печи материал разгружается с помощью тарельчатого питателя.

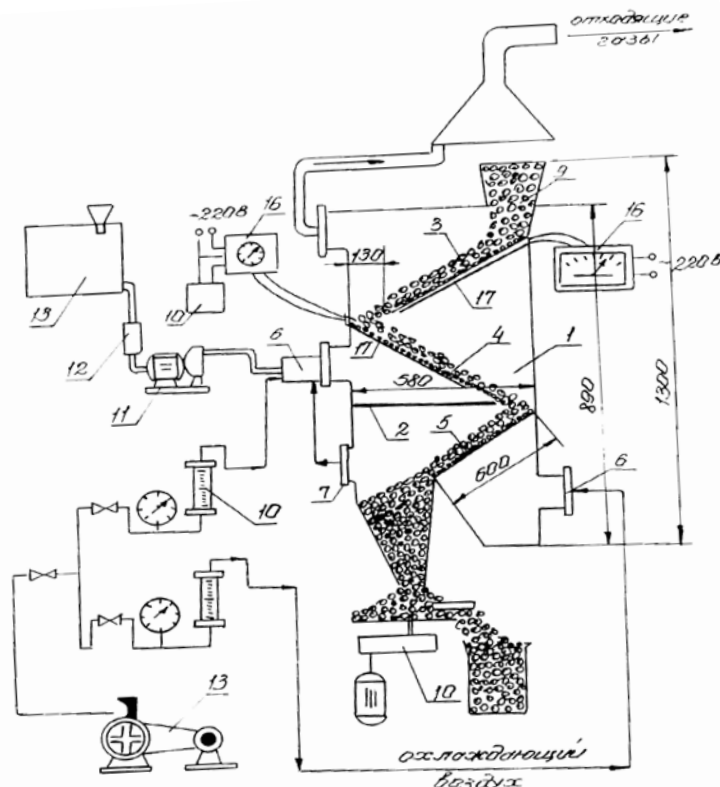


Рисунок 1 – Лабораторная шахтная печь с газораспределительными решетками  
 1 - шахта; 2 - перегородка; 3,4,5 - газораспределительные решетки; 6 - входной патрубком; 7 - отвод нагретого воздуха; 8 - топливник; 9 - разгрузочный бункер; 10 - узел разгрузки; 11 - топливный насос; 12 - фильтр; 13 - бак для топлива; 14 -расходомер; 15 - компрессор; 16 - потенциометр; 17 - термопары.

Лабораторные испытания проведены с использованием окатанных фосфоритов. Для проведения опытов была наработана партия гранул из фосфоритов. Физико-механические свойства окатышей следующие: класс окатышей 12-20 мм, влажность 8-9%, статическая прочность  $19,2 \times 10^4$ - $24,5 \times 10^4$  Па, содержание углерода 2,06%.

Перед пуском печи окатыши загружали на газораспределительные решетки всех трех зон: подогрева и сушки, обжига, охлаждения, затем подавали теплоноситель (топочные газы от сжигания мазута) в зону обжига. После достижения заданной температуры включали тарельчатый питатель на разгрузке. В зоне подогрева и сушки (решетка 3) поддерживали температуру 600-650°C, в зоне обжига (решетка 3) температура достигала 1080°C, на выходе из печи (зона охлаждения, решетка 5) материал имел температуру 80-120°C [2].

Исследования физико-механических свойств обожженных окатышей показали, что гранулы диаметром 12-20 мм имеют статическую (на сжатие) прочность 280-300 кгс/см<sup>2</sup>, пористость 49-52%, степень декарбонизации 97-98%.

Таким образом, лабораторные испытания на модели шахтной печи полностью подтвердили данные исследований по оптимальным технологическим параметрам декарбонирующего обжига гранулированного фосфорита: температура 1125°C, продолжительность 30 мин, расход воздуха 1,8 м<sup>3</sup>/ч; крупность помола 75-80% (фракции -0,063 мм), диаметр гранул 12-20 мм [1].

С точки зрения охраны окружающей среды выявление состава отходящих газов при обжиге окатышей фосфоритов представляет значительный практический интерес. Отбор отходящих газов при обжиге фосфоритов производили в специальную систему с помощью вытяжного компрессора. Контроль температуры процесса осуществляли с помощью платино-платинородиевой термопары. Газы на выходе из реактора отводили

в улавливающую систему с помощью вытяжного компрессора. Расход газа контролировали U-образным расходомером со шкалой измерения от 0 до 4л/мин. Анализировали газовую фазу монослоя при проведении процесса обжига в оптимальных условиях: температура 1050°C, продолжительность обжига 30 мин, сушка - 30 мин, охлаждение - 30 мин.

Отходящие газы охлаждали в холодильнике, и затем весь газовый поток пропускали через ряд поглотительных сосудов. Забор газа проводили со скоростью 0,5 л/мин, что обеспечивало полноту поглощения фосфорных соединений.

Поглотительные сосуды 3,4,5,6 представляют собой последовательно соединенные склянки Дрекслея (рисунок 2). В сосуде 3 содержался насыщенный раствор ацетата свинца для поглощения мышьяковистого водорода, мешающего определению фосфина. В сосуде 4 находился 1 %-ный раствор едкого натра для поглощения пентаоксида фосфора. В сосуде 5 бензолом поглощался элементарный фосфор, в сосуде 6 окислительной смесью (0,5 N раствор  $KMnO_4$  в 0,5 N растворе  $H_2SO_4$  в соотношении 1:1) поглощался фосфин. В таблице приведены результаты анализа газовой фазы при обжиге окатышей Чулактауского фосфорита и шихты.

Как видно из приведенных данных (таблица 1) при обжиге окатышей фосфорита выделяется в два раза больше фосфина, чем из шихты.

Таблица 1 – Состав газовой фазы при обжиге окатышей фосфоритов

Сырье	Навеска окатышей до опыта,г.	Содержание $P_2O_5$ до опыта,г.	Соединения фосфора в газовой фазе,мг				Потери в газовую фазу, %
			$P_2O_5$	$PH_3$	P	$\Sigma P$	
Чулактауский фосфорит	60,94	12,50	0,1	0,22	0,046	0,366	0,007
Шихта из отходов	62,28	14,02	0,1	0,11	0,060	0,279	0,005

Технологическая схема получения адсорбента показана на рисунке 3

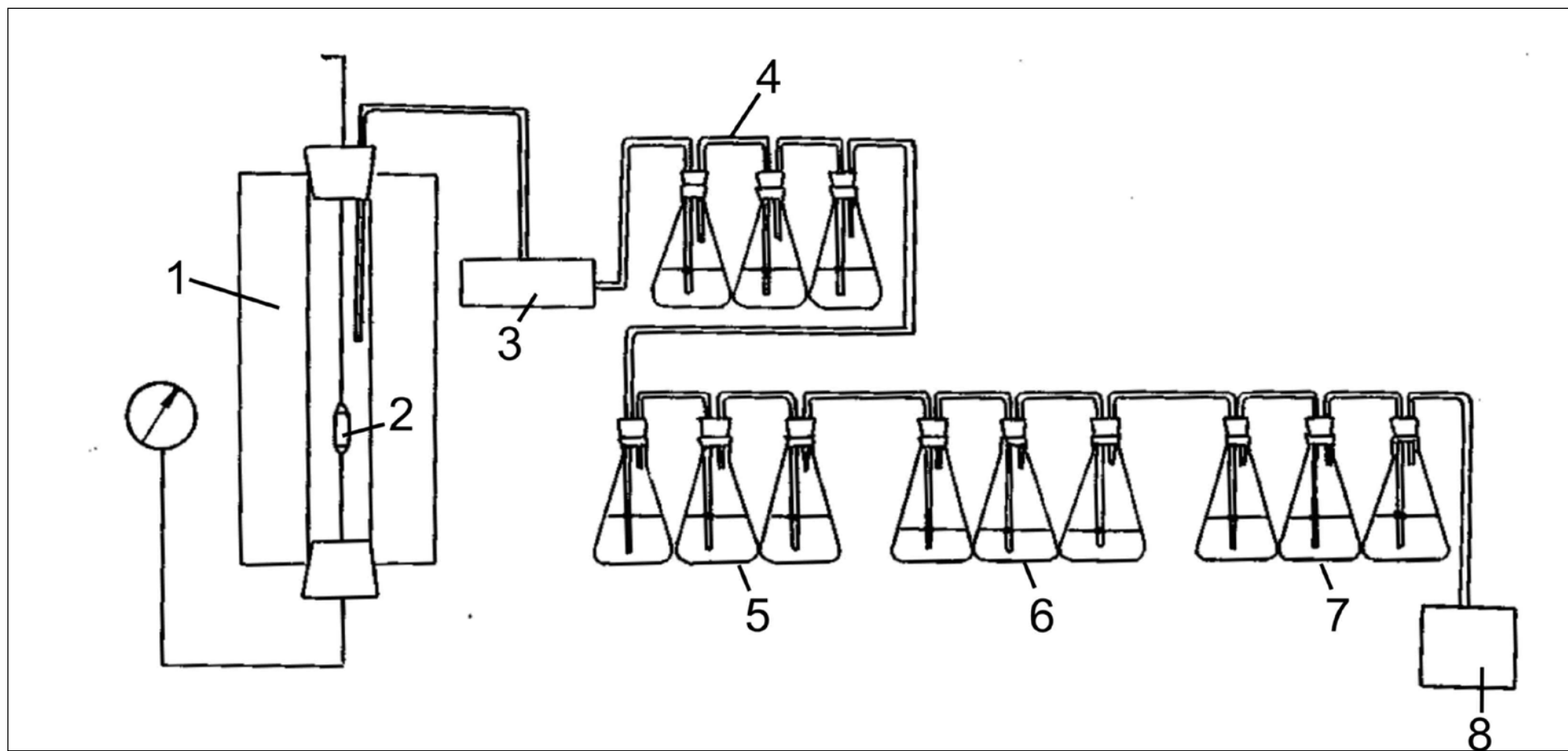


Рисунок 2 – Лабораторная установка для газового анализа  
1 - печь; 2 - корзина с пробой; 3 - холодильник 4-7 - поглотительные склянки; 4 - насыщенный раствор ацетата свинца- 5-1% раствор;  
6 - бензол; 7 - окислительная смесь; 8 - компрессор

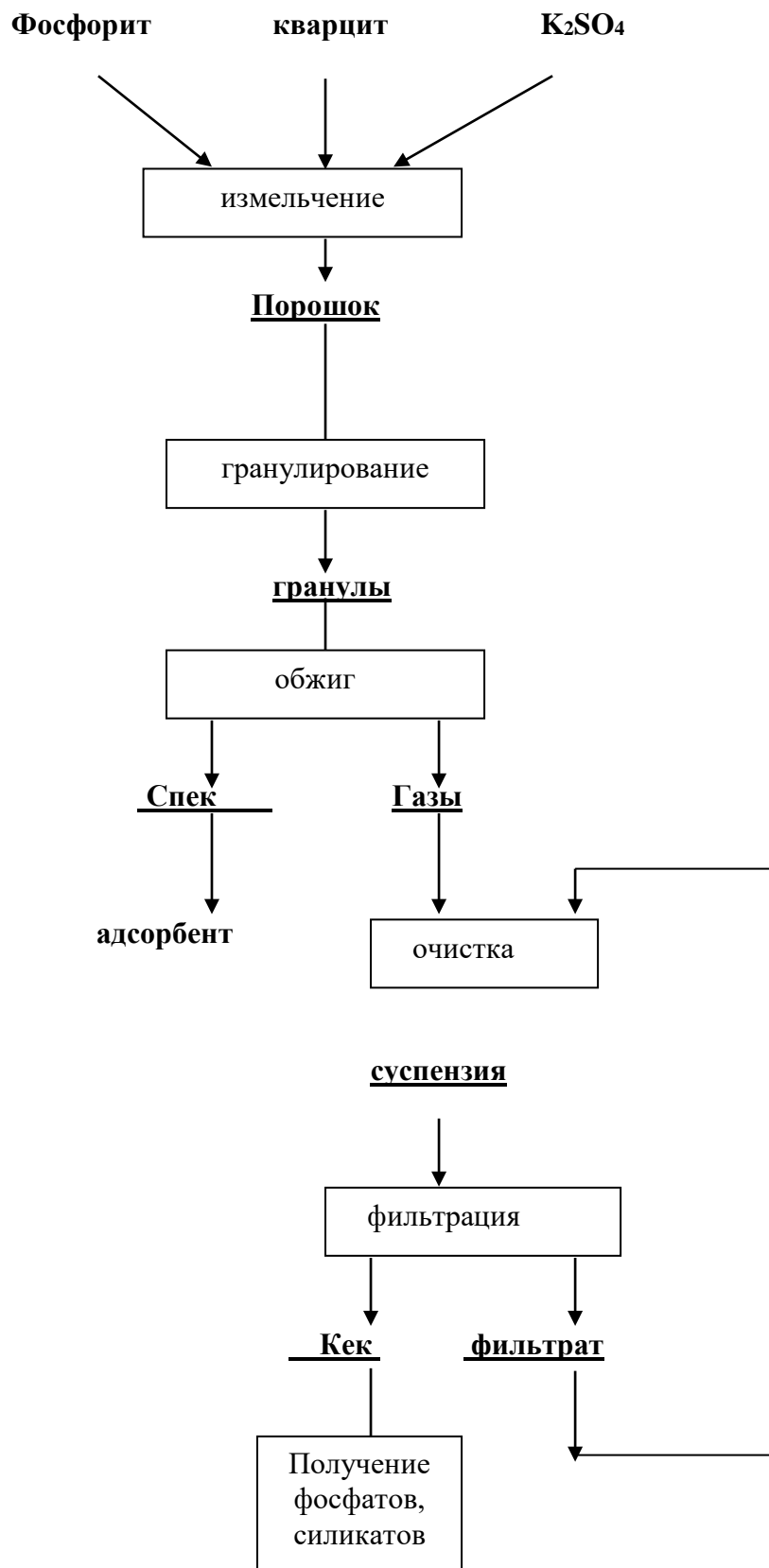


Рисунок 3 – Технологическая схема получения адсорбента

### **Литература**

1. Турсбекова Г.Ж. Современное состояние переработки некондиционного фосфорита. // Вестник КазНТУ. № 4.2006.С.170-175.
2. Казова Р.А., Турсбекова Г.Ж., Ирюков С.Ж. Термообработка фосфорита в присутствии силикатов. // Труды VIII-ой Международной конференции «Новое в БЖД (Экология)». Ч.II. КазНТУ. Алматы. 2006. С.139-146.

### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

1. Турсбекова Г.Ж. – старший преподаватель кафедры «Прикладная экология», КазНТУ им. К.И. Сатпаева; дом. тел.: +7(727) 3093096, сот.: 8777 296 22 80;

## Синтез хлоридов и сульфатов алюминия из нетрадиционного сырья

Усманов Р.С. ([Renat\\_Usm@mail.ru](mailto:Renat_Usm@mail.ru))

Россия, г. Москва, Институт Металлургии и  
Материаловедения им. АА. Байкова РАН

В связи с общим загрязнением окружающей среды одной из важнейших проблем в современном мире является очистка питьевых и сточных вод. В настоящее время в России для этой цели используются коагулянты на основе сульфата и гидроксохлорида алюминия. В развитых странах коагулянты получают преимущественно из природного вида сырья, глин и бокситов, в то время как в России для этой цели используется гидроксид алюминия, цены на который постоянно растут. Потребность в высокоэффективных коагулянтах для очистки питьевой воды исчисляется сотнями тысяч тонн в год. Поэтому поиск новой сырьевой базы для получения коагулянтов является актуальным. В качестве природного вида сырья предлагается использовать каолиновую глину Суворовского (Тульская область) и Канашского месторождений, а также пески Канашского месторождения Чувашской республики.

Исследованы химический и минералогический составы каолиновой глины Суворовского месторождения Тульской области. По своему химическому составу каолиновая глина содержит, %: 30,7-34,2  $Al_2O_3$ , 1,5-4,5  $Fe_2O_3$ , 47,5-50,8  $SiO_2$ , 0,1-2,0  $CaO$  и 7-17 П.П.П. Канашские пески характеризуются низким содержанием  $Al_2O_3$  – 7,89% и высоким содержанием оксида кремния  $SiO_2$  – 76,20%. Минералогический состав песка представлен в основном кварцем – 86% и плагиоклазом – 6%. В глине и песке практически нет таких вредных примесей как Sr, Cr, Cu, Be, Pb и др., которые могут оказать отрицательное влияние на состав полученных коагулянтов и загрязнять воду.

Основным минералом глины является каолинит, который без предварительного термического разложения инертен по отношению к кислотам. Предварительный обжиг свыше 500°C способствует повышению степени разложения минерала кислотами за счет удаления связанной воды и разрушения его структуры с переходом в химически активное состояние - метакаолинит. Метакаолинит – это химически не до конца оформленное соединение, представляющее собой конгломерат из химически связанного кислородного соединения алюминия и кремния. При дальнейшем повышении температуры обжига до 850°C и выше приводит к кристаллизации аморфных структур и образованию химически устойчивых соединений.

В наших исследованиях первоначально образцы глины прокаливали в муфельной печи, а затем прокаленные образцы разлагали серной или соляной кислотами с целью определения степени извлечения  $Al_2O_3$  и  $Fe_2O_3$  в раствор. Оптимальными условиями прокаливания при разложении соляной кислотой следует считать температуру 650-700°C, продолжительность – 60-90 мин. Степень извлечения в растворы соляной кислоты  $Al_2O_3$  в этих условиях составляет 76-78%, а степень извлечения  $Fe_2O_3$  – 73-75%.

В настоящее время широкое распространение получили хлорсодержащие соединения алюминия – гидроксохлориды алюминия различной основности, которые могут быть использованы на водах различной загрязненности. Для повышения основности гидроксохлорида алюминия можно использовать щелочные соединения натрия и кальция, а также металлургический алюминий. Одним из направлений исследований повышения основности является метод электролиза. В настоящее время ведется разработка этого метода в лабораторных условиях.

Проведены исследования по разложению канашских песков серной кислотой. С целью оптимальных условий перемешивания пульпы определено оптимальное соотношение т:ж в ней. При соотношении т:ж, близком к 1:1, в процессе перемешивания пульпы частички песка находятся во взвешенном состоянии. В условиях использования серной кислоты с

исходной концентрацией, равной 93,8%  $H_2SO_4$ , расчетная концентрация разбавленной кислоты должна составить около 20%. Температура пульпы при разложении песка серной кислотой составляла 80-85°C. Продолжительность разложения составляла 60 мин. Пульпу после перемешивания фильтровали под вакуумом. Выгрузка твердой фазы пульпы шлама была затруднена из-за быстрого оседания частиц песка. Промытый шлам сушили при температуре 120-125°C в течение 2 часов (до постоянного веса). Степень извлечения оксида алюминия из песка серной кислотой составила – 12,91%, оксида железа – 51,65%, оксида кальция – 58,75%.

Продукты разложения прокаленных глин и песков кислотами представляют собой сложную дисперсную систему. Эта система состоит из истинных растворов солей сульфатов или хлоридов алюминия и железа, коллоидных растворов кремниевых кислот и кремниевых солей и твердой фазы из частиц неразложившейся каолиновой глины (корунда, кварца, минералов железа). Разделение жидкой или твердой фаз является длительным процессом, поэтому для его интенсификации рекомендовано использовать синтетические высокомолекулярные соединения – флокулянты. Наиболее широкое распространение для этих целей в качестве флокулянта получил полиакриламид (ПАА).

Производство коагулянтов из каолиновой глины сопровождается выходом значительного количества кремнистого отхода, так называемого, сиштофа. Он составляет примерно 0,5 т на 1 т коагулянта. Учитывая это, следует наряду с проблемой производства коагулянтов решать вопросы утилизации отходов этого производства. Сиштоф образуется в виде рыхлой, влажной массы с содержанием воды свыше 40%. По этой причине перевозка его на значительные расстояния является нецелесообразной, в основном сиштоф должен перерабатываться на месте его производства. Наиболее естественный путь утилизации сиштофа – использование его в цементном, строительном, стекольном и керамическом производствах в качестве кремнезем- и глиноземсодержащего сырья.

Автор выражает благодарность зав. лаб. №21 проф., д.т.н. Лайнеру Ю.А. и с.н.с., к.т.н. Милькову Г.А. за научное руководство и оказанную консультативную помощь при выполнении данной работы.

#### **Список литературы:**

1. Запольский А.К., Баран А.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды. Ленинград, Химия, 1987, с. 204.
2. Лайнер Ю.А. Комплексная переработка алюминийсодержащего сырья кислотными способами. Москва, 1982, с. 208.
3. Лайнер Ю.А., Тужилин А.С., Усманов Р.С., Мильков Г.А., Киприянов Н.А. Получение коагулянтов из каолиновых глин Суворовского месторождения // XLVI Всероссийская конференция по проблемам математики, информатики, физики и химии. Тезисы докладов. Москва, 2010, с.40-41.
4. Усманов Р.С. Получение коагулянтов из бедного алюминийсодержащего сырья // VII Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов». Сборник материалов. Москва, 2010, с.437-439.