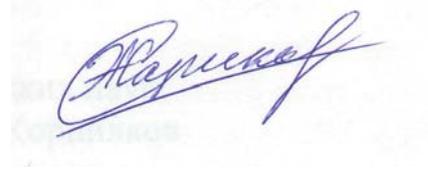


На правах рукописи

УДК 622. 233. 63. 051.78:622. 235. 527. 4



Жариков Сергей Николаевич

**ВЗАИМОСВЯЗЬ УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССОВ ШАРОШЕЧНОГО
БУРЕНИЯ И ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА
ГОРНЫХ ПОРОД**

Специальность 25.00.20 - «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Екатеринбург 2011

Работа выполнена в Институте горного дела Уральского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор С.В. Корнилков

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Ю. И. Лель

кандидат технических наук Ю.Ю. Пиленков

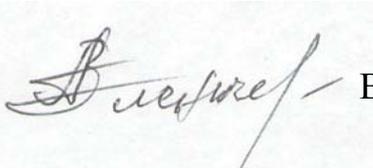
Ведущая организация – ОАО Институт «Уралгипроруда»

Защита состоится «24» марта 2011 года в «14.00» часов на заседании Диссертационного совета Д 004.010.01 в Институте горного дела УрО РАН по адресу: 620219, г. Екатеринбург, ГСП-936, ул. Мамина-Сибиряка, 58.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института горного дела УрО РАН.

Автореферат разослан «22» февраля 2011 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



В.М. Аленичев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Буровзрывные работы (БВР) являются первыми в цепи технологических процессов горного производства и в значительной мере определяют себестоимость добычи полезных ископаемых. На крупных карьерах затраты на БВР достигают 30% от общих затрат на добычу и ожидается их увеличение по мере понижения горных работ. Требования к БВР в этой связи неуклонно растут в части сокращения затрат, а параметры бурения и взрывания оптимизируются в зависимости от изменяющихся горнотехнических условий.

При планировании БВР требуется поддержание высокой производительности бурового станка и обеспечение установленного качества дробления горной массы при взрыве. Для решения этих задач массив горных пород характеризуется по буримости и взрываемости. Следует отметить, что в действующих классификациях эти характеристики горного массива не связаны между собой. При известной категории пород по буримости класс по взрываемости определить практически невозможно и наоборот. Вместе с тем, значительная анизотропия свойств горных пород обуславливает тот факт, что при проектировании БВР закладывается значительный резерв затрат на бурение и взрывание.

Изыскание путей снижения затрат на БВР связано с определением свойств горных пород в естественном залегании. Поэтому разработка экспресс-методик уточнения физико-механических свойств горных пород, их буримости и взрываемости является весьма актуальной задачей, имеющей высокую научно-практическую значимость.

Для повышения эффективности производства БВР требуется найти общий показатель трудности разрушения горных пород в процессах бурения и взрывания. Ввиду того, что механизмы разрушения пород в этих процессах различны, общий показатель трудности разрушения горного массива может быть установлен только через изучение взаимосвязи между энергетическими характеристиками указанных процессов, поскольку единственным фактором, их объединяющим, является энергия, которая тратится на разрушение горных пород.

Объект исследований – массив горных пород на карьере, подготавливаемый к разрушению буровзрывным способом.

Предмет исследований – взаимосвязь энергетических показателей разрушения горных пород при шарошечном бурении взрывных скважин и взрывании скважинных зарядов.

Цель работы – установление зависимости между удельными энергетическими характеристиками процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения горных пород на карьерах для повышения эффективности использования энергии взрыва.

Идея работы: установленная взаимосвязь удельных энергетических характеристик процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения горных пород позволяет оперативно корректировать величину удельного расхода ВВ по глубине взрывной скважины и в целом по блоку.

Защищаемые положения:

1. Удельная энергия обуривания 1 м^3 массива горных пород шарошечным способом ($\text{Дж}/\text{м}^3$) прямо пропорциональна удельной энергии его взрывного разрушения ($\text{Дж}/\text{м}^3$). Применительно к горным породам Главного карьера Качканарского ГОКа коэффициент пропорциональности в среднем составляет 6,23.
2. Рациональная величина удельного расхода ВВ по глубине взрывной скважины может быть установлена по измеряемым параметрам процесса бурения путём расчёта энергии обуривания 1 м^3 массива, взаимосвязанной с показателем трудности бурения и коэффициентом крепости горных пород.

Научная новизна результатов исследований:

1. Предложен единый показатель оценки энергозатрат на разрушение горных пород при бурении и взрывании.
2. Установлена прямая зависимость между удельными энергетическими характеристиками процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения горных пород на карьерах.
3. Разработана методика расчёта рационального веса заряда ВВ по каждой скважине взрывного блока на основе данных технологического бурения.
4. Предложена методика поэтапного исследования свойств горных пород при проектировании технологических взрывов на карьерах.

Практическое значение работы состоит:

- в возможности определения рациональных параметров зарядов ВВ по скважинам взрывного блока на основе данных о параметрах процесса технологического бурения,
- в снижении расхода ВВ и повышении производительности бурового оборудования на крупных карьерах,
- в определении физико-механических свойств локальных горных массивов и формировании модели изменения крепости горных пород по высоте уступа для корректировочных расчётов параметров БВР.

Задачи диссертационной работы:

1. Анализ теорий разрушения горных пород взрывом.
2. Оценка удельной энергии бурения горных пород шарошечным способом и их взрывного разрушения.
3. Исследование зависимости между удельными энергиями шарошечного бурения и взрывного разрушения горных пород в условиях горного предприятия.
4. Разработка методики расчёта рациональной массы взрывчатого вещества по глубине скважины на основе данных процесса бурения.

Методы исследований: обобщение и анализ научно-технической литературы, методы математической статистики, синтез, моделирование, натурный эксперимент.

Обоснованность и достоверность полученных результатов. Проведённые исследования основываются на положениях энергетической теории разрушения горных пород взрывом. Достоверность полученных результатов обеспечивается соответствием теории и практики буровых и взрывных работ, использованием

фактических отчётных данных предприятия, сходимостью экспериментальных данных с результатами теоретических исследований.

Личный вклад автора состоит:

- в обосновании единого показателя оценки энергозатрат на разрушение горных пород при бурении и взрывании ($\text{Дж}/\text{м}^3$),
- в доказательстве существования функциональной зависимости между удельными энергетическими характеристиками шарошечного бурения и взрывного разрушения горных пород на карьерах,
- в установлении корреляционной зависимости между энергоёмкостью обуривания и взрывного разрушения массива применительно к горным породам Главного карьера Качканарского ГОКа,
- в разработке методики корректировочного расчёта необходимой массы взрывчатого вещества по отметкам колонки заряда на основе характеристик процесса бурения технологической скважины.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю доктору технических наук, профессору Корнилку С.В., коллективу инженерно-технических работников ОАО «Ванадий», ОАО «Ураласбест» сотрудникам ИГД УрО РАН за поддержку, оказанную в период выполнения исследований и при подготовке данной работы.

Результаты работы базируются на исследованиях, проведённых на Главном карьере КГОКа, на отчётных данных Центрального карьера ОАО «Ураласбест» и на анализе научно-технической литературы по вопросу буримости и взрываемости горных пород на карьерах.

Апробация работы. Основные положения и содержание работы доложены на Международных конференциях «Неделя горняка» (Москва, 2007 г.), «Уральская школа - регионам» (Екатеринбург, 2009 г.), Российской молодёжной научно-практической конференции «Проблемы недропользования» (Екатеринбург, 2008, 2009, 2010 гг.), Научно-практической конференции «Перспективные направления совершенствования буровзрывных работ: оборудование и технологии буровых и взрывных работ при добыче твердых полезных ископаемых» (Екатеринбург, 2007 г.), Научно-практической конференции «Развитие ресурсосберегающих технологий во взрывном деле» (Екатеринбург, 2009 г.).

Публикации. Основные положения диссертационной работы представлены в 11 статьях, в том числе 5 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК России.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав и заключения общим объёмом 139 страниц, содержит 32 таблицы, 32 рисунка. Список использованных источников включает в себя 90 наименований.

В основу диссертационной работы положены результаты исследований выполненных в Институте горного дела УрО РАН в рамках НИР «Проблемы комплексного освоения недр Земли и новые технологии извлечения полезных ископаемых из минерального и техногенного сырья» (2007 г.); федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № 02.740.11.0317 (2009 г.)).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

По мере отработки месторождения для сокращения затрат на добычу параметры БВР совершенствуются согласно развитию научно-технического прогресса. В настоящее время для совершенствования параметров БВР на горных предприятиях проводятся научные исследования по следующим направлениям:

- технологии изготовления ВВ в местах потребления,
- свойства ВВ, изготавливаемых в местах потребления,
- схемы взрывания, средства инициирования и конструкции зарядов,
- методы проектирования взрывов в увязке с разрушаемой средой.

Большой вклад в исследования по разработке рецептур, технологии и техники изготовления эмульсионных ВВ и водосодержащих ВВ внесли академик РАН Н.В. Мельников; профессора, доктора технических наук Г.П. Демидюк, Б.Н. Кутузов, С.Д. Викторов, В.М. Закалинский, А.Н. Ханукаев, Е.Г. Баранов, Л.В. Дубнов, Э. И. Ефремов, Е.В. Колганов, В.А.Соснин; кандидаты технических наук В.П. Ветлужских, В.М. Павлютенков, А.С. Маторин, И.А. Чижов, В.Г. Шеменёв и другие.

В области совершенствования схем взрывания, средств инициирования и конструкций зарядов большой вклад внесли работы докторов технических наук С.Д. Викторова, В.М. Закалинского, В.М. Сенука, М.В. Корнилкова, А.И. Ермолаева, А.В. Гальянова, кандидатов технических наук Э.П. Артемьева, В.Н. Рождественского и других.

Развитие методов проектирования взрывов связано с именами академика В.В. Ржевского, докторов технических наук Б.Н. Кутузова, В.Н. Мосинца, а также с коллективами организаций СОЮЗВЗРЫВПРОМ и ГИПРОРУДА.

Контрольным технологическим показателем процесса взрывной подготовки горной массы к выемке, характеризующим взрываемость горных пород, является удельный расход ВВ. В зависимости от степени изученности свойств объекта разработки удельный расход ВВ в горных породах может быть определён по разным методикам. В таблице 1 представлены результаты анализа основных отечественных методик расчёта удельного расхода ВВ. В последнем столбце указаны результаты расчёта по приведённым методикам для верлитов Гусевогорского месторождения, характеристики которых: $\sigma_{сж}=137,3$ МПа; $\sigma_p \approx 14$ МПа; $\tau_{сд}=24$ МПа; $\gamma=3,3$ т/м³; расстояния между трещинами в массиве свыше 1,5 м; содержание в массиве класса отдельностей +1000 мм – 100%.

По каждому фактору, влияющему на удельный расход ВВ, определена доля учтённых переменных в приведённых методиках по отношению к максимальной доле фактора. Вычисленная доля фактора нормирована по отношению к единице. Таким образом, определена относительная важность каждой учтённой переменной.

При установлении к нормированной доле факторов степени важности в размере 10 % видно, что удельный расход ВВ более всего зависит от предела прочности на одноосное сжатие (крепость пород), размера отдельности в массиве (категория трещиноватости) и необходимой степени дробления.

Таблица 1 – Анализ методик расчёта проектного удельного расхода ВВ

Автор	Свойства горных пород					Свойства ВВ		Технологические параметры						Удельный расход ВВ для верлитов Гусевгорского месторождения, кг/м ³
	П. П. на сжатие	П. П. на растяжение	П. П. на сдвиг	Плотность горной породы	Размер отдельности в массиве	Теплота взрыва	Работа взрыва	Конструкция заряда и наклон скважины	Сетка скважин	Высота уступа	Свободные поверхности	Диаметр скважины	Необходимое дробление	
Ржевский В.В.[33]	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0,94
Ржевский В.В.[32]	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1,50
Мосинец В.Н.[34]	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1,15
Мосинец В.Н.[35]	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0,96
Кутузов Б.Н.[36]	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0,89
Кутузов Б.Н.[37]	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1,01
Кутузов Б.Н.[38]	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0,61
Союзвзрывпром[31]	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1,28
Гипроруда[31]	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1,60
Относительная доля фактора	0,78	0,44	0,33	0,67	1,00	0,67	0,67	0,56	0,11	0,44	0,22	0,67	1,00	
Нормированная доля фактора	0,10	0,06	0,04	0,09	0,13	0,09	0,09	0,07	0,01	0,06	0,03	0,09	0,13	
10%-ный барьер														
5%-ный барьер														

П.П. – предел прочности.

1 – наличие в расчётной формуле фактора.

0 – отсутствие фактора в расчётной формуле.

На самом деле при малой изученности свойств горного массива на начальных этапах разработки месторождения для расчёта параметров буровзрывных работ достаточно учитывать указанные факторы.

При установлении к нормированной доле факторов степени важности в размере 5 % видно, что при определении удельного расхода ВВ для конкретных условий более полно начинают учитываться свойства горных пород, свойства ВВ и технологические параметры. Таким образом, по мере отработки месторождения необходимо уточнять физико-механические свойства горных пород, уточнять и совершенствовать ВВ, анализировать условия взрывания и совершенствовать технологические параметры.

Следует отметить, что на горных предприятиях характеристики взрывчатых веществ и технологические параметры анализируются и контролируются в течение всего периода разработки. В то же время свойства горных пород для расчётов принимаются по усреднённым характеристикам, а также данным детальной и эксплуатационной разведки. Дополнительного исследования пород в подготавливаемом блоке не производится. Поэтому, при проектировании взрывов технологических блоков закладывается значительный резерв ВВ.

Таким образом, весьма трудной, но крайне важной задачей при проектировании взрывов является определение категории взрываемости горных пород, которую в настоящее время связывают с величиной удельного эталонного расхода ВВ, зависящего от физико-механических свойств горных пород. Проектный удельный расход ВВ рассчитывается на основе эталонного с учётом условий разработки конкретного месторождения – в расчёты вводятся специальные коэффициенты.

Проверочный расчёт по приведённым методикам показал, что удельный расход ВВ для верлитов Гусевогорского месторождения имеет значительный разброс (0,94 – 1,6 кг/м³). Фактически на верлитах Гусевогорского месторождения удельный расход графмонита 79/21 составляет 1,5 – 2,0 кг/м³, гранэмита ИЗО 1,9 – 2,35 кг/м³.

Таким образом, существующие методики определения взрываемости на основе эталонного расхода ВВ не полностью отвечают реальному состоянию горных пород в массиве. Поэтому на конкретном предприятии они требуют дополнения и уточнения.

Взрываемость горных пород также может определяться полной удельной работой взрыва, которую можно называть энергоёмкостью взрывного разрушения (по Тангаеву И.А.) или удельной энергией взрывного разрушения:

$$A = q_{\text{пр}} \cdot Q_{\text{уд}} = \frac{m_{\text{вв}} \cdot Q_{\text{уд}}}{V}, \text{ Дж/м}^3 \quad (1)$$

где: $q_{\text{пр}}$ – проектный удельный расход ВВ; $Q_{\text{уд}}$ – удельная теплота взрыва на 1 кг ВВ, МДж/кг; $m_{\text{вв}}$ – масса ВВ, кг; V – объём взрывающей горной массы, м³.

Для оценки удельной энергии на взрывное разрушение в качестве объекта, выбран диаллаговый пироксенит Гусевогорского месторождения.

Средние характеристики этой горной породы и величина удельного расхода ВВ, указанная в типовом проекте БВР, представлены в таблице 2. Энергоёмкость взрывного разрушения рассчитана для нескольких ВВ по выражению (1). Результаты расчёта представлены в таблице 3. Удельный расход других ВВ рассчитан на основе удельного расхода гранэмита И30 через коэффициенты работоспособности разных ВВ по отношению к граммониту 79/21.

Таблица 2 – Характеристики диаллагового пироксенита Гусевогорского месторождения и удельный расход ВВ

Тип горной породы	Характеристики горной породы		
	$\sigma_{сж}$, МПа	Коэф. креп. f	Удельный расход гранэмита И30, кг/м ³
Пироксенит диаллаговый (ср. плотность 3,2 т/м ³)			
Сильно выветрелый	80	8	0,72
Значительно выветрелый	100	10	0,96
Средне- и крупнозернистый	120	12	1,2
Мелкозернистый	130	13	1,38
Тонкозернистый	140	14	1,51

Таблица 3 – Энергоёмкость взрывного разрушения диаллагового пироксенита Гусевогорского месторождения разными ВВ

Пироксенит диаллаговый	Взрывчатое вещество							
	гранэмит И30		граммонит 79/21		ифзанит Т-80		алюмотол	
	$q_{пр}$, кг/м ³	A , кДж/м ³	$q_{пр}$, кг/м ³	A , кДж/м ³	$q_{пр}$, кг/м ³	A , кДж/м ³	$q_{пр}$, кг/м ³	A , кДж/м ³
Сильно выветрелый	0,72	1944,0	0,60	2136,6	0,65	2144,9	0,50	2124,5
Значительно выветрелый	0,96	2592,0	0,80	2848,8	0,86	2859,8	0,66	2832,6
Средне- и крупнозернистый	1,2	3240,0	1,00	3561,0	1,08	3574,8	0,83	3540,8
Мелкозернистый	1,38	3726,0	1,15	4095,1	1,24	4111,0	0,95	4071,9
Тонкозернистый	1,51	4077,0	1,26	4480,9	1,36	4498,3	1,04	4455,5

Из представленных таблиц следует, что одна горная порода может иметь достаточно широкую анизотропию своих свойств, что отражается на её взрываемости и, как следствие, величина требуемого удельного расхода ВВ может находиться в достаточно широком диапазоне значений. Этот факт указывает на огромную значимость определения реальной взрываемости горных пород в подготавливаемом к взрыву блоке.

В результате сопоставления удельного расхода ВВ и удельной энергии взрыва в породе разной крепости получены диаграммы, представленные на рисунках 1 и 2.

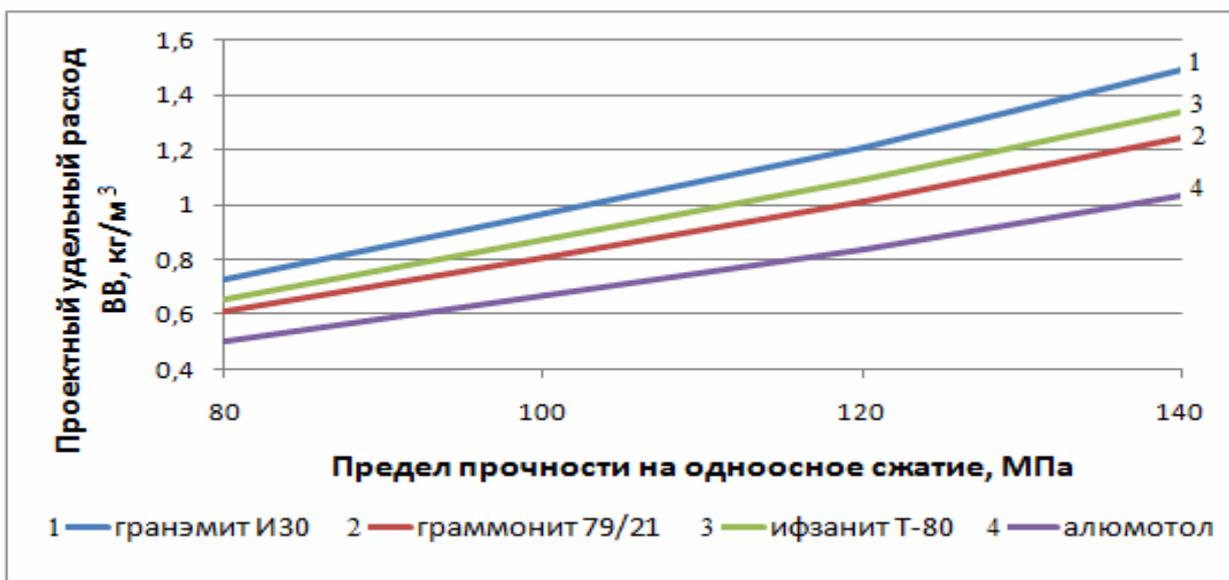


Рисунок 1 – Изменение удельного расхода разных ВВ в диаллаговом пироксените Гусевогорского месторождения

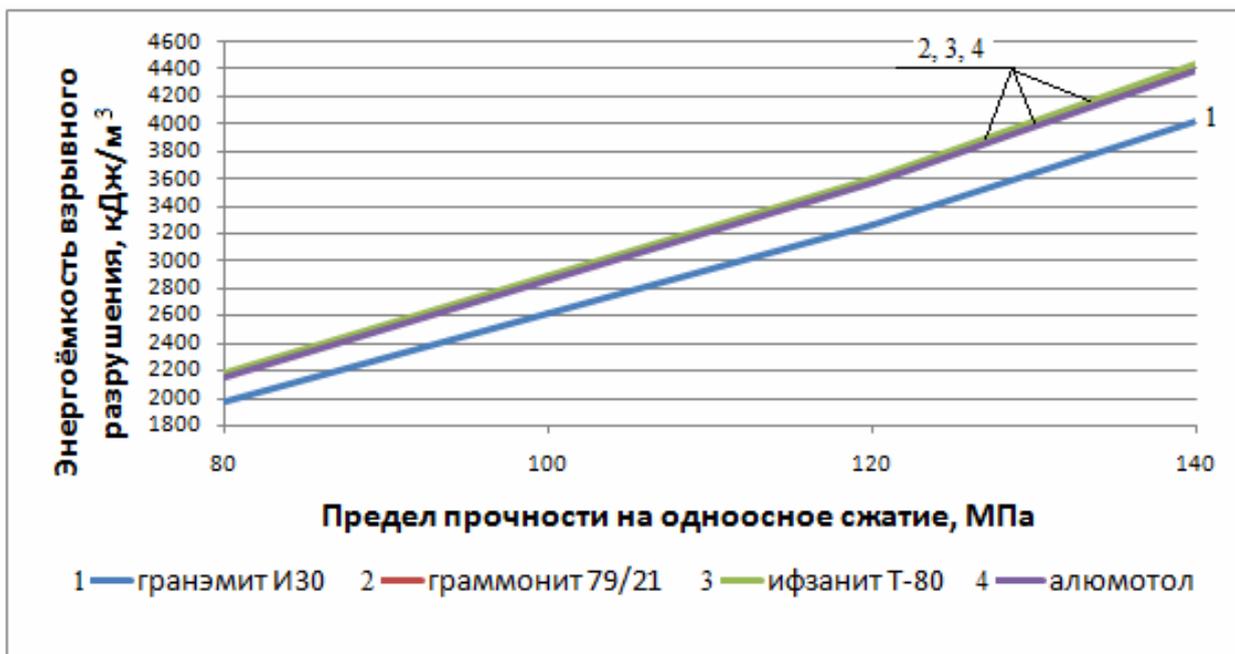


Рисунок 2 – Изменение энергоёмкости взрывного разрушения в диаллаговом пироксените Гусевогорского месторождения

Из графиков на рисунках 1 и 2 следует, что, несмотря на отличающийся удельный расход разных ВВ в горной породе, энергоёмкость взрывного разрушения граммонита 79/21, ифзанита Т-80 и алюмотола практически одинаковая. Несмотря на самый высокий удельный расход ВВ у гранэмита И30, энергоёмкость взрывного разрушения у него самая низкая. Результаты исследования показывают, что при одинаковом дроблении выбор ВВ для разрушения горных пород обусловлен не только величиной удельного расхода ВВ, но и энергией взрыва.

Таким образом, удельная энергия взрывного разрушения является количественной характеристикой процесса и вполне отражает трудность разрушения горных пород при взрыве, т. е. их взрываемость, поэтому в качестве энергетической характеристики процесса принята эта величина.

Производительность шарошечных станков и энергоёмкость бурения взрывных скважин зависят от конструктивных особенностей оборудования, бурового инструмента и организации непосредственно самого процесса.

Большой вклад в разработку конструкций отечественных станков шарошечного бурения, доводку их до серийного выпуска и модернизацию внесли следующие ведущие конструкторы и ученые: А.А. Вункерт, А.М. Кузовлев, В.М. Мороз, Ю.А. Нанкин, И.Э. Наринский, Р.А. Румянцев, Б.А. Симкин, Г.С. Филиппов, В.Д. Чугунов и др.

Большой вклад в разработку и совершенствование конструкций горно-рудных шарошечных долот внесли: М.Г. Абрамсон, Т.Г. Агошашвили, В.А. Бирман, И.М. Бирюков, Р.М. Богомоллов, М.И. Оноцкий, Г.С. Филиппов, В.П. Якимов и многие другие.

Совершенствование и организация буровых работ связана с именами Т.Г. Агошашвили, В.А. Бирмана, В.Д. Буткина, Ю.Е. Владиславлева, Л.П. Константинова, Г.М. Крюкова, Б.Н. Кутузова, И.Г. Михеева, И.Э. Наринского, Г.М. Осипова, А.А. Перегудова, Н.Г. Родионова, Б.А. Симкина, Р.И. Сухова, И.А. Тангаева, А.А. Трусова, В.Г. Хантеева и др.

Проведённый анализ по вопросу совершенствования буровых работ на карьерах позволяет сделать вывод, что повышение эффективности процесса бурения взрывных скважин связано с уточнением физико-механических свойств горных пород в условиях разработки месторождения. Прогнозирование категории буримости пород при планировании работ является важным элементом организации процесса, который позволяет рационально использовать ресурсы бурового станка. В настоящее время буримость горных пород определяется средней механической скоростью бурения 1 м скважины. В зависимости от её величины породы разделяются на категории по буримости. Для прогнозирования буримости пород в России проводились исследования по поиску зависимости механической скорости бурения от физико-механических свойств горных пород, в результате которых между категорией буримости по шкале ЦБНТ и коэффициентом крепости Протоdjeяконова М.М. определена следующая связь:

$$K_{\text{снв}} \approx f + 4 \quad (2)$$

где: $K_{\text{снв}}$ – категория горной породы по ЦБНТ, f – коэффициент крепости.

Значения физико-механических свойств пород на разных участках горного массива могут отличаться от значений, полученных по керну геологоразведочных скважин, поэтому прогнозирование изменения крепости пород влечёт за собой развитие методов технологического картирования горного массива и методов экспрессного исследования свойств пород в технологических блоках. Наиболее универсальным подходом к прогнозированию крепости массива является анализ результатов уже

произведённого бурения взрывных скважин. Установление по данным бурения реальных свойств пород и интерполирование или экстраполирование полученных результатов на соседние участки карьерного поля. При данном подходе особого внимания заслуживает вопрос о том, какие параметры процесса бурения и в какой мере отражают состояние обуриваемых пород.

Тангаевым И.А. в 70-х годах прошлого века было доказано, что состояние горных пород в естественном залегании наиболее точно характеризуется энергоёмкостью процесса бурения, которая определяется мощностью вращателя и скоростью проходки скважины.

$$e = \frac{N}{v} \quad (3)$$

где: e – энергоёмкость бурения 1 м скважины по Тангаеву И.А., Дж/м; N – мощность вращателя, кВт; v – скорость бурения, м/ч.

$$N = 2\pi \cdot 10^{-3} \cdot M_{кр} \cdot n \cdot \eta^{-1} \quad (4)$$

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

$$M_{кр} = 2,84 \cdot k_1 \cdot D \cdot (0,22 \cdot P_o)^m \quad (5)$$

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

В результате исследований, описанных в трудах Тангаева И.А., были получены сопоставительные таблицы энергоёмкости бурения (Дж/м) в породах различной крепости и категорий буримости по шкале ЦБНТ. В развитие указанных исследований проведено сопоставление энергий на разрушение при бурении и взрывании горных пород. В качестве объекта выбран диаллаговый пироксенит Гусевогорского месторождения.

Для того, чтобы рассчитать энергоёмкость шарошечного бурения 1 м скважины при разном диаметре долота, использованы выражения (3) – (6) и номограмма Симкина Б.А.

$$v = \frac{P_o \cdot n^{0,8}}{P_б^{1,6} \cdot D}, \text{ м/ч} \quad (6)$$

где: P_o – осевое усилие, кН; n – частота вращения, мин⁻¹; $P_б$ – показатель трудности бурения Ржевского В.В.; D – диаметр долота, см

$$P_б = 0,07(\sigma_{сж} + \sigma_{сд} + 10\gamma) \quad (7)$$

где: $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие, МПа; $\sigma_{сд}$ – предел прочности породы на сдвиг, МПа; γ – плотность горной массы, т/м³.

Удельная энергия взрывного разрушения пород определялась для следующих взрывчатых веществ: гранэмит И30, граммонит 79/21, ифзанит Т80, алюмотол. На рисунке 3 представлены зависимости изменения энергоёмкости бурения при разном диаметре долота в зависимости от

энергоёмкости взрывного разрушения эмульсионным взрывчатым веществом (ЭВВ) гранэмит И30.

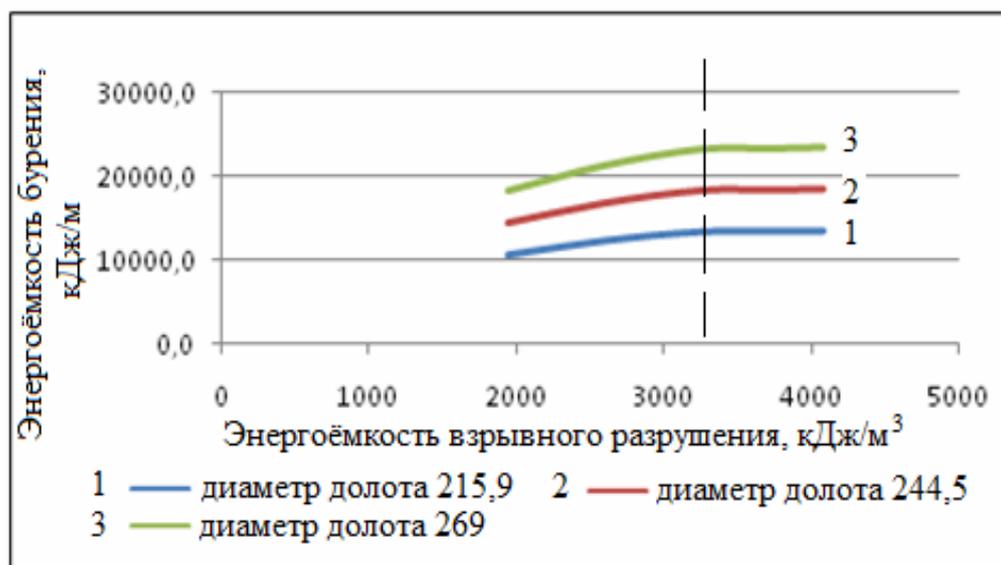


Рисунок 3 – Зависимость между энергоёмкостью шарошечного бурения и взрывного разрушения гранэмитом И30 при разном диаметре долота

Аналогичные графики были получены для других ВВ. Характер зависимостей на всех диаграммах такой же, как и на рисунке 3, со смещением графиков вдоль горизонтальной оси.

В результате исследований установлено, что между указанными энергетическими показателями процессов разрушения пород существует достаточно устойчивая связь, при этом диаметр долота и тип ВВ не влияют на общий характер зависимости. Однако из графиков на рисунке 3 следует, что энергоёмкость бурения до определённого значения растёт, а потом является постоянной. В то же время энергоёмкость взрывного разрушения продолжает увеличиваться. Значение (А) в этой точке перехода 3200 кДж/м³, что соответствует породе с коэффициентом крепости 12. Объяснение этому следующее. В процессе бурения при попадании долота на более крепкие включения горных пород часто требуется снижать осевое усилие и обороты, при этом падает скорость бурения. Универсальность показателя энергоёмкости бурения, с одной стороны, как раз и заключается в том, что с падением скорости бурения пропорционально изменяется момент вращения и, следовательно, мощность, потребляемая на вращателе. Поэтому сам энергетический показатель не чувствителен к этому фактору. С другой стороны, параметры процесса бурения в крепких породах близки к паспортным величинам, следовательно, даже при значительной перемежаемости пород энергоёмкость бурения соответствует их средней крепости и практически постоянна. Этот факт не позволяет по энергоёмкости бурения (e) в крепких горных породах достаточно точно определить необходимую величину удельного расхода ВВ.

Таким образом, энергоёмкость бурения 1 м (по Тангаеву) может быть использована при проектировании взрывов в породах с коэффициентом крепости до 12. Для проектирования взрывов в более крепких породах энергетический показатель процесса шарошечного бурения требуется уточнить.

Зависимость между удельными энергетическими характеристиками процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения горных пород должна находиться в соответствии с параметрами этих процессов, взаимосвязь между которыми описывается следующим образом:

$$Q_{\text{вв}} = q_{\text{пр}} \cdot V \quad (8)$$

где: $Q_{\text{вв}}$ – расход ВВ на блок, кг; $q_{\text{пр}}$ – проектный расход ВВ, кг/м³; V – объём взрывааемого блока, м³.

$$V = q_{\text{ГМ}} \cdot L \quad (9)$$

где: $q_{\text{ГМ}}$ – выход горной массы с одного погонного метра скважины, м³; L – количество пробуренных погонных метров для взрывания заданного объёма горной массы, м.

Следовательно расход ВВ на блок можно определить следующим образом:

$$Q_{\text{вв}} = q_{\text{пр}} \cdot q_{\text{ГМ}} \cdot L \quad (10)$$

отсюда следует

$$q_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{вв}}}{q_{\text{ГМ}} \cdot L} \quad (11)$$

Таким образом, удельный расход ВВ и выход горной массы с погонного метра скважины обратно пропорциональны.

$$q_{\text{пр}} \sim \frac{1}{q_{\text{ГМ}}} \quad (12)$$

С учётом указанных зависимостей произведён анализ показателей БВР на Главном карьере Качканарского ГОКа (2006 год) и Центральном карьере ОАО «Ураласбест» (первое полугодие 2006 г.). Размерность удельного расхода ВВ кг/м³, выхода горной массы м³/м. В обратной пропорции размерности удельного расхода ВВ кг/м³, выхода горной массы м/м³. Если взять значение $q_{\text{ГМ}}$ в минус первой степени (м/м³), то обратная пропорциональность (см. выражение (12)) будет отражена движением графиков в одну сторону.

Результаты анализа фактического выхода горной массы с 1 погонного метра скважины и удельного расхода ВВ на указанных карьерах представлены на рисунках 4 и 5. Из диаграмм следует, что на асбестовском карьере обратная пропорциональность $q_{\text{пр}}$ и $q_{\text{ГМ}}$ отмечается реже, чем на качканарском. Однако, общая динамика на рисунках 4 и 5 соответствует физическому смыслу выражения (10) и подтверждает справедливость выражения (12).

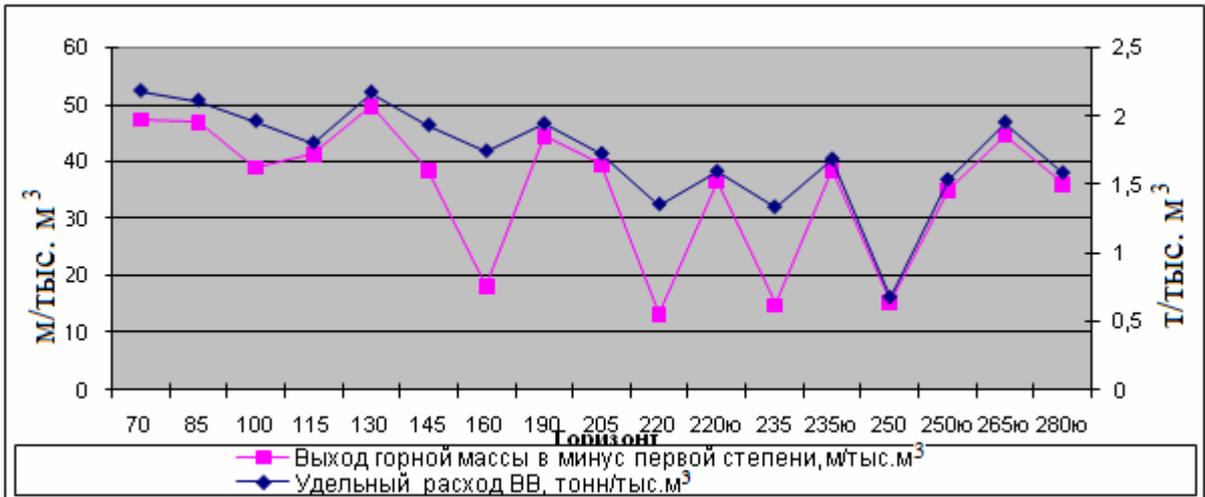


Рисунок 4 – Изменение удельных показателей бурения и взрывания по горизонтам Главного карьера КГОКа

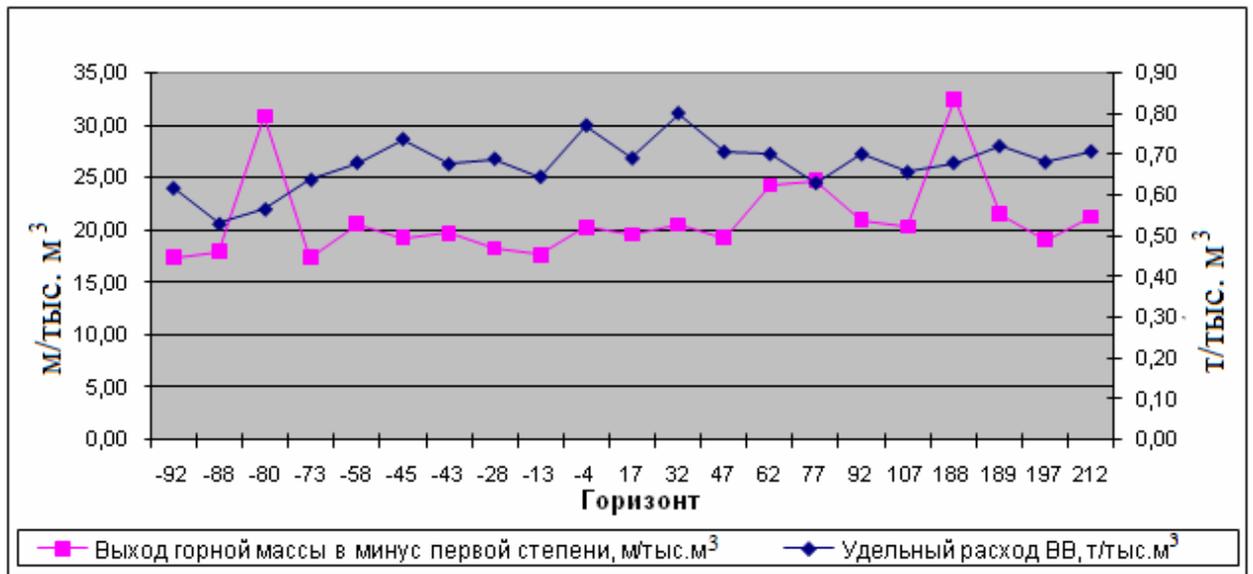


Рисунок 5 – Изменение удельных показателей бурения и взрывания по горизонтам Центрального карьера ОАО «Ураласбест»

Таким образом, соблюдается принцип обратной пропорциональности между удельным расходом ВВ и выходом горной массы с погонного метра скважины при производстве БВР. Следовательно, энергетические характеристики процессов разрушения горных пород при бурении и взрывании тоже должны быть пропорциональны.

Удельный расход ВВ отражает энергию взрывного разрушения.

$$q_{np} = \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] \rightarrow \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} \right] \quad (13)$$

Выход горной массы с 1 м скважины косвенно отражает энергию бурения.

$$\frac{1}{q_{GM}} = \left[\frac{\text{м}}{\text{м}^3} \right] \rightarrow \text{энергия бурения} \left[\frac{\text{Дж}}{?} \right] \quad (14)$$

Таким образом, выход горной массы в минус первой степени (м/м^3) выражает «расход бурения» на тот же объём что и расход ВВ. Поэтому удельным расходом ВВ определяются расстояния между скважинами. Следовательно, уточнение удельного расхода ВВ по данным бурения должно производиться с учётом этих расстояний. Тогда удельная энергия бурения должна определяться как Дж/м^3 .

Учитывая результаты ранее проведённых исследований в данном направлении, предлагается в качестве энергетической характеристики процесса шарошечного бурения использовать новый показатель, который назван «удельная энергия обуривания 1 м^3 массива горных пород»:

$$E = \frac{N \cdot t}{q_{ГМ}}, \text{ Дж/м}^3 \quad (15)$$

где: $q_{ГМ}$ – выход горной массы с 1 м скважины, м^3 ; t – среднее время бурения 1 м , ч; N – мощность, потребляемая двигателем вращателя, Вт.

Тогда, удельные энергии бурения и взрывного разрушения имеют одинаковую размерность.

$$A = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} \right] \leftrightarrow E = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} \right] \quad (16)$$

отсюда следует

$$A \sim E \quad (17)$$

Таким образом, удельные энергии обуривания и взрывного разрушения 1 м^3 массива горных пород прямо пропорциональны.

Функциональная зависимость между этими характеристиками процессов должна указывать на то, как меняется противодействие пород разрушению в конкретных условиях залегания массива. При отнесении энергоёмкости взрывного разрушения (см. выражение (1)) к удельной энергии обуривания (см. выражение (15)), можно установить для конкретных условий, на сколько большую работу нужно проделать взрыву, чем работа при бурении в 1 м^3 горного массива. Для отдельного типа породы это выражается следующим образом:

$$\frac{A_i}{E_i} = \Pi_i \quad (18)$$

где: A_i – энергоёмкость взрывного разрушения i -й породы, E_i – удельная энергия обуривания i -й породы, Π_i – показатель учитывающий отношение удельных энергий взрывания и обуривания для i -й породы (коэффициент пропорциональности).

Если для конкретной породы определить Π_i , то по измеряемой в дальнейшем удельной энергии обуривания можно вычислять удельный расход ВВ (см выражение (1)).

Выражение (18) было подтверждено в результате исследований на Главном карьере Качканарского ГОКа. Период исследований составлял один

год. Удельная энергия обруивания (E) и удельная энергия взрывного разрушения (A) определялись как средние по взорванному блоку на основе проектов технологических взрывов, маркшейдерских замеров и геологической документации по карьере. Результаты представлены на рисунке 6, точки на диаграмме отражают технологические блоки, обруенные и взорванные за период исследований.



Рисунок 6 – Зависимость удельной энергии взрывного разрушения от удельной энергии обруивания в условиях Главного карьера КГОКа

Установленная зависимость между удельной энергией обруивания и взрывного разрушения на Главном карьере КГОКа имеет вид:

$$A=6,23 \cdot E \quad (19)$$

При этом коэффициент корреляции составляет 0,81.

Таким образом, в условиях Главного карьера Качканарского ГОКа прямая пропорциональность удельной энергии обруивания и взрывного разрушения (см. выражение (18)) подтверждается, что является доказательством первого защищаемого положения. Средний коэффициент пропорциональности для пород карьера $\Pi=6,23$.

Для уточнения удельного расхода ВВ по глубине технологических скважин среднего коэффициента Π не достаточно, необходимо устанавливать его значения для отдельных типов горных пород. Для этого параметры процесса бурения скважин должны сопоставляться с физико-механическими свойствами горных пород. При этом может быть использована следующая зависимость (изменённая форма выражения (6)):

$$\Pi_6 = \left(\frac{P_o \cdot n^{0,8}}{\nu \cdot D} \right)^{0,625} \quad (20)$$

Установив для конкретного предприятия зависимость коэффициента крепости Протодяконова М.М.(f) от показателя трудности бурения Ржевского В.В.(Π_6), можно определять крепость пород во взрываемом блоке

по данным бурения технологических скважин. Для горных пород Главного карьера КГОКа эта зависимость установлена и имеет вид:

$$P_{\sigma} = 0,968 \cdot f \quad (21)$$

Коэффициент корреляции составляет 0,97.

На основании вышеуказанных положений разработана методика определения прочностных свойств пород по высоте уступа на основании хронометража и текущих параметров процесса бурения (механической скорости бурения, осевого усилия и частоты вращения бурового става). Определение массы заряда в скважинах по методике показано на рисунке 7.

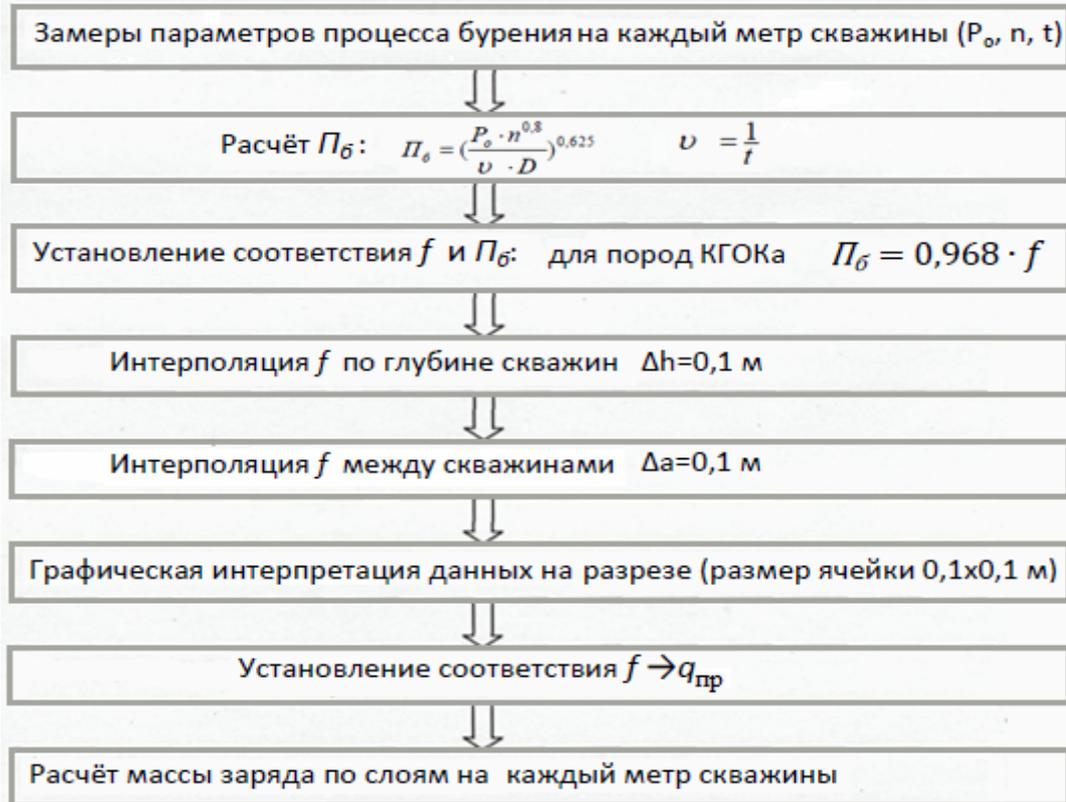


Рисунок 7 – Порядок определения массы заряда в скважинах.

В результате исследований на Главном карьере КГОКа получен ряд цифровых моделей распределения крепости горных пород по высоте уступа. Одна из моделей по строчке скважин показана на рисунке 8. В результате такого моделирования установлено, что под воздействием предыдущих взрывов развивается техногенная нарушенность массива: при тыльном действии взрыва – на глубину 4 – 5,5 м; в зоне перебура – на глубину (0,35 – 0,6)H_у. На основании полученных моделей для двух горных пород определён коэффициент пропорциональности Π между (E) и (A) который составляет: нерудный оливиновый пироксенит 3,62 – 4,54; нерудный диаллаговый пироксенит 4,02. Это позволяет использовать в этих породах зависимость между удельными энергетическими характеристиками процессов для корректировки параметров зарядов ВВ во взрывных скважинах.

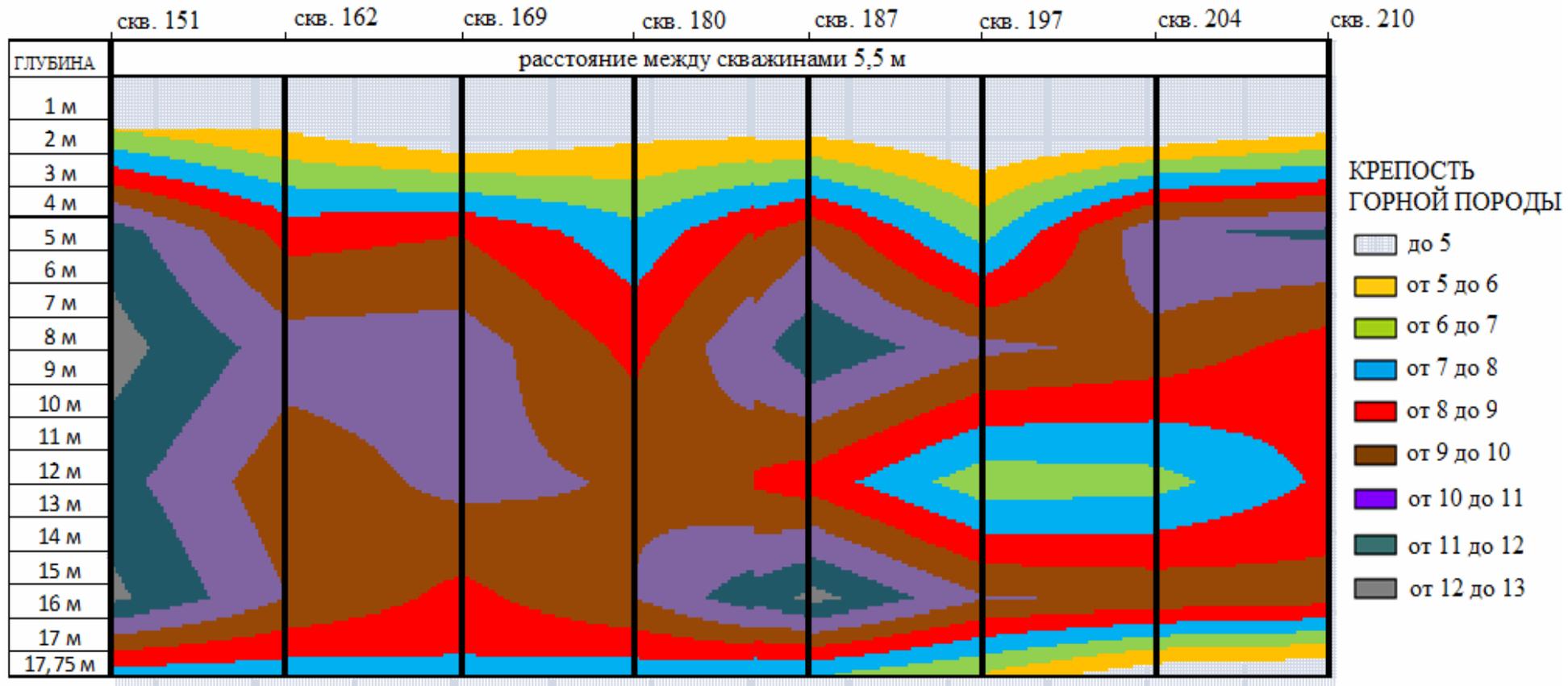


Рисунок 8 – Изменение крепости горной породы на участке блока № 3334 (технологические скважины № 151 – 210)

Из представленной на рисунке 8 модели следует, что порода в верхней части уступа имеет малую крепость, что является результатом воздействия предыдущего взрыва. Неравномерность этого воздействия обусловлена трещиноватостью массива, количественной характеристики которой приведённая модель не даёт. Однако, наличие перепадов в крепости позволяет установить область, где возможно её изменение (увеличение). В любом случае, на этих участках целесообразно уменьшить массу заряда. Принципиальная схема определения удельного расхода ВВ по данным цифровой модели показана на рисунке 9.

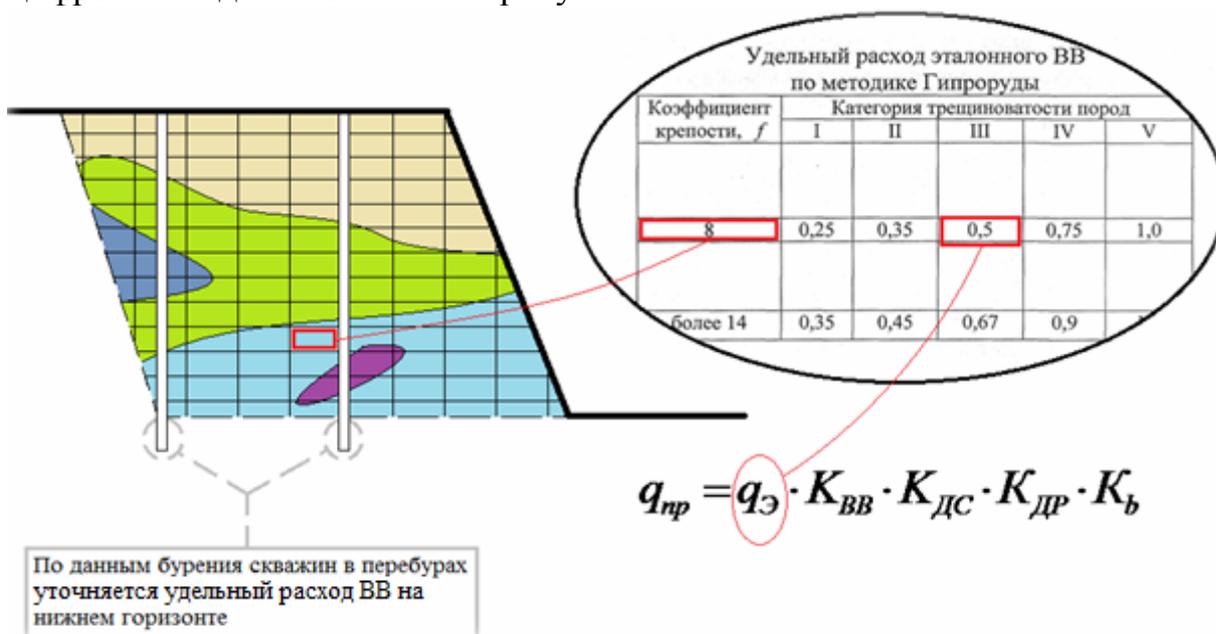


Рисунок 9 – Схема определения удельного расхода ВВ по данным цифровой модели

Таким образом, моделирование крепости пород по высоте уступа позволяет разбить массив на ячейки и для каждой ячейки определить удельный расход ВВ, а потом скорректировать его значение по слоям и в целом по блоку.

Для скважин представленной на рисунке 8 цифровой модели рассчитан вес заряда, и произведено сравнение полученных результатов с результатами расчётов для этих скважин по Типовому проекту БВР на Качканарском ГОКе (таблица 4). Удельный расход ВВ рассчитан по формуле Гипроруды. Категория трещиноватости породы – III. Коэффициенты к проектному удельному расходу ВВ следующие: коэф., работоспособности гранэмит И30 по отношению к эталонному (граммонит 79/21) $K_{ВВ} = 1,2$; коэф., учитывающий диаметр скважин, при $D = 250$ мм $K_{ДС} = 1,0$; коэф., учитывающий требуемую степень дробления пород, при $d_k = 350-400$ мм $K_{ДР} = 1,53$; коэф., учитывающий угол наклона скважины $K_b = 1,0$.

Таблица 4 – Результаты расчёта веса зарядов ВВ в скважинах по двум разным методикам

№ скважины (блок № 3334)	Расчёт веса заряда по данным хронометража бурения, кг	Расчёт веса заряда в соответствии с Типовым проектом БВР на карьерах КГОКа, кг
151	645,9	691,8
162	506,6	691,8
169	525,3	691,8
180	474,5	691,8
187	584,9	691,8
197	553,1	691,8
204	495,6	691,8
210	510,7	691,8
Итого по строчке, кг	4296,6	5534,4

Из таблицы 4 следует, что исследование физико-механических свойств горных пород по результатам бурения взрывных скважин позволяет на отдельных участках карьера уменьшить расход ВВ. В приведённом случае размер сокращения ВВ в строчке скважин равен 22 %.

Таким образом, рациональная величина удельного расхода ВВ по глубине взрывной скважины может быть установлена по измеряемым параметрам процесса бурения путём расчёта энергии обуривания 1 м³ массива, взаимосвязанной с показателем трудности бурения и коэффициентом крепости горных пород.

Основные положения методики экспрессного исследования физико-механических свойств горных пород для определения рациональных параметров БВР в технологическом блоке сводятся к следующему. Физико-механические свойства пород на разных участках карьера могут иметь по значениям значительный разброс, поэтому при проектировании БВР предлагается их уточнять в три этапа согласно схеме на рисунке 10.

Первый этап представляет собой составление технологических карт пород карьера по буримости, взрываемости, трещиноватости и определение на их основе соответствующих характеристик горного массива в выемочном блоке.

На втором этапе производится уточнение плотности пород и предела прочности на сжатие методом сейсмометрии. По результатам геофизического исследования определяются первоначальные параметры БВР. В ИГД УрО РАН разработана соответствующая методика, позволяющая определять прочностные свойства пород на глубине залегания до 20 м.

На третьем этапе по измеренным данным бурения скважин уточняется фактическая крепость пород в блоке. Составляются соответствующие цифровые модели. Производится корректировочный расчёт веса зарядов ВВ по каждой технологической скважине выемочного блока.

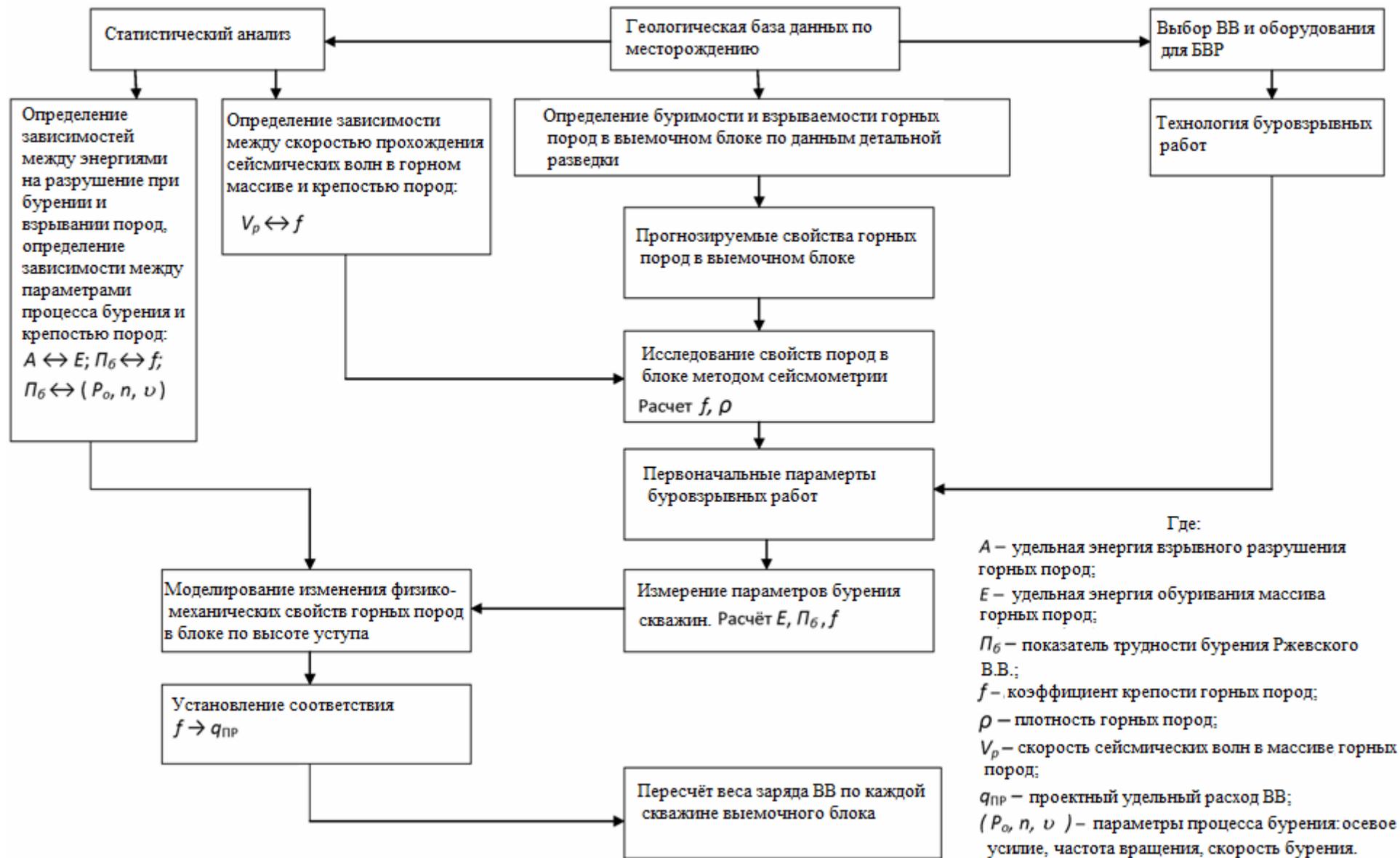


Рисунок 10 – Схема поэтапного исследования физико-механических свойств горных пород во взрывном блоке при определении параметров зарядов ВВ по каждой технологической скважине.

Таким образом, принцип поэтапного исследования физико-механических свойств горных пород при проектировании технологических взрывов позволяет получать более точную информацию о состоянии горного массива и соответственно подбирать наиболее рациональные параметры скважинных зарядов ВВ. Для реализации исследований согласно указанной схеме необходимо специальное оборудование, требования к которому представлены в диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу. В ней на основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований даётся решение актуальной задачи использования данных о параметрах процесса шарошечного бурения для уточнения в технологических скважинах по глубине удельного расхода ВВ. Данная задача решена на основании исследования зависимости между энергетическими характеристиками процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения горных пород.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации работы заключаются в следующем:

1. Установлена функциональная зависимость между удельной энергией обуривания 1 м^3 массива горных пород на карьерах и удельной энергией его взрывного разрушения, которая имеет вид прямой пропорции. Для горных пород Главного карьера Качканарского ГОКа средний коэффициент пропорциональности составляет 6,23. Для нерудных пироксенитов: оливинового 3,62 – 4,54, диаллагового – 4,02.
2. Рациональная величина удельного расхода ВВ по глубине взрывной скважины может быть установлена по измеряемым параметрам процесса бурения путём расчёта энергии обуривания 1 м^3 массива, взаимосвязанной с показателем трудности бурения и коэффициентом крепости горных пород.
3. Разработана методика исследования физико-механических свойств пород по данным бурения взрывных скважин, которая позволяет строить цифровые модели распределения крепости горных пород по высоте уступа. В результате моделирования крепости пород на исследуемых участках Главного карьера КГОКа установлено, что под воздействием предыдущих взрывов развивается техногенная нарушенность массива: при тыльном действии взрыва на глубину 4 – 5,5 м; в зоне перебура на глубину (0,35 – 0,6) высоты уступа. Полученные данные согласуются с научными исследованиями ИГД УрО РАН.
4. Исследование физико-механических свойств горных пород по результатам бурения взрывных скважин позволяет на отдельных участках карьера уменьшить расход ВВ на первичное дробление пород до 20 – 22%.

5. Для повышения эффективности использования энергии взрыва при БВР на карьерах предложена методика поэтапного исследования физико-механических свойств горных пород. На первом этапе по геологической документации производится геометризация пород карьера и в подготавливаемом блоке определяются их категории буримости, трещиноватости и классы взрываемости. На втором этапе уточняется крепость горных пород в блоке методом сейсмометрии и определяются первоначальные параметры БВР. На третьем этапе по измеренным данным бурения взрывных скважин (осевому усилию, частоте вращения, скорости бурения, мощности вращателя по каждому метру скважины) уточняется фактическая крепость горных пород в блоке и по каждой скважине производится корректировочный расчёт веса заряда ВВ.
6. Результаты работы указывают на целесообразность проведения ряда научно-исследовательских и конструкторских работ, которые заключаются в разработке: взрывчатых веществ и смесительно-зарядных машин для буровзрывных работ на карьерах, позволяющих создавать многоуровневую плотность взрывчатого вещества в столбе скважинного заряда (обеспечивать необходимую массу взрывчатого вещества на заданной отметке глубины скважины); электронных систем контроля и управления процессом бурения технологических скважин на карьерах; систем автоматизированного расчёта параметров БВР.
7. Результаты работы рекомендуются к использованию на горных предприятиях в качестве исходных данных для корректировочных расчётов по результатам бурения взрывных скважин, а также могут быть использованы в учебном процессе.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

В изданиях, рекомендованных ВАК России

1. Жариков С. Н. Применение многоволновой сейсмометрии при выборе оптимальных параметров буровзрывных работ/ С. Н. Жариков // Взрывное дело: сб. науч. трудов. Отд. вып. Горного информационно-аналитического бюллетеня № ОВ 7. - М. : Мир горной книги, 2007. - С. 119 - 125.
2. Жариков С. Н. О физике взрыва / С. Н. Жариков // Взрывное дело. - № 100 / 57. – М.: ЗАО МВК по взрывному делу, 2008. - С. 77 - 82.
3. Жариков С. Н. Зависимость энергоёмкости взрывания горных пород от энергоёмкости их бурения/ С. Н. Жариков// Горный журнал. - 2009. - № 6. - С. 60 - 62.
4. Жариков С.Н. О взаимосвязи между энергоёмкостью бурения и взрывания горных пород/С.Н. Жариков// Вестник Магнитогорского государственного технического университета. – 2009. - № 4(28). – С. 5 – 8.

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

В сборниках трудов и материалах конференций

1. Жариков С. Н. О перспективах использования данных шарошечного бурения скважин на карьерах для определения рациональных параметров БВР /С. Н. Жариков// Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр. – Екатеринбург, 2008. - С. 278 - 282. – (Сб. науч. тр./ ИГД УрО РАН. - Вып. 4 / 94).
2. Жариков С. Н. Энергоемкость разрушения горных пород при бурении и взрывании на карьерах/ С. Н. Жариков// Уральская горная школа – регионам: Междунар. науч. – пром. симпозиум (21 - 28 апреля 2009 г.): сб. докл. / УГГУ. - Екатеринбург: УГГУ, 2009. - С. 55 - 58.
3. Жариков С. Н. Анализ методик расчета удельного расхода ВВ при взрывании горных пород/ С. Н. Жариков// Проблемы недропользования: материалы III всероссийской молодежной научно-практической конференции, 10 - 13 февр. 2009 г. / ИГД УрО РАН. - Екатеринбург: УрО РАН, 2009. - С. 267 - 271.
4. Жариков С. Н. Энергии разрушения горных пород при шарошечном бурении и взрывании на карьерах/ С. Н. Жариков// Научно-техническое обеспечение горного производства. - Алматы, 2009. - С. 91 - 96. – (Труды ИГД им. Д. А. Кунаева. - Т. 77).
5. Жариков С.Н. О зарядах ВВ при производстве буровзрывных работ в условиях высоких уступов/ С.Н. Жариков// Развитие ресурсосберегающих технологий во взрывном деле: докл. Всерос. науч. конф./ИГД УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН. – 2009. - С. 182 -191.
6. Жариков С. Н. Оперативный прогноз физико-механических свойств массива, подготавливаемого к ведению взрывных работ/ С. Н. Жариков, С.В. Корнилков, В.Г. Шеменёв// Проблемы недропользования: материалы IV всерос. молодежной научно-практической конф., 9 - 12 февраля 2010 г. / ИГД УрО РАН. - Екатеринбург: УрО РАН, 2010. - С. 442 - 450.